

## 6 Diskussion

### 6.1 Material und Methode

#### 6.1.1 Allgemeines

Um Aussagen über das klinische Verhalten von Adhäsivsystemen und Kompositmaterialien aus In-vitro-Resultaten ableiten zu können, ist es notwendig, klinisch relevante Parameter zu identifizieren, deren Untersuchung unter In-vitro-Bedingungen möglich ist (Söderholm 1991). Ein standardisierter Versuchsaufbau gewährleistet die Vergleichsmöglichkeit der einzelnen Studien, was im Rahmen der vorliegenden Untersuchung bei der Wahl der Methodik berücksichtigt wurde. Generell erlauben In-vitro-Studien bei gleichen Voraussetzungen für alle Gruppen einen besseren Vergleich der getesteten Materialien ohne Einfluss patientenabhängiger Parameter. Die im Labor durchgeführten Belastungszyklen können unabhängig von der Mitarbeit des Patienten in kurzen Zeiträumen erfolgen. So ist es möglich, aussagekräftige Ergebnisse wesentlich schneller zu erzielen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass große Versuchsgruppen erfasst werden können und damit die Aussagekraft steigt. Dies gilt insbesondere für Testverfahren, die eine Extraktion der behandelten Zähne erfordern. In-vitro-Studien sind daher zur Beurteilung von Füllungsmaterialien weit verbreitet (Hinoura et al. 1988, Koenigsberg et al. 1989, Cheung 1990, Ciucchi et al. 1990, Blunck and Roulet 1997, Dietrich et al. 1999, Lösche 1999, Szep et al. 2001, Blunck and Roulet 2002, Ernst et al. 2004).

Der Nachteil einer In-vitro-Studie besteht in der limitierten Übertragbarkeit ihrer Ergebnisse auf die klinische Situation (Roulet 1994a). So führt beispielsweise die säuregestützte Konditionierung der Dentinoberfläche eines vitalen Zahnes zur Erhöhung der Dentinpermeabilität (Pashley et al. 1981, Haller et al. 1992). In einer gesunden Pulpa bewirkt der intrapulpare Gewebsdruck von 20-30 mm Hg einen nach außen gerichteten Strom des Dentinliquors. Dieser physiologische Regelkreis ist nach der Extraktion nicht mehr vorhanden. Einige Autoren imitieren daher den intrapulpalen Druck des Plasmatranssudats durch Wasser, physiologische Kochsalzlösung oder verdünntes Rinderserum, um die In-vitro-Versuchsbedingungen an klinische Verhältnisse anzupassen (Terkla et al. 1987, Mitchem et al. 1988, Haller et al. 1992, Nikaido et al. 1995, Gernhardt et al. 2001).

Es ist jedoch unklar, ob durch diese Vorgehensweise tatsächlich physiologische Bedingungen simuliert werden können, da der hydrostatische Druck der Pulpa in vivo nicht konstant ist. Die Verwendung adrenalinhaltiger Lokalanästhetika bewirkt eine Verminderung des intrapulpalen Drucks (Kim et al. 1984, Pitt Ford et al. 1993), weiterhin kann die Dentinpermeabilität durch die Sekundär- bzw. Tertiärdentinbildung verändert sein (Perdigao et al. 1994). Für eine optimale Penetration des Kollagenfaserwerks durch eine Primermonomerlösung ist die Permeabilität des Dentins durchaus von Interesse, da in Bezug auf die Dentinhaftung eine Beeinträchtigung nicht ausgeschlossen werden kann (Tao and Pashley 1989, Mitchem and Gronas 1991, Özok et al. 2004).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass im Anschluss an eine In-vitro-Studie immer die Durchführung einer klinischen Studie erfolgen sollte, um endgültige Aussagen über das tatsächliche Verhalten der Materialien in der Mundhöhle treffen zu können (Roulet 1994a, Perdigao et al. 2000).

### **6.1.2 Funktionelle und morphologische Untersuchungsmethoden**

In der zahnärztlichen Forschung gehört die Analyse der Randqualität zu den relevanten Standardverfahren, wobei verschiedene funktionelle und morphologische Prüfverfahren zur Verfügung stehen.

Zu der am häufigsten eingesetzten funktionellen Prüfung des Randverhaltens gehört der Farbstoffpenetrationstest, bei dem oftmals basisches Fuchsin als Farbstoff verwendet wird (Raskin et al. 2001). Anilinfarbstoff, Chromotrop 2R, Eosin und Quecksilberchlorid werden kaum noch verwendet (Taylor and Lynch 1992). Der Einsatz von fluoreszierenden Stoffen erlaubt ebenfalls eine Visualisierung des Randspalts. Ihre sensible Reaktion auf ultraviolettes Licht ermöglicht eine relativ einfache fotografische Dokumentation der Ergebnisse (Christen and Mitchell 1966, Charlton and Moore 1992). Die Auswertung der Proben erfolgt zumeist unter einem Lichtmikroskop. Der Vorteil eines Farbstoffpenetrationstests besteht in der Chance, kleinste Spalten nachzuweisen. Da dieser Vorgang mit der Zerstörung der Probe einhergeht, ist die Methode zur Verlaufskontrolle der Randmorphologie einzelner Proben zu verschiedenen Zeitpunkten nicht geeignet. Weiterhin ist es nicht möglich, den gesamten Randabschnitt einer Probe zu beurteilen, da dieses Vorhaben eine unendlich

große Anzahl von Schnitten erforderlich machen würde (Going 1972). Problematisch scheint auch die Evaluation der Penetrationstiefe. KOSTKA stellte in seiner Untersuchung fest, dass die Bewertung durch Farbschleier und undeutliche Penetrationslinien erschwert sein kann (Kostka 1997).

Penetrationsversuche sind auch mit radioaktiven Isotopen, Bakterien oder Luftdruck möglich, die sehr umfangreiche Versuchsaufbauten voraussetzen und deren Handhabung und Durchführung sehr kompliziert ist (Going 1972, Charlton and Moore 1992, Taylor and Lynch 1992).

Weiterhin kann die Randqualität einer Füllung mit Hilfe morphologischer Untersuchungsmethoden beurteilt werden. Die einfachste Möglichkeit besteht in der direkten Untersuchung des Füllungsrandes mit Spiegel und zahnärztlicher Sonde. Allerdings handelt es sich bei dieser in vivo und in vitro durchzuführenden Methode nur um eine oberflächliche Beurteilung der Restauration. Eine Standardisierung und damit eine Vergleichsmöglichkeit einzelner Untersuchungen ist nicht möglich, da die Beurteilung der subjektiven Einschätzung des Einzelnen unterliegt. Die zusätzliche Verwendung eines Lichtmikroskops bietet den Vorteil des geringen Zeitaufwandes, ist aber wegen des begrenzten Vergrößerungsmaßstabs und einer eingeschränkte Detailgenauigkeit bzw. Tiefenschärfe kritisch einzuschätzen. Lichtmikroskope werden vorrangig zur Auswertung von Farbstoffpenetrationstests eingesetzt (Roulet et al. 1989).

### **6.1.3 Auswahl und Lagerung der Zähne**

In der vorliegenden Arbeit wurden extrahierte, kariesfreie menschliche Prämolaren der zweiten Dentition verwendet. Die Zähne durften keine Schmelzfrakturen aufweisen und sich in ihrer Größe nur unwesentlich unterscheiden. Sie wurden randomisiert auf 12 Versuchsgruppen aufgeteilt. Bis zum Zeitpunkt des Versuchsbeginns wurden sie in 0,1 %iger Thymollösung aufbewahrt. Für die kurzen Zeiträume zwischen den Versuchsreihen erfolgte ihre Lagerung in destilliertem Wasser. Diese Vorgehensweise wird in vielen Studien angewendet (Munksgaard et al. 1985, Blunck 1988, Krejci and Lutz 1991, Gwinnett 1994, Dietrich et al. 1999, Li et al. 2006).

Das Alter und der genaue Extraktionszeitpunkt der Zähne waren unbekannt. Verschiedene Untersuchungen belegen, dass unterschiedliche Lagerungszeiten

die Wirksamkeit eines Adhäsivsystems nicht beeinflussen (Mitchem and Gronas 1986, Goodis et al. 1993). Ebenso scheint das Alter der Zähne keine signifikanten Auswirkungen auf die Randqualität, von Kompositfüllungen im Dentin zu haben (Mixson et al. 1993).

#### **6.1.4 Lage und Präparation der Kavität**

Die Beschaffenheit der Kavität sollte die klinische Situation möglichst gut widerspiegeln. Darüber hinaus sollte sie standardisiert präparierbar sein und eine Belastbarkeitstestung der Materialien ermöglichen. Da bei adhäsiven Restaurationen eine Unterschnittpräparation nicht nötig ist (Fusayama 1990), wurde eine gut standardisierbare Präparationsform gewählt. Die Abmessungen lehnten sich dabei an die klinisch zu erwartende Größe einer approximalen Klasse-II-Kavität und an die in bisherigen Untersuchungen gewählten Ausmaße an (Hansen 1986, Cheung 1990, Tjan et al. 1992, Coli and Brännström 1993, Van Dijken et al. 1998, Frankenberger et al. 1999b, Hilton and Ferracane 1999, Dietschi et al. 2003).

Es ist bekannt, dass das Problem der marginalen Adaptation von Kompositrestaurationen in zervikal dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten auch bei der Anwendung moderner Adhäsivsysteme nicht zufriedenstellend gelöst ist (Davidson and Abdalla 1993, Dietschi et al. 1995b, Da Cunha Mello et al. 1997, Hilton et al. 1997, Dietrich et al. 1999, Hannig and Bott 2000, Beznos 2001, Tredwin et al. 2005). Unter thermischer und kaufunktioneller Belastung kann es zu Verformungen kommen, die den Verbund von Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz negativ beeinträchtigen. Aus diesen Gründen wurde in der vorliegenden Studie die Lage des zervikalen Restaurationsrandes unterhalb der Schmelz-Dentin-Grenze gewählt. Des Weiteren wurden die lateralen schmelzbegrenzten Ränder der Kavität angeschrägt. In Bezug auf die marginale Integrität einer Kompositrestauration wird diese Vorgehensweise von den meisten Autoren empfohlen (Porte et al. 1984, Opdam et al. 1998b). Eine leichte Schmelzanschrägung bewirkt einen günstigeren Anschnitt der Schmelzprismen und trägt damit zur besseren Schmelzhaftung bei (Crawford et al. 1987, Dietschi et al. 1995a, Hilton and Ferracane 1999). Im Dentin wurde auf eine Anschrägung verzichtet, da diese die Kavität in vivo weiter in den gingivalen Sulkus ausdehnen würde. In diesem weitgehend unzugänglichen subgingivalen Bereich ist die

Ausarbeitung einer Restauration erschwert, so dass hier von einem unzulänglich definierten Füllungsrand ausgegangen werden muss (Hickel 1994). Die beschriebene Vorgehensweise einer leichten Schmelzanschrägung und gerade auslaufender Dentinstufe wurde in vielen weiteren Untersuchungen angewandt (Crim and Chapman 1994, Mehl et al. 1997, Santini and Mitchell 1998, Hilton and Ferracane 1999, Hannig and Bott 2000, Beznos 2001). Die Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist daher gewährleistet. Überdies stellt eine Klasse-II-Kavität mit einem relativ ungünstigen C-Faktor sehr hohe Materialanforderungen an das Adhäsivsystem und das Komposit. Die spezifischen Unterschiede und Schwächen der einzelnen Materialien lassen sich somit differenziert evaluieren.

#### **6.1.5 Füllungstechnik: Einschichtapplikation vs. Mehrschichttechnik**

Im Focus zahnärztlicher Bemühungen steht die Reduktion der durch die Polymerisationsschrumpfung hervorgerufenen Spannungen. In Bezug auf die Restaurationstechnik demonstrieren zahlreiche Untersuchungen, dass sich die schichtweise Applikation kleiner Kompositvolumina im Gegensatz zur Einmalapplikation stressmildernd auf den adhäsiven Verbund auswirkt (Donly and Jensen 1986, Eick and Welch 1986, Dietschi and Spreafico 1997). Durch diese Vorgehensweise kann die marginale Adaptationsfähigkeit zahnärztlicher Kompositmaterialien signifikant verbessert werden (Donly and Jensen 1986, Koenigsberg et al. 1989, Saunders et al. 1990, Crim 1991, Lopes et al. 2004). Ein weiterer Vorteil der Mehrschichttechnik besteht in der gleichmäßigeren Polymerisation der Inkremente (Neiva et al. 1998). Es ist bekannt, dass bei zunehmender Kompositeschichtstärke (Einmalapplikation) die Lichtintensität in den tieferen Regionen reduziert ist, so dass eine vollständige Polymerisation in diesen Bereichen nicht gewährleistet werden kann (Rueggeberg et al. 1993, Rueggeberg et al. 2000, Tsai et al. 2004). Eine Schichtstärke von 2 mm pro Inkrement sollte daher nicht unterschritten werden (Kanca 1986, Hellwig et al. 1991, Rueggeberg et al. 1994, Ernst et al. 1996, Rueggeberg et al. 2000).

Eine häufig zitierte und diskutierte Schichttechnik ist die dreiseitige Umhärtungstechnik der Arbeitsgruppe LUTZ et al. (Lutz et al. 1986a). Bei dieser Technik erfolgt die Polymerisation der Inkremente durch Lichtkeile, die das Licht direkt auf den Rand der Kavität reflektieren. Auf diese Weise sollen die

Schrumpfungskräfte im kritisch einzuschätzenden Zervikalbereich der Restauration minimiert werden. Gestützt wurde die Technik anfangs von der These, dass die Richtungssteuerung der Lichtquelle eine Kontrolle der Schrumpfungsvektoren ermöglicht. VERLUIS et al. widerlegten jedoch die Annahme, dass die Polymerisationsschrumpfung lichtinitiiertes Komposite auf die dem Licht am nächsten gelegene Oberfläche gerichtet ist (Versluis et al. 1998). Darüber hinaus konnten LÖSCHE et al. zeigen (Lösche 1999), dass die seitlich reflektierenden Lichtkeile die Lichtintensität reduzieren. Die geringere Lichtintensität verlangsamt die Polymerisationsreaktion, was den polymerisationsbedingten Stressaufbau minimiert und die Randqualität verbessert. Um diesen Effekt auszuschließen, wurde die dreiseitige Umhärtungstechnik nicht in die vorliegende Untersuchung integriert.

Mit der Horizontalschichttechnik und der Diagonalschichttechnik bestehen weitere Möglichkeiten der Restaurationsgestaltung, für die viele Autoren eine Verbesserung der marginalen Integrität gegenüber der Einmalapplikation bestätigen (Hansen and Asmussen 1985, Donly and Jensen 1986, Hansen 1986, Donly et al. 1987, Koenigsberg et al. 1989, Saunders et al. 1990, Crim 1991, Lopes et al. 2004). Eine noch wenig untersuchte Schichttechnik ist die zentripetale Restaurationsgestaltung bzw. Schalentechnik. Von dieser Technik versprechen sich einige Autoren einen positiven Einfluss auf die Randqualität und die Kontaktpunktgestaltung (Hassan et al. 1987, Bichacho 1994).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es daher, die Horizontalschichttechnik, die Diagonalschichttechnik und die Zentripetalschichttechnik unter gleichen Versuchsbedingungen miteinander zu vergleichen, und ihren Einfluss auf Randqualität dentinbegrenzter Kompositrestauration zu ermitteln.

### 6.1.6 Auswahl und Verarbeitung der Materialien

Der adhäsive Verbund von Komposit und Zahnhartsubstanz erfordert folgende drei Arbeitsschritte:

1. Säuregestützte Konditionierung
2. Priming
3. Bonding (Applikation des Adhäsivs)

Diese werden bei den heute marktüblichen Adhäsivsystemen in unterschiedlichem Maße in einer Lösung vereint, so dass sie sich in der Anzahl ihrer Applikationsschritte voneinander unterscheiden. Die Auswahl der in dieser Untersuchung verwendeten Adhäsivsysteme erfolgte nach ihrer Systemzugehörigkeit (Etch&Rinse-Adhäsivsystem und selbstkonditionierendes Adhäsivsystem) und nach der Anzahl ihrer Anwendungsschritte (Drei-Schritt-, Zwei-Schritt- und Ein-Schritt-System).

*OptiBond FL* ist ein klassisches Drei-Schritt-Adhäsiv das in Kombination mit der Etch&Rinse-Technik angewandt wird. Aufgrund zahlreicher Untersuchungen gehört es zu den bewährtesten Adhäsivsystemen und hinsichtlich der optimalen Randqualität zu den Validitätsstandards (Goldstandard) (Peumans et al. 2005). Aus der Gruppe Primer-Adhäsive, die auch als Ein-Flaschen-Adhäsive in Kombination mit der Etch&Rinse-Technik bezeichnet werden, wurde *Excite* ausgewählt. Hinsichtlich der Randqualität und der Haftwerte bestätigen In-vitro-Langzeitversuche diesen Adhäsivsystemen schlechtere Prognosen als solchen Systemen, bei denen eine getrennte Applikation von Primer und Adhäsiv erfolgt (Miyazaki et al. 1998, Frankenberger 2002, Haller and Blunck 2003). Aus der Kategorie der selbstkonditionierenden Adhäsivsysteme, die als Zwei-Schritt-Systeme angewendet werden, wurde für die vorliegende Untersuchung *Clearfil SE Bond* gewählt. Die Entwicklung dieser Adhäsive erfolgte ursprünglich mit dem Ziel, Anwendungsfehler, die bei der Konditionierung der Zahnhartsubstanzen mit Phosphorsäure auftreten können, zu vermeiden und den Bondingprozess zu vereinfachen (Frankenberger 2002). Die Primer dieser Systeme beinhalten neben den sauren Lösungen zur Freilegung des Kollagennetzwerkes gleichzeitig Monomersysteme, die sich im Kollagenfasergeflecht mikromechanisch verankern (Blunck 2006). Die säuregestützte Konditionierung und das Priming laufen

simultan ab und bewirken eine oberflächlich gleichmäßig infiltrierte Dentinschicht (Tay and Pashley 2001). Einige Autoren vermuten, dass eine chemische Bindung des um die exponierten Kollagenfasern verbliebenen Hydroxylapatits mit den funktionellen Monomergruppen existiert, die sich positiv auf die Hydrolysestabilität der Hybridschicht auswirkt (Yoshida et al. 2004). Eine weitere Vereinfachung des Applikationsprozesses erfolgte durch die Entwicklung von Adhäsivsystemen, bei denen lediglich eine Lösung appliziert wird, um die Aufgaben aller drei adhäsiven Arbeitsschritte zu erfüllen. Der größte Vorteil dieser Materialien ist der, dass die Risikofaktoren während des Ätz-, Spül- oder Trocknungsvorgangs entfallen. Ein Vertreter dieser Gruppe ist das als „All-in-one“-Adhäsiv *Adper Prompt L-Pop*. Es ist aufgrund seiner leichten und zeitlich effektiven Applikationstechnik in den zahnärztlichen Praxen weit verbreitet. Allerdings wurden im Vergleich zu den Mehrflaschen-Etch&Rinse-Systemen signifikant geringere Haftwerte ermittelt (Asmussen and Peutzfeldt 2003, Brackett et al. 2006b, Erickson et al. 2006, Holzmeier et al. 2006). Ebenso zeigten sie im Vergleich zu den Mehrflaschen-Etch&Rinse-Systemen eine signifikant schlechtere Adaptationsfähigkeit entlang schmelzbegrenzter (Brackett et al. 2006a) als auch dentinbegrenzter Klasse-V-Kavitäten (Pradelle-Plasse et al. 2001).

Generell sind alle Adhäsivsysteme in ihrer Anwendung und Applikation techniksensibel und weisen einen gewissen „subjektiven“ Spielraum auf, der die Ergebnisse im Extremfall stark beeinflussen kann. Interpretierende Abweichungen existieren insbesondere bei der Einschätzung einer „feuchten“ Dentinoberfläche (Gwinnett 1992b, Kanca 1992c, Kanca 1992a, Haller and Fritzenschaft 1999, Pereira et al. 2001). In der vorliegenden Studie wurde eine „übernasse“ Dentinoberfläche mit einem abgetupften und feuchten Microbrush von überschüssiger Feuchtigkeit befreit. Im Falle einer zu stark getrockneten Oberfläche wurde diese im Sinne der Vorgehensweise des „rewetting“ wieder befeuchtet.

Die Klasse-II-Kavitäten wurden mit dem Füllmaterial *Filtek Z250* restauriert, das als „Universalkomposit für den Front- und Seitenzahnbereich“ deklariert wird. Es gehört angesichts der Größe seiner anorganischen Füllkörper von 0,01–3,5 µm zu den Hybrid-Kompositen respektive zu den Feinpartikel-Hybridkompositen. Die mittlere Partikelgröße wird mit 0,6 µm angegeben (3M 1998). Da sich Hybrid-

Komposite gegenüber anderen Kompositmaterialien durch bessere physikalische Eigenschaften auszeichnen, werden sie für die direkte Versorgung von Seitenzahnkavitäten als "Material der Wahl" bezeichnet (Lambrechts et al. 1987, Willems et al. 1993, Roulet 1994b).

Generell wurden die in dieser Studie verwendeten Kompositmaterialien und Adhäsivsysteme nach Herstellerangaben benutzt.

### **6.1.7 Ausarbeitung und Politur**

Für die Ausarbeitung und Politur von Kompositrestorationen haben sich in vielen Untersuchungen Finierdiamanten und flexible, mit Aluminiumoxid beschichtete Scheiben unterschiedlicher Körnung bewährt. Ihr Einsatz ermöglicht einen relativ gleichmäßigen Abtrag des Füllungsmaterials und der Zahnhartsubstanz, so dass feine Über- und Unterschüsse entfernt werden können (Lutz et al. 1983a, Schmid et al. 1991). Ziel ist es, einen glatten und für die Sonde nicht tastbaren Übergang von der Restauration zur Zahnhartsubstanz zu schaffen. Zeitgleich soll unter Schonung der Zahnhartsubstanz eine effektive Oberflächenglätte erzielt werden. Diese Vorgehensweise verbessert die Ästhetik und wirkt einer möglichen Plaqueakkumulation entgegen (Feher and Mörmann 1995). Darüber hinaus wird durch eine im Anschluss an die Füllungslegung durchgeführte Politur die Sauerstoffinhibitionsschicht entfernt. Im Hinblick auf klinisch zufriedenstellende Randbereiche ist diese Vorgehensweise sinnvoll, da es sich um unpolymerisierte Bereiche handelt, die zu Verfärbungen des Materials führen können (Leinfelder 1987, Reinhardt 1991b).

Im Rahmen der vorliegenden Studie erfolgte die Ausarbeitung der approximalen Füllungsflächen unter direkter Sicht, um Überhänge, die eine rasterelektronenmikroskopische Bewertung des Randschlussverhaltens an der Grenze zwischen Kavitätenrand und Füllung erschweren (Hannig and Bott 2000), vollständig abzutragen. Das Kriterium eines glatten Überganges wurde für alle Proben durch die Betrachtung mit einer Lupenbrille und durch die Kontrolle mit einer feinen Tastsonde gewährleistet.

### **6.1.8 Wasserlagerung**

Die Eigenschaft der Komposite, nach der Polymerisation Wasser aufzunehmen, wird als hygroscopische Expansion bezeichnet und ist für alle Materialien nachweisbar. Welche Menge Wasser aufgenommen wird, ist von der Zusammensetzung des jeweiligen Materials (Lambrechts et al. 1987, Hansen and Asmussen 1989) und von der Zeit der Lagerung abhängig (Momoi and McCabe 1994). Um ein Maximum an Wasseraufnahme zu gewährleisten, und um eine Überschneidung der Effekte der hygroscopischen und thermischen Expansion während der Temperaturwechselbelastung zu vermeiden, wurden die Proben für 21 Tag in Wasser gelagert.

### **6.1.9 Thermische Wechselbelastung (TWB)**

Alle Füllungsmaterialien unterliegen in der Mundhöhle Temperaturschwankungen. Die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Füllmaterial und Zahnhartsubstanz führen im Verbundbereich zu Spannungen (Torstenson and Brännström 1988, Momoi et al. 1990). Sind die auftretenden Spannungen und damit wirkenden Kräfte entlang der Kontaktflächen größer als die des adhäsiven Verbundes, kommt es im schlimmsten Fall zu einer Spaltbildung zwischen Zahnhartsubstanz und Füllung. Die Spaltbildung und die Veränderung der Spaltbreite wird als Pumpeffekt oder Perlokation bezeichnet (Bullard et al. 1988, Torstenson and Brännström 1988, Koike et al. 1990).

Um die klinische Beanspruchung einer Restauration in vitro zu simulieren, hat sich die Methode der Temperaturwechselbelastung bewährt (Blunck and Roulet 1997). Nach CRIM kann davon ausgegangen werden, dass sich die Auswirkungen der Belastung auf die Randqualität nach 2000 Zyklen mit hoher Wahrscheinlichkeit manifestiert haben (Crim et al. 1985).

### **6.1.10 Mechanische Belastung (Kausimulation)**

Um eine größtmögliche Sicherheit über das Verhalten von Materialien in der Mundhöhle zu erlangen, muss deren Reaktion unter den dort auftretenden Dauerbelastungen geprüft werden. Aus diesem Grund sollten In-vitro-Studien zur marginalen Adaptation in jedem Fall eine Simulation der kausfunktionellen Belastung beinhalten und sich nicht auf die Analyse des Randschlusses nach dem Legen der Füllung oder nach thermischer Wechselbelastung beschränken (Da

Cunha Mello et al. 1997, Hannig and Bott 2000). Durch die okklusale Druckbelastung ist es möglich, die Relevanz unzureichender mechanischer Eigenschaften des Füllungsmaterials für Ermüdungserscheinungen entlang der Verbundgrenze zur Zahnhartsubstanz aufzudecken.

In diesem Zusammenhang bildet der computergesteuerte Münchener Kausimulator einen Bestandteil eines In-vitro-Prüfzyklus, welcher die Untersuchung von Restaurationen unter klinisch nahen Bedingungen erlaubt. Dabei ist es notwendig, dass bezüglich der Kaubewegung gewisse Parameter erfüllt werden, die aus der Literatur entnommenen wurden. Die durchschnittliche Anzahl der Kauzyklen pro Minute wird in der Literatur zwischen 58 und 120 angegeben (Bates et al. 1975). Aus Zeitgründen wählt man bei einem In-vitro-Test eine relativ hohe Frequenz. Die elastische Rückstellung der Proben sollte dennoch gewährleistet sein. Als physiologisch wahrscheinliche Kräfte können während der Nahrungszerkleinerung bzw. während des Schluckens Werte zwischen 20 und 160 N angenommen werden (Körber and Ludwig 1983). Die auf einen einzelnen Zahn wirkenden Kaukräfte schränkte EICHNER auf 50 N ein (Eichner 1963). Die Kaubelastung eines ersten Molaren beträgt nach Untersuchungen von ANDERSON zwischen 68 und 147 N (Anderson 1956a, Anderson 1956b). ADAMS und ZANDER wiesen laterale als auch zentrale Zahnkontakte während des Kauens nach (Adams and Zander 1964). Die Kontaktdauer schwankte zwischen 0,01 und 0,1 s in Laterotrusion und 0,02 und 0,17 s in maximaler Interkuspitation des Unterkiefers. Dabei waren die lateralen als auch die zentralen Kontakte zu Beginn des Kauens selten und vermehrten sich mit Fortschreiten der Nahrungszerkleinerung stetig.

Die mechanische okklusal-vertikale Druckbelastung erfolgte im Münchener Kausimulator. Es wurden 125 000 Zyklen durchlaufen, wobei der Druck mit einer Kraft von 50 N ausgeübt wurde. Die Kaufrequenz betrug 1,7 Hz. Das entspricht 100 Kauzyklen pro Minute. Die Anordnung der Proben im Kausimulator erfolgte paarweise, so dass entsprechend der intraoralen Situation bei maximaler Interkuspitation ein Antagonist auf zwei Kompositrandleisten traf (Frankenberger 2002, Frankenberger et al. 2003, Frankenberger and Tay 2005). Als Antagonisten zur Krafteinleitung wurden geometrisch definierte Degussit-Kugeln mit einem Durchmesser von 5 mm verwendet (FRIATEC 2006). Diese sind hinsichtlich der

Parameter Härte und Abrasionsbeständigkeit mit nativem Zahnschmelz vergleichbar (Wassell et al. 1992, Wassell et al. 1994b, Wassell et al. 1994a).

### **6.1.11 Quantitative Randanalyse**

Zur Erfassung der Randqualität zahnärztlicher Restaurationen hat sich die quantitative Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop in Verbindung mit der Replikatechnik als überlegene Methode bewährt (Roulet 1987, Blunck 1988, Noack 1988). Diese ermöglicht eine reproduzierbare und präzise Bewertung der Randqualität. Gleichzeitig können Verlaufstudien durchgeführt werden, da eine differenzierte Beurteilung der Randqualität nach jedem Prüfzyklus (nach Wasserlagerung, nach TWB und nach Kausimulation) im Rasterelektronenmikroskop möglich ist (Roulet et al. 1989).

Bei der Herstellung der Repliken gewährleistet die hohe Zeichengenauigkeit der Silikonabformasse und das gute Fließverhalten des Epoxidharzes eine originalgetreue und detaillierte Wiedergabe der Füllungsänder (Vossen et al. 1985). Um eine genaue Analyse der Füllungsänder nicht durch Verunreinigungen auf der Probenoberfläche zu gefährden, muss diese vor der Abformung sorgfältig gereinigt werden (Vossen et al. 1985). Grundsätzlich erlaubt die Replikatechnik eine indirekte Evaluation der Proben sowohl in vitro als auch in vivo.

Bei der quantitativen Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop kann ein hohes Maß an Objektivität durch die segmentweise Beurteilung des Restaurationsrandes bei 200facher Vergrößerung und der simultanen Zuordnung von zuvor definierten Bewertungskriterien gewährleistet werden (Roulet et al. 1989). Die Einteilung der Randqualität erfolgte nach dem Kriterienkatalog von BLUNCK (Blunck 1988).

Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu vorangegangenen Untersuchungen sicherzustellen, erfolgte vor Beginn der Randanalyse eine Kalibrierung zwischen dem Betreuer und der Untersuchenden. Die sieben Beurteilungskriterien wurden zu drei Noten zusammengefasst:

- Der kontinuierliche Rand, "Note 1", umfasst die Randqualitäten 1 und 2, die beide keine Randspalten aufweisen. Die Wirksamkeit eines Adhäsivsystems ist somit bewiesen, wobei davon ausgegangen wird, dass die geringen Randunregelmäßigkeiten der Randqualität 2 als klinisch nicht relevant anzusehen sind.

- Die Randqualitäten 4, 5, 6 und 7 wurden unter der Bezeichnung “Spalt” zusammengefasst. Mikroskopisch zeigte sich im Vergleich eine unterschiedliche Ausprägung, was jedoch in jedem Fall als klinisches Versagen des Adhäsivsystems gewertet werden kann.
- Randanteile mit starken Randunregelmäßigkeiten der Randqualität 3 sind in sowohl in einer In-vivo-Situation, als auch in einer In-vitro-Situation vergleichsweise kritisch zu beurteilen. Ein Spalt kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, so dass diese Materialien im In-vitro-Test eher nicht überzeugen und daher die Wirksamkeit eines Adhäsivsystems nicht eindeutig bewiesen werden kann.

Ziel dieser Untersuchung war es, die Wirksamkeit verschiedener Adhäsivsysteme unter standardisierten Bedingungen miteinander zu vergleichen. Die Randqualitäten 3 bis 7 wurden als klinisches Versagen des Adhäsivsystems gewertet, so dass ausschließlich die Daten der Randqualitäten 1 und 2 – kontinuierlicher Rand, “Note 1” – der statistischen Auswertung zugeführt wurden. Um die Wirksamkeit der Adhäsivsysteme auch in kritischen Bereichen der Kavität differenziert beurteilen zu können, wurde der zervikale Füllungsrand in die Bereiche “Rand” und “Ecke” unterteilt (siehe Kapitel 4.10.1). Für die statistische Auswertung wurden die Daten der rechten und linken Ecke zusammengefasst. Die Präparation der Kavität erfolgte mit einem kantenrunden Diamantschleifer, so dass eine Definition der Ecke als Anfang und Ende der Krümmung möglich war. Die statistische Auswertung erfolgte nach Berechnung des Anteils jeder Randqualität an den entsprechenden Füllungsrandabschnitten in Prozent, um objektive Aussagen treffen zu können (Roulet et al. 1989).

## **6.2 Ergebnisse**

Im Focus dieser In-vitro-Studie stand die Evaluation des Einflusses drei verschiedener Schichttechniken auf die marginale Integrität zervikal dentinbegrenzter Klasse-II-Restaurationen.

Zur Füllungslegung wurden vier Adhäsivsysteme verwendet, die unterschiedlichen Systemkategorien angehören und sich hinsichtlich der Anzahl ihrer

Applikationsschritte unterscheiden (siehe Kapitel 6.1.6). Diese wurden in ihrer Effizienz, einen adhäsiven Verbund von Komposit und Zahnhartsubstanz zu bewirken, miteinander verglichen.

Durch die entsprechende Kombination der Schichttechniken mit den Adhäsivsystemen ergaben sich 12 Versuchsgruppen. Die Proben dieser Gruppen wurden nach ihrer Wasserlagerung zwei aufeinanderfolgenden Belastungsphasen – TWB und Kausimulation – ausgesetzt. Nach jeder der drei Versuchsphasen erfolgte eine Analyse der zervikalen Restaurationsränder. Bei der anschließenden statistischen Auswertung der Daten wurden signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) der Randqualität "Note 1" ermittelt. Diese bezogen sich sowohl auf die Adhäsivsysteme, als auch auf die Auswertungsbereiche "Rand" bzw. "Ecke". Innerhalb der Gruppen der Schichttechniken konnten keine signifikanten Unterschiede der Randqualität festgestellt werden.

### **6.2.1 Einfluss der Schichttechnik**

Die Art der Schichtung zeigte beim jeweils verwendeten Adhäsivsystem keinen signifikanten Einfluss auf die marginale Integrität zervikal dentinbegrenzter Klasse-II-Restaurationen. Dies kann darauf zurückzuführen sein, dass das Ausmaß des Stresses auch von anderen Faktoren abhängig ist. In diesem Zusammenhang sind neben der Applikationstechnik die Zusammensetzung des Kompositmaterials (Donly et al. 1987, Swift et al. 1996), das applizierte Volumen (Roulet 1997) und der Konfigurationsfaktor (C-Faktor) (Davidson et al. 1984, Feilzer et al. 1987) zu nennen.

#### **6.2.1.1 Kompositmaterial**

Für die Restauration der Klasse-II-Kavitäten wurde ausschließlich das Hybridkomposit *Filtek Z250* verwendet, so dass hinsichtlich des Füllmaterials gleiche Voraussetzungen für alle Versuchsgruppen bestanden.

Hybridkompositmaterialien zeichnen sich durch ihre mechanische Stabilität - einschließlich Abrasionsresistenz - bei akzeptabler Oberflächenglätte, einem im Vergleich zur Zahnhartsubstanz günstigen thermischen Expansionskoeffizienten und eine geringere Polymerisationsschrumpfung gegenüber mikrogefüllten oder konventionellen Kompositmaterialien aus (Lutz et al. 1983b, Kullmann 1985, Staninec et al. 1986, Lambrechts et al. 1987, Roulet 1987, Bullard et al. 1988,

Willems et al. 1993). Aufgrund ihrer guten physikalischen Eigenschaften sind sie anderen Kompositmaterialien für die Versorgung von Kavitäten im Seitenzahnbereich überlegen (Lambrechts et al. 1987, Barnes et al. 1991, Willems et al. 1993, Roulet 1994b).

#### 6.2.1.2 Appliziertes Volumen und Konfigurationsfaktor

Es ist bekannt, dass sich besonders im Seitenzahnbereich die Indikationsstellung für größere Kompositrestorationen als problematisch erweist. Der Grund liegt in der polymerisationsbedingten Schrumpfung der Komposite. Diese verhält sich proportional zum Volumen des zu erhärtenden Materials (Roulet 1997). Je größer das Füllungsvolumen ist, um so eher können die polymerisationsinduzierten Kontraktionskräfte die Haftkräfte übersteigen und die marginale Integrität einer Restauration negativ beeinträchtigen (Asmussen 1976, Hegdahl and Gjerdet 1977, Bowen et al. 1983, Ciucchi et al. 1997, Roulet 1997). Mit Hilfe der Schichttechnik kann das pro Arbeitsschritt applizierte und zu erhärtende Volumen reduziert werden. Um eine möglichst konstante Kompositmenge applizieren zu können, wurde in dieser Studie *Filtek Z250* als Kapselsystem verwendet. Die industriell durch die Kapsel vorgegebene Strangdicke und die zusätzliche Verwendung eines Stahllineals ermöglichte es, annähernd gleiche Kompositvolumina abzumessen. Durch diese Vorgehensweise konnten, bei der anschließenden Applikation, für jedes Inkrement in Abhängigkeit vom Volumen, ähnliche Schrumpfungparameter angenommen werden. Neben der volumenspezifischen Polymerisationskontraktion beeinflusst der Konfigurationsfaktor - C-Faktor - die auf den adhäsiven Verbund wirkenden Kräfte. Dieser kann durch die Schichttechnik, also die Art der Anordnung der einzelnen Inkremente, positiv beeinflusst werden und so zur Spannungskompensation des Polymerisationsstresses beitragen (Davidson et al. 1984, Feilzer et al. 1987, Nikolaenko et al. 2004). Einige Autoren gehen davon aus, dass insbesondere ein günstiger C-Faktor des ersten Inkrements die Randqualität positiv beeinflusst (Davidson 1986). Bei der zentripetalen Restaurationsgestaltung ist diese Voraussetzung durch die spezielle Adaptation des ersten Inkrements gegeben, da nur ein sehr geringer Anteil des Materials adhäsiv mit der Zahnhartsubstanz verbunden ist (Bichacho 1994). In der vorliegenden Untersuchung wurde der C-Faktor durch die verschiedenen Schichttechniken beeinflusst. Folglich war er die

einzig variable Größe die in Abhängigkeit vom Adhäsivsystem signifikante Unterschiede der Randqualität bewirken konnte.

### 6.2.1.3 Applikationstechnik

Wie bereits in Kapitel 6.1.5 erwähnt, führt die Mehrfachapplikation und Polymerisation einzelner Kompositinkremente im Vergleich zur Einmalapplikation zur verminderten Kontraktions- und Stressentwicklung innerhalb des Materials. Eine zwei- oder mehrfache Kompositinsertion verkürzt vor allem die Schrumpfungsvektoren (Krejci et al. 1986), was zur Verringerung von Randspalten führt und bezüglich der marginalen Adaptation qualitätsverbessernd wirkt (Koenigsberg et al. 1989, Torstenson and Oden 1989, Crim 1991). Dies wird insbesondere für die Diagonalschichttechnik bestätigt (Hansen and Asmussen 1985, Hansen 1986).

TJAN et al. verglichen in ihrer Studie den Einfluss verschiedener Schichttechniken auf die marginale Integrität dentinbegrenzter Kompositrestaurationen (Tjan et al. 1992). Sie konnten keine signifikanten Unterschiede der Randqualität bei der horizontalen, diagonalen oder vertikalen Schichtung der Kompositinkremente feststellen. SZEP et al. untersuchten den Einfluss der Diagonalschichttechnik und der Zentripetalschichttechnik auf die Randqualität schmelz- und dentinbegrenzter Klasse-II-Kavitäten (Szep et al. 2001). Sie kamen zu dem Ergebnis, dass keine der genannten Schichttechnik eine statistisch signifikante Verbesserung der Randqualität im Schmelz oder Dentin bewirkt. In Bezug auf die Schichttechnik und ihrem Einfluss auf die Randqualität stimmen die Ergebnisse mit denen der vorliegenden Studie überein. Weder die zentripetale noch die diagonale oder horizontale Schichtung der Kompositinkremente führte zu einer signifikanten Verbesserung der Randqualität. Im Gegensatz zur Einmalapplikation resultiert bei jeder Art der Schichtung ein günstigerer C-Faktor der zur Spannungskompensation beiträgt.

### 6.2.2 Einfluss der Adhäsivsysteme

Die Benetzungs- und Penetrationseigenschaften eines Adhäsivsystems hängen von seiner Zusammensetzung ab und beeinflussen die Verbundstärke zwischen Dentin und Komposit und somit die Randqualität (Van Meerbeek et al. 1992b, Pashley et al. 1993).

Seit einiger Zeit ist man bemüht, die Anzahl der zur präzisen Durchführung der Drei-Schritt-Technik notwendigen Komponenten eines Adhäsivsystems zu reduzieren. Diesen Bemühungen steht jedoch die Gefahr schlechterer Materialeigenschaften gegenüber. In der vorliegenden Untersuchung wurden daher vier Adhäsivsysteme gewählt, die sich hinsichtlich der Systemkategorie (Etch&Rinse-System und selbstätzendes Adhäsivsystem) und der Anzahl der Applikationsschritte (Drei-Schritt-, Zwei-Schritt- bzw. Ein-Schritt-Applikation) unterscheiden, und in ihrer Wirksamkeit miteinander verglichen.

#### 6.2.2.1 *OptiBond FL*

In der vorliegenden Studie zeigte das Etch&Rinse-System *OptiBond FL* (Drei-Schritt-Applikation) zu allen Bewertungszeitpunkten sehr hohe Anteile an kontinuierlichen Rändern "Note 1" (100 %/ 100 %/ 87,5 %). Es unterschied sich signifikant von anderen in dieser Untersuchung evaluierten Adhäsivsystemen. Dieses Ergebnis stimmt mit einer Vielzahl weiterer Studien überein, in denen sich *OptiBond FL* ebenfalls als sehr wirksames Adhäsivsystem erwies (Tjan et al. 1996, Blunck and Roulet 1997, Inoue et al. 2001, De Munck et al. 2003, Holzmeier et al. 2006). Somit gehört *OptiBond FL* derzeit zu den Validitätsstandards (Goldstandard) (Peumans et al. 2005). HALLER und FRITZENSCHAFT untersuchten in ihrer Studie Etch&Rinse-Mehrflaschen-Systeme, unter anderem *OptiBond FL*, und Etch&Rinse-Einflaschen-Systeme in Bezug auf ihre Verbundfestigkeit (Haller and Fritzenschaft 1999). Sie gelangten zu folgendem Ergebnis: Die Mehrflaschen-Systeme erzielten signifikant höhere Haftwerte am Dentin als die Primer-Adhäsive. Zu diesem Resultat kam auch die Studiengruppe INOUE et al. (Inoue et al. 2001), die im Mikro-Zugfestigkeitstest für *OptiBond FL* sehr hohe Haftwerte (63,1 MPa) ermittelten. Diese lagen signifikant über den Werten der Primer-Adhäsive und auch über denen der selbstkonditionierenden Ein-Schritt- und Zwei-Schritt-Systeme. Ähnliche Ergebnisse erzielten BOUILLAGUET et al. (Bouillaguet et al. 2001), die ebenfalls im Mikro-Zugfestigkeitstest den adhäsiven Verbund verschiedener Adhäsivsysteme zum Dentin von Schweinezähnen unter Verwendung des Komposits *Z100* testeten. Die von ihnen ermittelten Haftwerte für *OptiBond FL* (22,4 MPa) waren signifikant höher als die für *Excite* (13,8 MPa) und *Prompt L-Pop* (9,1 MPa). Sie bestätigen damit die in dieser Studie gefundenen Ergebnisse.

Die Verwendung von Etch&Rinse-Systemen birgt die Gefahr, dass die Dentinoberfläche nach der Phosphorsäurekonditionierung zu stark getrocknet wird. Die Problematik dieser Vorgehensweise wird im Kapitel 2.2.5.1 genauer erläutert. Das Adhäsivsystem *OptiBond FL* besitzt in diesem Zusammenhang einen entscheidenden Vorteil. Es verfügt als Mehrflaschen-System über einen wasser- und ethanolbasierten Primer. Dies hat zur Folge, dass das im Primer enthaltene Wasser ein Wiederaufrichten der kollabierten Kollagenfasern mit erneuter Öffnung der interfibrillären Poren bewirkt. Anschließend kann eine ausreichende Monomerpenetration in das wasserhaltige Kollagengeflecht stattfinden, da das Wirkprinzip auf der Verdrängung des Wassers durch ein geeignetes Lösungsmittel, in diesem Fall Ethanol, beruht. Ersteres wird als "intrinsic rewetting effect" bezeichnet und erklärt, warum ein "moist bonding" nicht zur Verbesserung der Haftfestigkeit der wasserhaltigen Präparate führt (Haller and Fritzenschaft 1999). Überdies konnten VAN MEERBEEK et al. im Transmissionselektronenmikroskop zeigen, dass die Ultrastruktur der erzeugten Hybridschicht bei "dry bonding" und "moist bonding" identisch ist (Van Meerbeek et al. 1998).

*OptiBond FL* enthält zudem ein gefülltes Adhäsiv - 48 Gew.-% - (Kerr 2006), wodurch sich ein weiterer Vorteil ergibt. Bei der Applikation entsteht eine dickere Adhäsivschicht (Bouillaguet et al. 2001), welche die auf den Verbund wirkenden Polymerisationskräfte als Stressbrecher abpuffern kann (Van Meerbeek et al. 1993b). Verschiedene Studiengruppen konnten den positiven Einfluss der gefüllten Adhäsive im Vergleich zu den ungefüllten Adhäsiven durch signifikant bessere Randqualitäten belegen (Swift et al. 1996).

#### 6.2.2.2 *Clearfil SE Bond*

Das selbstkonditionierende Zwei-Schritt-Adhäsivsystem *Clearfil SE Bond* zeigte ebenfalls nach jeder der drei Versuchsphasen sehr hohe Anteile an kontinuierlichen Rändern "Note 1" (100 %/ 100 %/ 87 %). In der vorliegenden Studie sind *Clearfil SE Bond* und *OptiBond FL* bezüglich ihrer Randqualität miteinander vergleichbar, da sie sich nicht signifikant voneinander unterschieden. DE MUNCK et al. stellten zudem fest, dass *Clearfil SE Bond* und *OptiBond FL* ähnlich gute Haftkräfte am Schmelz als auch am Dentin aufweisen (De Munck et al. 2005a). Darüber hinaus waren diese im Vergleich zu *Adper Prompt L-Pop*

signifikant höher (De Munck et al. 2005a). NIKAIDO et al. prüften den Einfluss der thermischen und mechanischen Belastung auf die Dentinhaftkräfte eines ebenfalls selbstkonditionierenden Zwei-Schritt-Adhäsivsystems (*Clearfil Liner Bond 2V*) und konnten keine signifikante Abnahme der Haftkraft nach den Belastungsphasen ermitteln (Nikaido et al. 2002b). FRANKENBERGER und TAY verglichen in ihrer Untersuchung Etch&Rinse-Adhäsivsysteme mit selbstätzenden Adhäsivsystemen, indem sie die Randqualität mit Hilfe der quantitativen Randanalyse vor und nach thermo-mechanischer Belastung beurteilten (Frankenberger and Tay 2005). Vor der Belastung zeigten ausschließlich die Proben der Adhäsive *Clearfil SE Bond*, *Syntac Classic* und *OptiBond FL* 100 % spaltfreie Ränder. Die Randqualität nahm nach der Belastung ab, jedoch verhielten sich *Clearfil SE Bond* (62,9 %) und *OptiBond FL* (65,6 %) diesbezüglich nicht signifikant voneinander. Das gleichermaßen evaluierte „All-in-one“-Adhäsiv *Adper Prompt L-Pop* zeigte zu jedem Zeitpunkt signifikant schlechtere Randqualitäten. Die Ergebnisse dieser Arbeitsgruppe bestätigen ebenfalls die Resultate der vorliegenden Studie.

Die selbstätzenden Adhäsivsysteme erfreuen sich aufgrund ihrer Anwenderfreundlichkeit in den zahnärztlichen Praxen großer Beliebtheit. Die Wirksamkeit der selbstkonditionierenden Systeme mit separater Applikation von Primer und Adhäsiv wird von vielen Autoren bestätigt (Inoue et al. 2001, Molla et al. 2002, Nikaido et al. 2002a). Allerdings sind die „All-in-one“-Systeme den Zwei-Schritt-Systemen bezüglich ihrer Wirksamkeit ebenso unterlegen wie den Etch&Rinse-Systemen (Frankenberger et al. 2001, Kaaden et al. 2002, Molla et al. 2002).

Der Vorteil der selbstätzenden Systeme ist folgender: Zeitgleich mit der Modifikation der Schmierschicht durch den sauren Primer dringen die Primer-Monomere in die konditionierten Oberflächen ein (Schübach et al. 1997, Haller 2000). Somit ist die Demineralisationsfront der Säure identisch mit der Tiefe der eingedrungenen Monomersysteme. Ein ungeschütztes demineralisiertes Kollagenfasergeflecht, das beim Trocknen kollabiert und dessen Mikroporen durch ein „moist bonding“ offengehalten werden müssen, entsteht dabei nicht. Um eine optimale Ätzwirkung durch die sauren Monomere sicherzustellen, wird eine Einwirkzeit des selbstkonditionierenden Primers von mindestens 30 s empfohlen.

Allerdings bestehen bei der Verwendung dieser Systeme auch Nachteile. Eine zu feuchte Dentinoberfläche führt möglicherweise zu einer Verdünnung der Monomere, oder wie von JACOBSEN und SÖDERHOLM beschrieben, zu einer Konkurrenz von Wasser und HEMA um die interfibrillären Mikroholräume (Jacobsen and Söderholm 1995). In diesem Fall ist die Wirksamkeit des Adhäsivsystems beeinträchtigt.

#### 6.2.2.3 *Excite*

Bei der Gegenüberstellung der in dieser Studie untersuchten Etch&Rinse-Systeme wies das Zwei-Schritt-Adhäsiv *Excite* gegenüber dem Drei-Schritt-Adhäsiv *OptiBond FL* zu allen drei Belastungsphasen eine signifikant schlechtere Randqualität auf (81,2 %/ 63,3 %/ 17,8 %). Dieses Resultat verhält sich in Übereinstimmung mit In-vitro-Langzeitversuchen. Sie bestätigen, dass Zwei-Schritt-Systeme sowohl im Randverhalten als auch in den Haftwerten schlechtere Ergebnisse erzielen als Adhäsive, bei denen eine getrennte Applikation von Primer und Adhäsiv erfolgt (Frankenberger et al. 1996, Frankenberger et al. 1998, Miyazaki et al. 1998, Bouillaguet et al. 2001, Frankenberger 2002). VAN MEERBEEK et al. vermuten die Ursache in der unzureichenden Hybridisierung, bedingt durch eine ungenügende Penetration des "one-bottle"-Adhäsivs in die mit der Phosphorsäure konditionierte Dentinoberfläche (Van Meerbeek et al. 1992b, Van Meerbeek et al. 1999). In der vorliegenden Studie wäre die Möglichkeit der inkompletten Infiltration des Dentins eine denkbare Erklärung für das schlechte Abschneiden des Primer-Adhäsivs *Excite*. Zudem ist bekannt, dass der Ätzworgang zur verstärkten Empfindlichkeit des demineralisierten Kollagenfaserwerks mit der Gefahr des Kollabierens beiträgt. Die optimale und gleichmäßige Benetzung der exponierten Kollagenfibrillen durch das "one-bottle"-Adhäsiv ist in diesem Fall beeinträchtigt (Sano et al. 1995, Eick et al. 1997). Erschwerend kommt hinzu, dass acetonbasierte und auch ethanolbasierte Adhäsive wie *Excite* empfindlich auf den Trocknungsgrad des Dentins reagieren und damit den adhäsiven Verbund gefährden. PIOCH et al. konnten in ihrer Untersuchung zeigen, dass Undichtigkeiten im Sinne eines "nanoleakage" reduziert werden können, wenn ein aceton- bzw. ein ethanolbasiertes Adhäsivsystem auf feuchtem Dentin angewendet wurde (Pioch et al. 2002). PERDIGAO et al. zeigten, dass ein Wiederanfeuchten einer zu stark getrockneten

Dentinoberfläche die Haftkräfte eines acetonbasierten Systems wesentlich verbessert (Perdigao et al. 1998). In diesem Zusammenhang ist die Vorgehensweise des "wet bonding" unbedingt erforderlich (Gwinnett 1992b, Kanca 1992b, Gwinnett 1994, Jacobsen and Söderholm 1998). Deshalb wurden in der vorliegenden Studie die mit Phosphorsäure konditionierten Dentinoberflächen im Sinne der "Rewetting"-Technik vorbehandelt.

#### 6.2.2.4 *Adper Prompt L-Pop*

Beim "All-in-one"-Adhäsiv *Adper Prompt L-Pop* wird der Konditionierungs-, der Priming und der Bondingschritt durch die Applikation einer Lösung vollzogen. Damit soll die Voraussetzung für die Haftung des Komposits an der Zahnhartsubstanz geschaffen werden.

In dieser Untersuchung erwies sich *Adper Prompt L-Pop* zu allen drei Evaluationszeitpunkten als wenig wirksames Adhäsiv (82,3 %/ 64,7 %/ 28 %). Im Vergleich zu *OptiBond FL* und *Clearfil SE Bond* wurden signifikant geringere Anteile an kontinuierlichen Rändern "Note 1" ermittelt.

PNEUMANS et al. werteten in ihrer Literaturübersicht 85 publizierte klinische Studien in Bezug auf die Wirksamkeit heute gebräuchlicher Adhäsivsysteme aus (Peumans et al. 2005). Ihre Analyse bescheinigt den selbstätzenden Adhäsiven, bei denen eine gleichzeitige Applikation von Primer und Adhäsiv erfolgt - so auch *Prompt L-Pop* - eine ineffiziente Wirkung. Sie ermittelten für diese Systeme eine Misserfolgsrate von 8,1 % bei gleichzeitig großer Streuung der Ergebnisse (0 bis 48 %). Im Vergleich dazu zeigten die Etch&Rinse-Mehrflaschen-Systeme eine Misserfolgsrate von 4,8 % mit einer geringen Streuung der Werte (0 bis 16 %). Sie schnitten damit deutlich besser ab.

In Bezug auf die mit *Prompt L-Pop* zu erzielenden Haftkräfte kamen KAADEN et al. in ihrer Untersuchung zu folgendem Ergebnis: Die am Schmelz ermittelten Werte für *Prompt L-Pop* (22,4 MPa) waren signifikant niedriger als die für das selbstätzende Zwei-Schritt-System *Clearfil SE Bond* (29,1 MPa) ermittelten Werte (Kaaden et al. 2002). Dies traf auch für die Haftkräfte am Dentin zu, wo *Prompt L-Pop* (5,7 MPa) signifikant schlechtere Haftwerte zeigte als *Clearfil SE Bond* (20,2 MPa). Auch die Arbeitsgruppe unter DE MUNCK et al. fand für *Adper Prompt L-Pop* signifikant niedrigere Haftwerte an Schmelz und Dentin als im Vergleich zu *Clearfil SE Bond* und der Kontrollgruppe *OptiBond FL* (De Munck et al. 2005b).

FANKENBERGER und TAY prüften *Adper Prompt L-Pop* unter dem Gesichtspunkt der marginalen Integrität nach thermomechanischer Wechselbelastung (Frankenberger and Tay 2005). Das Adhäsivsystem zeigte im Dentin zu 34 % randspaltfreie Ränder. Es unterschied sich damit signifikant von den ebenfalls getesteten Systemen *OptiBond FL* (65,6 %) und *Clearfil SE Bond* (62,9 %), die ähnlich gute Randqualitäten aufwiesen. Diese Ergebnisse stimmen mit denen der vorliegenden Untersuchung überein. Als Erklärung vermutet die Arbeitsgruppe FANKENBERGER und TAY folgende Ursache (Frankenberger and Tay 2005): Aggressive selbstätzende Adhäsivsysteme mit einem niedrigen pH-Wert wie *Adper Prompt L-Pop* sind in der Lage, eine Hybridschichtdicke analog solcher Systeme auszubilden, bei denen zur Konditionierung Phosphorsäure verwendet wird, allerdings mit dem Unterschied, dass die in die Dentintubuli reichenden Kunststoffzapfen (engl.: "resin tags") weniger ausgeprägt sind. Die Stressresistenz ist vermindert und die marginale Integrität gefährdet.

Eine weitere mögliche Erklärung für das schlechte Abschneiden für *Adper Prompt L-Pop* besteht in der Tatsache, dass es sich bei diesem System um ein ungefülltes Adhäsiv handelt. Nach Untersuchungen von KEMP-SCHOLTE und DAVIDSON kann ein gefülltes Adhäsiv 20 bis 50 % des Polymerisationsstresses abpuffern, was zu einer deutlichen Verbesserung der Randqualität führt (Kemp-Scholte and Davidson 1990b). In diesem Zusammenhang konnten FRANKENBERGER et al. für *Prompt L-Pop*, unter der experimentellen Zugabe eines Füllstoffes eine signifikante Verbesserung der Haftkräfte verzeichnen (Frankenberger et al. 2001). Des Weiteren wird im Fall der "All-in-one"-Adhäsive, bei denen man nur eine Monomerlösung appliziert, das Phänomen der semipermeablen Membran diskutiert. Wasser tritt aus dem Dentinliquor an die Oberfläche und kann so die eher hydrophobe Oberfläche des Komposits beeinträchtigen (Tay et al. 2002). Somit existiert eine weitere Erklärung für die ineffiziente Wirksamkeit dieser Adhäsivsysteme.

Weiterhin besteht bei der unsachgemäßen Handhabung von *Adper Prompt L-Pop* die Gefahr, dass die beiden in den Kissen enthaltenen Komponenten vor der Applikation nur unzureichend durchmischt werden. In diesem Fall läge pro Kavität mit jedem anfallenden Mischprozess eine unterschiedliche Lösungszusammensetzung vor. Ein optimaler Wirkmechanismus darf daher angezweifelt werden.

*Prompt L-Pop* wird häufig in Kombination mit einem Kompomer verwendet und scheint in dieser Kombination bessere Resultate zu erzielen (Rosa and Perdigao 2000).

### 6.2.3 Einfluss der Randlage

*Excite* zeigte zu allen Evaluationszeitpunkten im Auswertungsbereich "Ecke" signifikant bessere Randqualitäten als im Bereich "Rand". Auch bei *Adper Prompt L-Pop* waren - mit Ausnahme nach Wasserlagerung - die Anteile an kontinuierlichen Rändern im Bereich "Ecke" signifikant höher.

Es ist bekannt, dass bei gefüllten Adhäsiven aufgrund ihrer höheren Viskosität eine stärkere Adhäsivschicht als so genannter "Stressbrecher" sowohl in der Kavität als auch an deren Rand verbleibt (Perdigao et al. 1996a). Im Hinblick auf die marginale Integrität zahnärztlicher Restaurationen erscheint dies von Vorteil, da die marginale Adaptation verbessert wird (Swift et al. 1996, Da Cunha Mello et al. 1997).

Bei beiden Adhäsivsystemen *Excite* und *Adper Prompt L-Pop* handelt es sich jedoch um ungefüllte Materialien, so dass eine Pufferwirkung scheinbar ausgeschlossen ist. In diesem Zusammenhang konnten PETER et al. zeigen, dass ungefüllte Adhäsivsysteme in Abhängigkeit vom Ort der Messung verschiedene Schichtdicken aufweisen (Peter et al. 1997). Sie stellten fest, dass die Adhäsivschicht im Innenwinkel einer Hohlkehlpräparation (200 µm) signifikant höher ist als auf der Stufe der Hohlkehle (< 50 µm). Die Ursache vermuteten sie in der unterschiedlichen Viskosität von Primer und Adhäsiv, aufgrund dessen sich das ungefüllte Adhäsiv im Innenwinkel der Präparation sammelt und dort vor der Ausdünnung durch den Luftstrom geschützt ist. Ähnliche Voraussetzungen bestehen in den "Ecken" einer Klasse-II-Kavität, so dass auch hier von einer dickeren Adhäsivschicht ausgegangen werden muss. Diese kann zur Spannungskompensation beitragen, wodurch die besseren Randqualitäten im kritischen Bereich der approximal-zervikalen "Ecken" einer Kavität erklärt werden können.

Dennoch ist es notwendig, die verwendeten Materialien unter den gegebenen Kriterien erneut zu beurteilen, um die in dieser Untersuchung gefundenen Ergebnisse zu überprüfen.