

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor Prof. Dr. R. Hickel

**Klinisches Verhalten und Randspaltverhalten von
Klasse-II-Kompositfüllungen
in Abhängigkeit von verschiedenen Dentinadhäsiven
nach einer Liegezeit von 24 Monaten**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Julia Christine Romer
aus Schwabmünchen

2006

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: **Priv. Doz. Dr. J. Manhart**

Mitberichterstatter: **Priv. Doz. Dr. M. Stöckelhuber**

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter: **Dr. Petra Neuerer**

Dekan: **Prof. Dr. med. D. Reinhardt**

Tag der mündlichen Prüfung: **07.12.2006**

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
2.	Literaturübersicht	3
2.1.	Komposite	3
2.1.1.	Aufbau, Zusammensetzung und Einteilung	3
2.2.	Adhäsivsysteme	7
2.2.1.	Aufbau des Zahnschmelzes	7
2.2.2.	Schmelz- Komposit- Verbund	8
2.2.3.	Aufbau des Dentins	9
2.2.4.	Dentin- Komposit- Verbund	11
2.2.5.	Anforderungen an Dentinadhäsive	15
2.2.6.	Klassifikation der Dentinadhäsive	16
3.	Fragestellung der Studie	21
4.	Material und Methode	22
4.1.	Patientengut	22
4.2.	Verwendete Materialien	23
4.2.1.	Zusammensetzung und Eigenschaften der Dentinadhäsive	23
4.2.2.	Zusammensetzung und Eigenschaften der Kompositmaterialien	25

4.3.	Herstellung der Klasse-II-Kompositfüllungen	28
4.3.1.	Kavitätenpräparation	28
4.3.2.	Applikation des Dentinadhäsivs	28
4.3.3.	Applikation und Aushärtung des Kompositmaterials	30
4.3.4.	Ausarbeitung und Politur	30
4.4.	Dokumentation	31
4.4.1.	Klinische Bewertung nach USPHS-Kriterien	31
4.4.2.	Replikatherstellung	39
4.5.	Randspaltvermessung	40
4.5.1.	Bildgewinnung im Rasterelektronenmikroskop	40
4.5.2.	Quantitative REM-Analyse	40
5.	Ergebnisse	42
5.1.	Erhobene klinische Daten	42
5.2.	Statistische Auswertung der klinischen Daten	49
5.3.	Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Randanalyse	54
6.	Diskussion	56
6.1.	Material und Methode	56
6.2.	Bewertung der Ergebnisse der klinischen Untersuchung	58
6.3.	Bewertung der Ergebnisse der Randanalyse (REM)	62

7.	Zusammenfassung	64
8.	Literaturverzeichnis	66
9.	Anhang	73
9.1	Materialliste	73
9.2.	Danksagung	74
9.3.	Lebenslauf	75

1. Einleitung

In der restaurativen Zahnheilkunde führte die rasche Entwicklung und Markteinführung von Füllwerkstoffen und Adhäsivsystemen in den vergangenen Jahren zu einer enormen Produktvielfalt. Dies ist sicherlich auf den zunehmenden Wunsch der Patienten nach einer gesundheitlich unbedenklichen, langlebigen und ästhetischen Zahnversorgung zurückzuführen.

Nachdem 1992 die Indikation für Amalgam vom Bundesinstitut für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM) eingeschränkt worden war, kam es zu einer kontroversen Diskussion - vor allem auch in den Medien - bezüglich der Gesundheitsrisiken und der Umweltschädlichkeit.

Daraus resultierte, dass Patienten zunehmend Amalgam als Füllungswerkstoff ablehnen (Roulet, 1994; Hickel, 1997) und Alternativen fordern, zumal zwischenzeitlich die ästhetischen Ansprüche an Zahnersatz und Füllungen enorm gestiegen sind. Daher galt es, für die okklusionstragenden Versorgungen im Seitenzahnbereich andere Möglichkeiten zu finden.

Goldgussfüllungen, sowie die ästhetisch ansprechendere Alternative der Keramik- oder Kompositinlays, sind in ihrer Herstellung sehr aufwendig und teuer, so dass diese Versorgungen einem Großteil der Patienten aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich sind.

Daher wurde die Entwicklung und Verbesserung zahnfarbener plastischer Füllmaterialien konsequent vorangetrieben. Eine wesentliche Gemeinsamkeit vieler dieser Werkstoffe ist deren adhäsive Befestigung an den Zahnhartsubstanzen. Diese soll einen dichten Verschluss der Kavität gewährleisten.

Der Verbund moderner Kompositwerkstoffe zum Schmelz wird heute als weitgehend zuverlässig eingestuft (Lutz und Krejci, 1993; Willems et al., 1995), während die Haftung am Dentin als weit problematischer gilt.

Daher stellt Sekundärkaries als Folge eines nicht suffizienten adhäsiven Verbundes die mit Abstand häufigste Ursache für den Austausch von Kompositfüllungen dar (Friedl et al., 1995).

Mittlerweile gibt es mehrere Generationen von Dentinadhäsiven mit unterschiedlichen Konzepten der Dentinadhäsion.

Durch die konsequente Zusammenfassung der Arbeitsschritte (Schmelzätzung, Dentinkonditionierung, Aufbringen des Dentinprimers, Aufbringen des Adhäsivs) soll Verarbeitungsfehlern vorgebeugt, sowie ein Zeitersparnis im Ablauf erzielt werden.

Die vorliegende Studie wurde konzipiert, um in vivo das Einschrittadhäsiv Prompt L-Pop[®] hinsichtlich klinischer Parameter sowie im Rasterelektronenmikroskop (REM) am Mehrschrittadhäsiv Syntac[®] Classic zu messen, sowie dessen Eignung für Klasse-II-Kavitäten zu testen.

Die klinische Bewertung erfolgte nach USPHS-Kriterien. Die Randqualität wurde an Harzmodellen mittels der REM-Analyse dargestellt und beurteilt.

2. Literaturübersicht

2.1 Komposite

2.1.1. Aufbau, Zusammensetzung und Einteilung

Komposite (lat. componere = zusammenfügen) sind definitionsgemäß zusammengesetzte Werkstoffe, die aus einer organischen Matrixphase und einer anorganischen Füllstoffphase bestehen. Diese werden durch eine dritte Komponente, das so genannte Kopplungsagens miteinander verbunden. In der Zahnheilkunde gibt es zahlreiche Anwendungsmöglichkeiten für Komposite: sie dienen als direktes Füllungsmaterial ebenso wie zur Herstellung von Inlays als auch als adhäsives Befestigungsmaterial.

Organische Matrixphase

Die Kompositmatrix besteht aus einem Gemisch von Monomeren und Co-Monomeren, Initiatoren, Co-Initiatoren, Inhibitoren, Photostabilisatoren sowie weiteren Additiven (Hellwig et al., 1995; Geurtsen, 1999). Die Molekülstruktur der meisten Monomere geht auf die von Bowen 1962 entwickelte Verbindung Bisphenol-A-Glycidyl-Methacrylat (Bis-GMA) zurück. Wichtige Derivate sind das Bis-EDMA sowie das Urethandimethacrylat (UEDMA) (Roulet, 1987; Geurtsen, 1999). Nach Aktivierung eines Initiatorsystems kommt es zu einer Verknüpfung (Polymerisation) dieser Monomere, so dass langkettige Polymere entstehen. Um die Materialeigenschaften wie z.B. die Viskosität positiv zu beeinflussen wird eine Kombination verschiedener Co-Monomere (TEGDMA) zur Verdünnung zugesetzt. Dies ermöglicht auch einen höheren Fülleranteil mit anorganischen Zusatzstoffen. Moderne Komposite enthalten meist verschiedene Arten von Monomeren.

Füllstoffphase

Die anorganische Füllstoffphase bestimmt ganz entscheidend die physikalisch-werkstoffkundlichen Eigenschaften moderner Kompositfüllungsmaterialien (Lutz, 1983).

Ziel ist es, die Polymerisationsschrumpfung, thermische Expansion und Wasseraufnahme zu verringern, sowie die Druck-, Zug-, und Abriebsfestigkeit zu erhöhen.

Bei den Füllstoffen handelt es sich um reines Quarz (SiO_2), Glas ($\text{SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$) und Keramiken (Al_2O_3).

Eine Radioopazität wird durch die Beimengung der Glasfüllkörper mit Schwermetallen wie Barium oder Strontium erreicht (Geurtsen, 1999).

Je nach Füllkörpergröße kann man Mikro-, Makro-, und Hybridkomposite unterscheiden, wobei erstere in eine homogene und eine inhomogene Gruppe unterteilt werden. (Lutz, 1983)

Tabelle 1: Klassifikation der Komposite auf Basis der Füller nach Lutz (1983)

Typ	Füllerart und -material	Füllergröße
Konventionelle Komposite	Makrofüller (Quarz, Glas, Keramik)	> 1 μm
Mikrofüllerkomposite	Mikrofüller (feinstteiliges SiO_2)	
a) homogen	beigefügte Mikrofüller	0.01-0.04 μm
b) inhomogen	Vorpolymerisat mit SiO_2 (splitter- oder kugelförmig) oder feinstteiliges SiO_2	1-200 μm 0.01-0.04 μm
Hybridkomposite (Manhart, 2006)	Mikrofüller und Makrofüller	0.01-0.04 μm Hybridkomposit < 10 μm Feinpartikelhybridk. < 5 μm Feinstpartikelhybridk. < 3 μm Submikrometerhybridk. < 1 μm

Konventionelle Komposite

Komposite mit Makrofüllern, deren durchschnittliche Größe 1,5 – 5 μm beträgt weisen zwar durch den hohen Füllungsgrad eine hohe Biegebruchfestigkeit, geringere Schrumpfung sowie eine geringere Wasseraufnahme auf, sind jedoch durch die grobe Körnung und den großen Härteunterschied zwischen Füller und Matrix weniger verschleißfest und schlechter polierbar. Daher finden sie heute keine Verwendung mehr.

Mikrofüllerkomposite

Mikrofüllerkomposite besitzen eine Füllkörpergröße $< 1\mu\text{m}$. Bedingt durch die Füllkörpergröße lassen sich die Mikrofüllerkomposite optimal polieren. Bei homogenen Mikrofüllerkompositen besitzt die Füllkörperfraktion eine große spezifische Oberfläche, da sie ausschließlich mikrofeine SiO_2 -Partikel enthält. Dies führt zu einer starken Viskositätssteigerung.

Um einen akzeptablen Füllergehalt, sowie eine verarbeitbare Konsistenz zu erreichen, haben sich inhomogene Mikrofüllerkomposite bewährt.

Hier gibt es vorpolymerisierte Bestandteile, die die Polymerisationsschrumpfung auf ein akzeptables Maß beschränken sollen, ohne dass die gute Politurfähigkeit oder die Elastizität negativ beeinflusst werden.

Mikrofüllerkomposite bewirken aufgrund ihrer höheren Eigenelastizität eine geringere Belastung des adhäsiven Verbunds zur Zahnhartsubstanz (Ernst und Willershausen, 2003).

Bei der Abrasion handelt es sich primär um eine Matrixabrasion. Neu in dieser Gruppe sind Nanofüllerkomposite (hochgefüllte Mikrofüllerkomposite), die einen gleich hohen Füllergehalt wie Hybridkomposite aufweisen. Dies ist durch freie, nicht agglomerierte Mikrofüller, die so genannten Nanomere möglich.

Hybridkomposite

Hier wurden die optimalen physikalischen Eigenschaften der Makrofüller mit der hervorragenden Politurfähigkeit der Mikrofüller kombiniert, indem unterschiedlich große Füllkörper verwendet wurden (Lösche et al., 1993).

Je nach mittlerer Füllkörpergröße gibt es Fein-, Feinst-, und Submikrometer-Hybridkomposite. Da diese Komposite sehr universell anwendbar sind, haben sich zwei Subtypen ausgebildet:

- Flowkomposite als fließfähige Derivate für erweiterte Fissurenversiegelungen und minimalinvasive Restaurationen
- Stopfbare Komposite

Verbundphase

Durch die Silanisierung von Füllstoffen wird die Verbindung zwischen organischer Matrix und anorganischer Füllstoffphase als chemischer Verbund im Bereich der Oberfläche der Füllstoffpartikel erreicht. In der Regel handelt es sich hierbei um 3-Methacryloyloxypropyltrimethoxysilan, das sich in einer Esterreaktion mit dem Füller verbindet.

Die Silanisierung führt zu einer Hydrophobierung des Füllstoffes, so dass dieser sich leichter in die Matrix eingliedert und der Füllstoffgehalt des Komposites so erhöht werden kann.

Die Verbindung zwischen Silan und Füllkörper kann jedoch durch saure Hydrolyse gelöst werden, dies stellt eine Schwachstelle aller Kompositmaterialien dar (Folwaczny und Haffner, 1996).

2.2 Adhäsivsysteme

Im Folgenden werden die grundlegenden Mechanismen eines Verbundes von Komposit mit den Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin dargestellt.

2.2.1. Aufbau des Zahnschmelzes

Zahnschmelz besteht zu 86 Vol.% aus kristalliner, mineralisierter Hartschubstanz, zu 2 Vol.% aus Wasser und zu 12 Vol.% aus organischer Matrix (Schroeder, 1992). Somit ist Schmelz das härteste und am stärksten mineralisierte Gewebe des menschlichen Körpers.

Hauptsächlich Kalzium und Phosphor in Form von Hydroxylapatitkristallen bilden den kristallinen Anteil (Schroeder, 1992; Lutz et al., 1993).

Diese Apatitkristalle besitzen einen annähernd hexagonalen Querschnitt und sind stäbchenförmig.

Ihr Durchmesser beträgt 40 - 70 nm und sie erreichen Längen von 160 nm.

Umgeben sind sie von einer Hydratationsschale. Die so genannten Schmelzprismen werden aus ca. 100 Kristalliten gebildet und erstrecken sich von der Schmelz- Dentingrenze bis fast zur Schmelzoberfläche (Wright, 1997).

Sie sind schlüsselloch- oder hufeisenförmig angeordnet (Lutz et al., 1993) und besitzen einen Durchmesser von 5 - 9 µm.

Diese Prismen als Organisationsstruktur liegen eingebettet in einer interprismatischen Substanz, die aus ungeordneten Kristalliten besteht.

Vor allem Proteine, sowie ein geringer Anteil an Kohlenhydraten und Lipiden - jedoch kein Kollagen - bilden die organische Matrix des Schmelzes (Schroeder, 1992; Sonju Clasen und Ruyter, 1997).

An der Oberfläche menschlicher Zahnkronen gibt es häufig eine 20 - 30 µm starke prismenfreie Schicht, die vom so genannten Schmelzoberhäutchen („acquired pellicle“) überzogen ist.

2.2.2. Schmelz- Komposit- Verbund

Um eine mikroretentive Verankerung des Adhäsivs an der Schmelzoberfläche zu erreichen, wird diese mit verdünnter Phosphorsäure konditioniert.

Dieses Vorgehen ist seit langem als Säureätztechnik etabliert und geht auf Buonocore zurück (Buonocore, 1955).

Die hierbei verwendete 30 – 40-prozentige Orthophosphorsäure erzeugt durch das unterschiedliche Auflösen der Schmelzprismen und der interprismatischen Substanz ein mikromechanisch-retentives Ätzmuster auf der Oberfläche.

Schmelzhaftvermittler (Adhäsive) sind niedrigvisköse, hydrophobe, ungefüllte Monomergemische auf Bis-GMA- oder Urethandimethacrylatbasis (van Meerbeek et al., 1992; van Meerbeek, 1997). Diese können das selektive Ätzmuster optimal benetzen.

Das Adhäsiv verbindet sich rein mechanisch - nicht chemisch - mit der Oberfläche des Schmelzes und bildet so die Befestigungsgrundlage für die Restauration.

Haftwerte bis zu 20 MPa und mehr können erreicht werden (van Meerbeek et al., 1992; Swift et al., 1995). Das Aufbringen des Adhäsivs erfolgt durch ein ca. 20- sekündiges Einmassieren in die Schmelzoberfläche mittels Pinsel oder Schwämmchen.

Anschließend wird die Adhäsivschicht durch die Bestrahlung mit der Polymerisationslampe ausgehärtet (Wendl et al., 2003).

Modernste Produkte fassen die Arbeitsschritte zusammen: eine einmalig aufgebrauchte Schicht des Adhäsivs beinhaltet auch schon das Anätzen.

Diese selbstätzenden Adhäsive sind gleichermaßen für Dentin und Schmelz anwendbar (Wendl et al., 2003).

2.2.3. Aufbau des Dentins

Dentin besteht aus einer mit Apatitkristallen gefüllten kollagenen Matrix und ist im Gegensatz zum Schmelz ein vitales Gewebe.

Es setzt sich zu 45 Vol.% aus anorganischen, zu 30 Vol.% aus organischen Bestandteilen und zu 25 Vol.% aus Wasser zusammen (Schroeder, 1992; Marshall et al., 1997).

Die kollagene Matrix ist mit einem System parallel ausgerichteter Hohlzylinder, den so genannten Dentintubuli, durchsetzt. Aufgrund dieser tubulären Struktur variiert die Zusammensetzung innerhalb eines Zahnes (Panighi und G`Shell, 1987).

Plättchenförmige Apatitkristalle bilden den organischen Anteil und sind ca. 20 nm lang und 3,5 nm breit. Sie sind deutlich kleiner als Schmelzkristalle und besitzen einen höheren Carboxylat-, jedoch einen geringeren Kalziumanteil (Mjör, 1987).

So ergibt sich eine größere Kristalloberfläche, jedoch eine geringere Säureresistenz (Posner und Tannenbaum, 1984).

Die Dentintubuli verlaufen geschwungen von der Schmelz- Dentin-, bzw. Zement- Dentin- Grenze in Richtung Pulpa. In ihnen befinden sich Odontoblastenfortsätze und Dentinliquor.

Der Anteil des Tubulivolumens am Dentinvolumen beträgt pulpanah 28 %, schmelznah 4 – 10 % (Panighi und G`Shell, 1987; Söderholm, 1995).

Aufgrund des Gewebedrucks der Pulpa (20 - 30 mm Hg) und der physiologischen intratubulären Permeabilität (geringer Diffusionswiderstand innerhalb der Tubuli) ergibt sich ein nach außen gerichteter Flüssigkeitsstrom des in den Tubuli befindlichen Dentinliquors.

So erklärt sich, dass Dentin mit seinen hydrophilen Eigenschaften im Gegensatz zum hydrophoben Schmelz in vivo nicht absolut trocken zu legen ist (Schäfer, 1999).

Vasokonstringentien (z.B. in Lokalanästhetika) reduzieren den intrapulpalen Druck und verringern so den Liquorausstritt (Kim et al., 1984; Pashley und Matthews, 1993).

Ein wirksamer Dentinhaftvermittler muss demnach Feuchtigkeit tolerieren und eine Verbindung zwischen hydrophobem Komposit und hydrophilem Dentin ermöglichen.

Im pulpenahen Dentin kommt es aufgrund der erhöhten Anzahl an Dentintubuli (Panighi und G`Shell, 1987; Söderholm, 1995) auch zu einem erhöhten Austritt an Dentinliquor.

Dies ist einer von mehreren Erklärungsansätzen, weshalb die Haftwerte von Komposit im pulpenahen Dentin niedriger liegen als im mittleren oder schmelznahen Dentin (Suzuki und Finger, 1988; Schaller et al., 1994; Schäfer, 1999).

Altersbedingt ist die zunehmende Bildung von sklerosiertem Dentin; das peritubuläre Dentin verdickt sich und die Dentintubuli obliterieren.

Dieses Dentin ist weniger säurelöslich und die Haftwerte werden deutlich niedriger.

Mit zunehmender Restdentinstärke soll die Haftkraft der Dentinadhäsive am Dentin ansteigen (Suzuki und Finger, 1988; Schäfer, 1999).

Wird Dentin mit rotierenden Instrumenten bearbeitet, kommt es zur Ausbildung einer so genannten Schmierschicht (smear layer).

Je nach Kühlung und verwendetem Instrument beträgt deren Dicke bis zu 15 μm (Pashley, 1984).

Die Schmierschicht stellt eine wirksame Diffusionsbarriere gegen Bakterien, jedoch nicht gegen Toxine dar (Brannström, 1984).

2.2.4. Dentin- Komposit- Verbund

Während die gute Haftung von Kompositen am Schmelz schon seit Jahrzehnten bekannt ist und sich bewährt hat (Buonocore, 1955; Manhart et al., 2001), stellt die Dentinhaftung im Vergleich dazu ein größeres Problem dar.

Vor allem das stete Verbleiben von Restfeuchtigkeit macht es schwierig, eine dauerhafte Verbindung zwischen hydrophilem Dentin und hydrophobem Komposit zu erreichen.

Ferner verhindert die durch die Bearbeitung entstehende Schmierschicht zunächst eine Benetzung des Dentins (Lutz et al., 1993; Swift et al., 1995).

Die Schmierschicht lässt sich nicht mit mechanischen Mitteln entfernen.

Als Träger eines Haftverbundes erwies sich die Schmierschicht als ungeeignet, da sie inhomogen, in sich wenig kohärent und mit Mikroorganismen infiziert ist (Nakabayashi und Pashley, 1998).

Der Haftmechanismus zwischen Dentin und Dentinadhäsiv stellt eine Kombination folgender Faktoren dar (Lutz und Krejci, 1992):

- durch Penetration des Adhäsivs bilden sich Zapfen (tags) in das Innere der Dentintubuli
- mikromechanische Verankerung durch Penetration des geätzten, porösen intertubulären Dentins
- Verklettung durch Penetration des freigelegten Kollagenetztes
- Pfropfpolymerisation (grafting) auf das Kollagenetzwerk
- primäre (kovalente) und sekundäre (Dipolwirkung) chemische Bindungen zu den polaren Elementen der organischen und anorganischen Dentinanteile

Neuere Dentinadhäsive weisen eine optimierte Penetration von Monomeren in die Schmierschicht (Jacobsen und Söderholm, 1995), bzw. in das strukturierte Dentin unter Ausbildung einer so genannten Kunststoff-Dentin-Interdiffusionszone auf (Kanaca, 1996).

Die Ausbildung von Kunststofftags und die Kunststoff-Dentin-Hybridschicht (Haller, 1994) unter Einbeziehung des stabilisierten Kollagengeflechts ermöglichen eine deutlich erhöhte Haftfestigkeit und verbessern die Füllungsretention und Qualität der marginalen Integrität.

„Total-etch“- Technik

In der Praxis hat es sich als sehr zeitaufwändig und schwierig herausgestellt, Schmelz und Dentin getrennt und nacheinander zu konditionieren.

Daher hat sich unter dem Begriff „Total-etch“- Technik ein Vorgehen etabliert, bei dem Schmelz und Dentin in einem Arbeitsschritt mit derselben Säure konditioniert werden (Schäfer, 1999).

Zu beachten bleibt, dass aufgrund der unterschiedlichen Anätzbarkeit von Schmelz und Dentin eine passende Applikationsdauer gewählt werden muss.

Ziel ist es, am Schmelz ein retentives Ätzmuster zu erreichen, sowie das Dentin ausreichend zu demineralisieren und dabei die kollagenen Fasern zu schonen (Schäfer, 1999).

So hat sich der Einsatz stärkerer Säuren mit einer insgesamt kürzeren Applikationsdauer (15 - 30 sec) bewährt, da bei der Anwendung schwächerer Säuren die visuelle Kontrolle des kreidig-weißen Ätzmusters am Schmelz nur schwer möglich war (Hickel und Kunzelmann, 1997).

Die Anwendung 20-prozentiger Phosphorsäure für 30 Sekunden lässt ein effektives, gut kontrollierbares Ätzmuster am Schmelz entstehen und bewirkt eine adäquate Dekalzifizierung des Dentins (Uno und Finger, 1996).

Des Weiteren kommen 35 - 38-prozentige Phosphorsäure, 10-prozentige Phosphorsäure oder 10-prozentige Maleinsäure zum Einsatz.

Bei der Dentinkonditionierung mit Phosphorsäure wird eine tief reichende Demineralisation des intertubulären Dentins erreicht (van Meerbeek et al., 1992), sowie die Schmierschicht entfernt. Dies bewirkt eine deutliche Erhöhung der Dentinpermeabilität (Haller, 1992).

Frankenberger et al. (1998) empfehlen, von peripher nach zentral zu konditionieren, damit die Säure eine kürzere Einwirkzeit auf das Dentin als auf den Schmelz hat.

Die „Total-etch“-Technik ist einfach anzuwenden und wird als Methode der Wahl angesehen (Hickel, 1997).

Sie liefert gute klinische Ergebnisse mit guter Randschlussqualität (van Meerbeek et al., 1994; Haller et al., 1995; Schäfer, 1999; Baratieri und Ritter, 2001).

„Wet-bonding“-Technik

Es gibt einige Dentinadhäsive, bei denen am feuchten Dentin höhere Haftwerte gemessen wurden als am trockenen Dentin. Dies ist darauf zurückzuführen, dass Feuchtigkeit (Wasser, Dentinliquor) das Kollabieren des durch das Konditionieren freigelegten kollagenen Fasergeflechts verhindert.

So können Dentinadhäsive mit geeigneten Lösungsmitteln – wie z.B. Aceton – das Dentin besser penetrieren und die Monomere gelangen in die Hohlräume zwischen dem Kollagenetz. Das Aceton entfernt auch gleichzeitig die Restfeuchtigkeit. Hieraus resultiert eine erhöhte Haftfestigkeit (Haller, 1994; Pashley et al., 1994; Jacobsen und Söderholm, 1995).

Ein zu starkes Trocknen des Dentins bewirkt ein Schrumpfen der Dentinmatrix (Pashley et al., 1994; Kanaca, 1996) und die kollabierte Faserschicht stellt eine Diffusionsbarriere für das aufgebrauchte Monomergemisch dar (Hickel und Kunzelmann, 1997; Schäfer, 1999).

Ebenso wie eine zu lange Trocknungszeit wirkt sich ein zu kurzer Abstand des Luftbläasers zum Dentin negativ auf die Haftfestigkeit aus (Kanaca, 1996).

Dies stellt klinisch eine Schwierigkeit dar, da einerseits Feuchtigkeitsansammlungen in der Kavität vermieden, andererseits auch keine zu starke Trocknung des Dentins erreicht werden soll (Hickel und Kunzelmann, 1997; Schäfer, 1999).

Die Anwendung von Kofferdam ist unbedingt zu empfehlen, da die Kavität weder durch Speichel, noch durch Sulcusflüssigkeit oder Blut kontaminiert werden sollte (Haller, 1994; Charlton, 1996; Hickel, 1997). Dies reduziert die erreichten Haftwerte deutlich (Morihawa und Narikawa, 1996).

Die Kavität sollte also unter Kofferdam mit einem Wattepellet tupfend oder mit weitem Abstand schwach durch den Luftbläser getrocknet werden (Hickel und Kunzelmann, 1997).

„Total-bonding“-Technik

Bei dieser Technik wird bei Kavitäten geringer bis mittlerer Tiefe auf das Legen einer Unterfüllung verzichtet. Die Versiegelung des Dentins erfolgt durch das Dentinadhäsiv.

Durch die so möglichst große, frei belassene Schmelz- und Dentinoberfläche sollen die Randqualität und die Retention der Füllung verbessert werden.

Bei Kavitäten, die durch ein großes Oberflächen- / Volumenverhältnis charakterisiert sind, ergibt das „Total-bonding“ die beste Randqualität (Lutz et al., 1993).

Lediglich tiefere, pulpanahe Kavitätenabschnitte sollten punktförmig mit einem Kalziumhydroxidpräparat versorgt werden (Haller, 1994). Darüber wird eine schützende Unterfüllung, z.B. mit Glasionomerezement, gelegt.

Dies ist auch insofern empfehlenswert, als dass die Dentinhaftung im pulpenahen Bereich ohnehin geringer ist (Suzuki und Finger, 1988; Schaller et al, 1994; Schäfer, 1999).

2.2.5. Anforderungen an Dentinadhäsive

Zusammenfassend ergeben sich folgende Anforderungen an Dentinadhäsive (Schäfer, 1999):

- gute Benetzbarkeit der Zahnhartsubstanz
- keine Hydrolysefähigkeit der geknüpften Bindung
- hohe Soforthaftung an den Zahnhartsubstanzen, welche den Schrumpfkraften bei der Polymerisation entgegenwirkt und so ein Ablösen des Komposits verhindert
- bleibende, gute Haftung unter Belastung
- Biokompatibilität in Hinsicht auf das Pulpagewebe, die Schleimhäute und systemische Effekte
- Anwenderfreundlichkeit, d.h. einfache und schnelle Verarbeitung

2.2.6. Klassifikation der Dentinadhäsive

Nachdem mittlerweile auf dem Markt eine kaum noch zu überschauende Vielfalt an Dentinadhäsivsystemen zu finden ist, werden diese unter dem Begriff der „Generationen“ klassifiziert und bewertet. So ergibt sich am ehesten ein Überblick über die Entwicklung der Adhäsive.

Dentinadhäsive der ersten und zweiten Generation

Die Adhäsive der ersten Generation kamen etwa 1965 auf den Markt.

Durch die Entfernung der Schmierschicht sollte mittels der enthaltenen Glycerophosphorsäure ein chemischer Verbund am Dentin erzielt werden (Charlton, 1996).

Dieser Verbund konnte bislang jedoch nicht nachgewiesen werden.

Des Weiteren enthielten diese Haftvermittler Cyanoacrylate, Polyurethan oder die oberflächenaktiven Monomere NPG (N-Phenylglycin) und NPG-GMA (N-Phenylglycin-Glycidylmethacrylat).

Die Haftungsmechanismen zeigten jedoch in der Mundhöhle keine Hydrolysebeständigkeit. Daher sind diese Adhäsive heute nicht mehr auf dem Markt.

Etwa 20 Jahre nach der Einführung der Haftvermittler der ersten Generation kamen die Produkte der zweiten Generation auf den Markt.

Hier wurde grundsätzlich der Erhalt der Schmierschicht angestrebt (Charlton, 1996). Eine chemische Adhäsion zu anorganischen und organischen Bestandteilen des Dentins sollte erzielt werden (Asmussen, 1994).

Es gibt in dieser Generation Adhäsive, die eine Phosphatesterbindung erreichen (Charlton, 1996) und solche auf der Basis einer Polyurethanverbindung.

Die klinischen Ergebnisse waren jedoch äußerst unbefriedigend (Davidson et al., 1984), da die erzeugten Bindungen nicht stabil genug waren, um den Hydrolyseeinflüssen zu widerstehen.

Diese anfänglichen Bonding-Generationen hatten keine Dentinkonditionierung durch Ätzung. Der smear layer wurde belassen und versucht, ihn mit Monomeren zu infiltrieren und dadurch zu stabilisieren.

Dentinadhäsive der dritten Generation

Bei den Materialien dieser Generation kommen verschiedene Konditionierer zum Einsatz, die den smear layer teilweise entfernen oder modifizieren, bevor das eigentliche Adhäsiv aufgetragen wird (Kugel und Ferrari, 2000). Das hydrophile Dentin soll hydrophobisiert werden, um eine Anbindung apolarer Adhäsivgruppen zu ermöglichen.

Zunächst erfolgt eine selektive Schmelzätzung mit Phosphorsäure. Danach wird nur auf das Dentin eine milde organische Säure in Form eines sauren Primers zur Konditionierung (z.B. Malein- oder Zitronensäure) aufgebracht. Sie verbleibt dort ohne abgespült zu werden. Der Primer ist in der Lage, den smear layer zu durchdringen bzw. zu modifizieren, die Dentintubuli zu öffnen und in diese zu penetrieren. So kann er sich durch die erhöhte Permeabilität und die freigelegten Kollagenfasern an das Dentin anlagern (Kugel und Ferrari, 2000; Schäfer, 1999). Die Primer dieser Generation bestehen aus hydrophilen Monomeren, wie 4-META, PENTA oder HEMA gelöst in Ethanol oder Aceton, um die Oberflächenspannung des Dentins zu reduzieren. Mit ihren hydrophoben Gruppen begünstigen sie die Aufnahme des Adhäsivs, z.B. auf der Grundlage von Bis-GMA, TEGDMA oder UDMA.

Nach Applikation des Primers wird dieser dünn verblasen und im nächsten Schritt ein dünnflüssiges Adhäsiv auf Schmelz und Dentin aufgetragen, das nun problemlos in die Mikroporositäten diffundieren kann. Adhäsive enthalten zumeist ebenfalls ein bifunktionelles Molekül als Bindeglied zwischen hydrophilem Primer und hydrophobem Komposit (Blunck, 1996).

Das Adhäsiv sollte grundsätzlich vor Aufbringen des Komposits mit der Polymerisationslampe ausgehärtet werden (Lutz et al., 1993). Hierbei sollte der Abstand zwischen Dentinoberfläche und Polymerisationslampe möglichst klein, sowie die Beleuchtung ausreichend lang sein (Lutz et al., 1993; Söderholm, 1995). Der oberflächlich im Dentin liegende kunststoffimprägnierte Kollagenschwamm wird als Hybridlayer oder Hybridschicht bezeichnet (Nakabayashi et al., 1982). Diese verleiht dem Dentin überwiegend hydrophobe Eigenschaften. Die resultierende Haftkraft wird in direkten Zusammenhang mit der Adhäsivpenetration gebracht.

Erst penetrationsfähige Primer in Adhäsivsystemen, die zwar komplizierter und zeitaufwändiger wurden, brachten Erfolge im Dentinbonding der dritten Generation mit signifikant höheren Haftwerten und Mundbeständigkeit. Die bis dahin erwogene Meinung der chemischen Adhäsion wurde durch das mikromechanische Konzept ersetzt.

Dentinadhäsive der vierten Generation

Bei den Produkten der vierten Generation werden Schmelz und Dentin in einem Arbeitsschritt im Sinne der „total-etch“-Technik konditioniert. Der smear layer wird hierbei komplett vom präparierten Schmelz und Dentin entfernt (Kugel und Ferrari, 2000). Die Systeme bestehen weiterhin aus den separaten Komponenten Ätzel, Primer und Adhäsiv (Christensen, 2001).

Der Zugang des Primers zu Dentin und Tubuli ist so vereinfacht, allerdings treten erstmals auch die Probleme des „Überätzens“ sowie des Kollabierens des Kollagenfasergeflechts auf.

Der Vorteil der „total-etch“-„total-bond“-Technik besteht in der Ausbildung von Tags mit lateralen Ästen und eines Hybridlayers im demineralisierten Kollagenfasergeflecht des intertubulären und peritubulären Dentins.

Es kommt zu einer hermetischen Versiegelung der Dentintubuli und der konditionierten Dentinoberfläche.

Dentinadhäsive der fünften Generation

Mit den Systemen der dritten und vierten Generation konnten klinisch sehr gute Ergebnisse erzielt werden, dennoch wurde das Verlangen nach Systemen laut, die weniger technikanfällig und einfacher strukturiert sind. Die zahlreichen Schritte sollten reduziert und die Gefahr des Kollagenfaserkollapses soweit wie möglich ausgeschlossen werden.

Adhäsive dieser Generation ermöglichen nach vorherigem „total-etch“ ein simultanes Auftragen aller Adhäsivkomponenten auf Schmelz und Dentin. Es existieren Systeme, bei denen das aufzutragende Adhäsiv aus zwei separat gelagerten Flüssigkeiten zunächst angemischt und dann in einem Schritt aufgetragen werden kann, als auch so genannte „One-bottle“-Produkte die die Komponenten Primer und Adhäsiv in einer Flasche enthalten.

Der Adhäsionsmechanismus verändert sich im Vergleich zur vierten Generation nicht. Er wird weiterhin über einen Hybridlayer und die Ausbildung von Tags bewerkstelligt.

Dentinadhäsive der sechsten Generation

Die neueste Generation wird als „selbstätzend“ bezeichnet. Die vorherige separate Konditionierung der Zahnhartsubstanzen durch die „total-etch“-Technik entfällt, da in diesen Produkten zusätzlich saure Monomere zur simultanen Konditionierung enthalten sind. So kommt es zu keiner Differenz zwischen Ätztiefe und Tiefe des Hybridlayers (Haller und Blunck, 2003).

Ziel ist es, die Anwendung zu erleichtern und die Behandlungszeit zu reduzieren.

Oft kam es hier zu Einbußen bei der Haftung, da die Schmelzoberfläche nicht ausreichend retentiv verändert wurde (Haller und Blunck, 2003), neuere Systeme erreichen jedoch Haftfestigkeiten von 22,5 MPa am Dentin und bis zu 41,2 MPa am Schmelz (Davidson et al., 1984; Finger und Fritz, 1996; Frankenberger et al., 1997; Manhart, 2000).

3. Fragestellung der Studie

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss unterschiedlicher Dentinadhäsivgenerationen, Prompt L-Pop[®] (selbstätzendes Adhäsiv, 6. Generation) und Syntac[®] Classic (total-etch-Adhäsiv, 4. Generation), auf den Zustand plastischer Klasse-II-Kompositrestaurationen in einer In-vivo-Studie zu bestimmen.

Als erprobte klinische Beurteilung erfolgte die Bewertung auf Grundlage der modifizierten USPHS-Kriterien.

Die vorliegende Studie umfasst die klinischen Nachuntersuchungsergebnisse nach 24 Monaten sowie eine rasterelektronenmikroskopische Untersuchung des Randbereichs der Komposit- Füllungen.

4. Material und Methode

4.1. Patientengut

Im Sommersemester 1999, sowie im Wintersemester 1999/2000 wurden an der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwig- Maximilians-Universität München im Rahmen der studentischen Kurse Komposit- Füllungen mit dem Feinstpartikelhybridkomposit Tetric[®] Ceram unter Verwendung der Dentinadhäsive Syntac[®] Classic und Prompt L-Pop[®] gelegt.

Es wurden 58 Patienten untersucht.

Vor Beginn der zahnärztlichen Behandlung erfolgte eine gründliche orale Untersuchung, sowie eine Erhebung des Zahnstatus, des Sulcus-Blutungs-Index (SBI) und des Approximalen-Plaque-Index (API).

In Gruppe S befanden sich 17 Frauen und 13 Männer, in Gruppe P jeweils 14 Männer und Frauen.

In Gruppe P wurden Füllungen mit dem Dentinadhäsiv Prompt L-Pop[®], in der Gruppe S Füllungen mit Syntac[®] Classic gelegt.

Jeweils 25 Restaurationen aus jeder Gruppe wurden zufällig ausgewählt und deren Rand im Rasterelektronenmikroskop beurteilt.

Die Füllungen wurden in dieser Studie nach einer Liegedauer von 24 Monaten untersucht.

4.2. Verwendete Materialien

4.2.1. Zusammensetzung und Eigenschaften der Dentinadhäsive

Syntac[®] Classic

Nachfolgend ist die Zusammensetzung des Dentinadhäsivs Syntac[®] Classic dargestellt.

Tabelle 2 : Zusammensetzung von Primer, Adhäsiv und Heliobond nach der Produktinformation von Ivoclar Vivadent

Primer	Adhäsiv	Heliobond
Tetraethylenglycoldimethacrylat 25,0 %	Polyethylenglycoldimethacrylat 35,0 %	Bis-GMA 60 %
Maleinsäure 4,0 %	Maleinsäure < 0,01 %	
Dimethylketon 41,0 %	Glutaraldehyd (50 %) 10,0 %	Triethylenglycol- dimethacrylat 40 %
Wasser 30,0 %	Wasser 55,0 %	

Primer, Adhäsiv und Bonding liegen als 3- Fläschchen- System vor und werden nacheinander, entsprechend der Herstellerangaben, auf die zu versorgende Kavität aufgetragen.

Prompt L-Pop®

Prompt L-Pop® ist ein Einschritt- Adhäsiv für Kompomere und Komposite.

Die multiplen Arbeitsschritte von Schmelzätzung, Dentinkonditionierung, Priming und Bonding sind in einem einzigen Arbeitsgang zusammengefasst.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise besteht darin, dass sich Ätztiefe und Eindringtiefe des Adhäsivs nicht unterscheiden. Im Gegensatz zu den so genannten „One- bottle“- Systemen besteht es aus zwei Komponenten, die vermischt eine Lagerstabilität von nur zwei Stunden besitzen. Die spezielle Einmalapplikationseinheit ermöglicht es, die beiden Flüssigkeiten, die sich in getrennten Reservoirs befinden, durch einfaches Ausdrücken direkt vor der Anwendung zu vermischen. Somit ist eine reproduzierbare Mischqualität gewährleistet. Prompt L-Pop® ist ein Adhäsiv auf Wasserbasis.

Die genaue Zusammensetzung ist laut Produktinformation der Firma 3M Espe wie folgt:

Flüssigkeit 1 (rotes Kissen):

- Methacrylierte Phosphorsäureester
- Initiatoren
- Stabilisatoren

Flüssigkeit 2 (gelbes Kissen):

- Wasser
- Fluoridkomplex
- Stabilisatoren

Nach dem Vermischen der beiden Flüssigkeiten wird das Trägerelement, ein Einmalpinsel, benetzt. Dieser ist von der Mischkammer durch eine Membran getrennt.

4.2.2. Zusammensetzung und Eigenschaften der Kompositmaterialien

In Tetric[®] Ceram und Tetric[®] Flow werden die aus Tetric[®] bekannten Monomere Bisphenol-diglycidylmethacrylat (Bis-GMA), Urethandimethacrylat (UDMA) und Triethylenglycoldimethacrylat (TEGDMA) eingesetzt. Alle drei Monomere sind bifunktionell und enthalten zwei polymerisationsfähige Doppelbindungen. Dadurch werden die meisten Monomermoleküle während der Polymerisation ins Polymernetzwerk eingebunden.

Dies führt zu einem Komposit mit guten physikalischen Eigenschaften und einem minimalen Restmonomergehalt.

In Tabelle 3 sind die in Tetric[®] Ceram und in Tetric[®] Flow enthaltenen Füllstoffe in Gewichtsprozent (Gew%) sowie die durchschnittliche Partikelgröße angegeben.

Tabelle 3 : Zusammensetzung von Tetric[®] Ceram und Tetric[®] Flow nach der Produktinformation von Ivoclar Vivadent

Füllstoff	Tetric[®] Ceram (Gew %)	Tetric[®] Flow (Gew %)	Durchschnittliche Partikelgröße (µm)	Funktion
Keramische Füllstoffe				
Bariumglas	50.6	43.5	1.0	Abrasionsverhalten Röntgenopazität Optische Eigenschaften
Ba-Al- Fluorsilikatglas	5.0	4.4	1.0	Abrasionsverhalten Röntgenopazität Fluoridfreisetzung
Mischoxid	5.0	4.4	0.2	Transparenz
Weitere Füllstoffe				
Hochdisperses Siliziumdioxid	1.0	0.9	0.04	Konsistenz
Ytterbiumtrifluorid	17.0	14.6	0.24	Röntgenopazität Fluoridfreisetzung

Tabelle 4 : Produkteigenschaften von Tetric[®] Ceram und Tetric[®] Flow nach der Produktinformation von Ivoclar Vivadent (ISO 4049)

Produkteigenschaften	Tetric[®] Ceram	Tetric[®] Flow
Biegefestigkeit	130 N/mm ²	110 N/mm ²
Biegemodul	9400 N/mm ²	5300 N/mm ²
Wasseraufnahme	21.5 µg/mm ³	24.3 µg/mm ³
Wasserlöslichkeit	1.0 µg/mm ³	1.0 µg/mm ³
Röntgenopazität	400 % Al	280 % Al
Durchhärtungstiefe	> 4.5 mm	> 5 mm
Druckfestigkeit	230 N/mm ²	230 N/mm ²
Transparenz (je nach Opazität)	9 – 16 %	15 – 18 %
Dichte	2.25 g/cm ³	1.96 g/cm ³
Vickershärte HV 0.5/30	600 N/mm ²	400 N/mm ²

4.3. Herstellung der Klasse-II-Kompositfüllungen

4.3.1. Kavitätenpräparation

Die Kavitäten wurden im Rahmen des Studentenkurses von Studenten entsprechend der Adhäsivrichtlinien präpariert und durch den anwesenden Kursassistenten testiert. In die Studie wurden nur Füllungen aufgenommen, die keine Unterfüllung aufwiesen.

4.3.2. Applikation des Dentinadhäsivs

Anwendung des Dentinadhäsivs Prompt L-Pop[®]

Nach Anlegen von Kofferdam und Kavitätenreinigung wird überschüssiges Wasser vorsichtig mit Druckluft entfernt. Es ist darauf zu achten, dass der Zahn nicht übertrocknet wird.

Eine ausreichende Feuchtigkeit ist erzielt, wenn die Kavität leicht feucht schimmert. Das Adhäsiv Prompt L-Pop[®] wird aktiviert, indem man den Inhalt des äußeren Reservoirs in das mittlere - mit dem Einmalapplikator verbundene - Reservoir drückt, wodurch der Applikator benetzt wird.

Mit diesem aus der Reservoirhülle gelösten Einmalapplikator wird Prompt L-Pop[®] in ausreichender Menge auf die gesamte Kavitätenoberfläche aufgetragen und 15 Sekunden intensiv in Schmelz und Dentin einmassiert. Während der gesamten Dauer muss die Kavität vom Adhäsiv gut durchtränkt sein. Sollte während des Einmassierens die Kavität trocknen, so muss erneut Adhäsiv appliziert werden. Dieses sollte hierbei auch leicht über die Kavitätenbegrenzungen hinaus auf den okklusalen Schmelz aufgetragen werden, um weiße Füllungsänder durch ungenügende Konditionierung zu vermeiden.

Das aktive Einmassieren dient dazu, ständig frisches Adhäsiv an die Kavitätenoberfläche heranzuführen, um die Demineralisationswirkung aufrecht zu erhalten. Anschließend wird das Adhäsiv mit Druckluft vorsichtig zu einem gleichmäßigen Film verblasen. Die gesamte Kavität muss nun von einer glänzenden Adhäsivschicht überzogen sein. Finden sich noch matte Stellen ohne Adhäsivüberzug, so muss dort nochmals lokal Prompt L-Pop[®] aufgetragen werden.

Prompt L-Pop[®] wurde nicht separat lichtgehärtet. Die Polymerisation erfolgte zusammen mit dem ersten Komposit- Inkrement.

Anwendung des Dentinadhäsivs Syntac[®] Classic

Nach dem Reinigen der Kavität erfolgt das Anlegen des Kofferdams

Dann werden die Kavitäten im Sinne des „Total- etch“-Konzepts für 30 Sekunden am Schmelz und für max. 15 Sekunden am Dentin mit 36-prozentigem Phosphorsäuregel angeätzt. Dabei wird auch minimal über den Präparationsrand hinaus Ätzel auf die angrenzende Zahnhartsubstanz aufgetragen. Anschließend wird die Kavität mit dem Druckluft-/Wasserspray gründlich abgespült und mit dem Luftbläser vorsichtig getrocknet. Ein übermäßiges Austrocknen von freiliegendem Dentin sollte unterbleiben. Da auch der gesamte Dentinanteil der Kavitäten angeätzt wird, kommt es zu einer vollständigen Auflösung und Entfernung des „smear layers“. Anschließend wird der Syntac[®] Primer mittels eines Pinsels auf die Kavität aufgetragen. Die Kontaktzeit des Syntac[®] Primers mit dem Dentin sollte mindestens 15 Sekunden betragen. Der Syntac[®] Primer muss gut abgeblasen und getrocknet werden. Anschließend wird das Syntac[®] Adhäsiv aufgetragen, für 10 Sekunden belassen und ebenfalls mittels Luftbläser getrocknet. Als letzter Schritt wird das Heliobond appliziert, dünn ausgeblasen und 20 Sekunden polymerisiert. Im Anschluss erfolgt das Füllen der Kavität mit Komposit.

4.3.3. Applikation und Aushärtung des Kompositmaterials

Nachdem die Vorbehandlung mit dem jeweiligen Dentinhaftvermittler abgeschlossen ist, werden alle Kavitätenböden mit dem Feinstpartikel-Hybridkomposit Tetric® Flow in einer Schichtstärke von etwa 0,5 mm bedeckt. Diese Schicht wird mittels einer Polymerisationslampe (Translux® CL von Kulzer) für 40 Sekunden ausgehärtet. Anschließend wird das in Tips vordosierte Tetric® Ceram in mehreren Inkrementen in die Kavität eingebracht und mit einem Heidemannspatel und Stopfinstrumenten sorgfältig adaptiert. Jedes Kompositinkrement wird für 40 Sekunden einzeln polymerisiert.

4.3.4. Ausarbeitung und Politur

Zunächst erfolgt die grobe Ausarbeitung der Füllungen mittels granat- und flammenförmigen Finierdiamanten unter maximaler Wasserkühlung.

Die Okklusalfächen werden neben Hartmetallfinierern auch mit Arkansassteinchen bearbeitet. Die anschließende Oberflächenglättung erfolgt durch Silikonpolierer.

Okklusion und Artikulation werden nach Entfernung des Kofferdams eingeschliffen. Um fugenlose Übergänge zwischen Zahn und Füllung sicherzustellen, erfolgt eine sorgfältige optische und taktile Kontrolle.

Etwasige Füllungsrückstände werden entfernt. Die Politur erfolgt durch flexible, mit Aluminiumoxid beschichtete Sof-Lex® (3M ESPE) Scheibchen in absteigender Körnung unter Wasserkühlung. Mit Enhance-Polierern und der entsprechenden Polierpaste wird die Endpolitur vorgenommen.

Zum Schluss wird der versorgte Zahn fluoridiert.

Die fertigen Füllungen werden vom Kursassistenten testiert.

4.4 Dokumentation

4.4.1. Klinische Bewertung nach USPHS-Kriterien

Als einer der ersten Ansätze für eine systematische, klinische Beurteilung von Füllungswerkstoffen wird allgemein die Entwicklung des United- States- Public- Health- Service Bewertungssystems (USPHS- Kriterien) durch Ryge und Snyder (1973) genannt.

Die USPHS- Kriterien wurden ursprünglich für Zementfüllungen entwickelt. Zur Beurteilung aktueller Restaurationsmaterialien erfolgte mehrfach eine Modifikation (McComb, 1985). So soll die Handhabung durch Angabe metrischer Daten verbessert werden (Kunzelmann, 1996).

Die aktuellste Version stammt von Pelka et al. (1994).

Eine schnelle, durch Zahlenkombinationen verschlüsselte und im Hinblick auf die statistische Auswertung rationelle Datenerfassung ist mit Hilfe eines Nachuntersuchungsbogens möglich. Jedes der untersuchten 12 Charakteristika wird der Reihe nach beurteilt.

Hierbei steht der Bewertungsgrad „alpha“ für das Vorliegen eines exzellenten Zustandes, der Bewertungsgrad „beta“ bedeutet das Vorliegen eines klinisch akzeptablen Zustandes. Hingegen steht „charlie“ für eine Erneuerung der Restauration zur Prävention und „delta“ bedeutet eine sofortige Notwendigkeit zur Erneuerung der Restauration. Somit haben diese Kriterien eine direkte klinische Relevanz bei der Bewertung der Restaurationen.

Die Kriterien und Untersuchungsmethoden sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Kriterien und Untersuchungsmethoden

Kriterium	Untersuchungsmethoden
Oberflächentextur	visuell und taktil
Farbanpassung	visuell
Anatomische Form der Oberfläche	visuell und taktil
Anatomische Form im Übergangsbereich Füllung/ Zahn	visuell und taktil
Marginale Integrität	visuell und taktil
Randverfärbung	visuell
Integrität des Zahnes	visuell und taktil
Integrität der Füllung	visuell und taktil
Okklusion	visuell (Artikulationsfolie)
Sensibilität (Vitalität)	Kältetest (CO ₂ – Schnee)
Postoperative Beschwerden	Befragen des Patienten
Zufriedenheit des Patienten	Befragen des Patienten

Der Bewertungsschlüssel für die einzelnen Kriterien ist im Folgenden wiedergegeben (Tabellen 6 bis 19).

Oberflächentextur

Die Oberflächentextur gibt Auskunft über die oberflächliche Beschaffenheit der Füllung. Diese sollte im Idealfall glatt und hochglanzpoliert sein.

Tabelle 6: Bewertungsschlüssel der Oberflächentextur

Alpha	Die Oberfläche der Restauration ist glatt und hochglanzpoliert.
Bravo	Die Oberfläche ist leicht rau und kann poliert, bzw. rekonturiert werden.
Charlie	Die Oberfläche ist sehr rau, weist Furchen auf und kann nicht rekonturiert werden.
Delta	Die Oberfläche ist frakturiert oder splittert ab.

Farbanpassung

Die Farbanpassung der Restauration wurde unter indirekter Beleuchtung (Tageslicht) begutachtet.

Tabelle 7: Bewertungsschlüssel für die Farbanpassung

Alpha	Die Farbanpassung der Restauration ist exzellent. Es besteht kein Unterschied in Farbton, Helligkeit und Transparenz zwischen Restauration und angrenzender Zahnstruktur.
Bravo	Die Farbanpassung der Restauration ist akzeptabel. Es bestehen leichte Farbdifferenzen bzw. Transluzenzunterschiede zwischen Restauration und angrenzender Zahnstruktur. Die Restauration ist etwas zu hell, dunkel, transparent oder opak.
Charlie	Die Farbanpassung der Restauration ist mangelhaft. Es bestehen starke Farbdifferenzen bzw. Transluzenzunterschiede zwischen Restauration und angrenzender Zahnstruktur. Die Restauration ist viel zu hell, dunkel, transparent oder opak.
Delta	Die Farbgebung ist grob unpassend. (Eine sofortige Erneuerung aufgrund einer unpassenden Farbgebung ist aber nicht erforderlich).

Anatomische Form der Oberfläche

Dieses Charakteristikum beinhaltet die Konturen der Gesamtrestauration.

Tabelle 8: Bewertungsschlüssel der anatomischen Form der Oberfläche

Alpha	Die Restauration setzt die existierende anatomische Form des Restzahnes fort. Die Höcker, Abhänge, Fissuren, Randleisten und Approximalflächen werden adäquat rekonstruiert.
Bravo	Die Restauration ist unterkonturiert oder überkonturiert, jedoch klinisch akzeptabel.
Charlie	Die Restauration ist stark unterkonturiert.
Delta	Eine sofortige Erneuerung der Restauration aufgrund der anatomischen Form ist erforderlich.

Anatomische Form am Übergang Restauration / Zahn

Die Restauration wird in ihrem gesamten Randbereich auf füllungsbedingte negative und / oder positive Stufen untersucht.

Tabelle 9: Bewertungsstufen der anatomischen Form am Übergang Restauration / Zahn

Alpha	Der Übergang von der Füllung zum Zahn ist im gesamten Randbereich mit der spitzen Sonde nicht zu spüren.
Bravo	Beim Übergang von der Füllung zum Zahn ist eine klinisch voll akzeptable leicht negative und / oder positive Stufe tastbar.
Charlie	Am Übergang von der Füllung zum Zahn ist eine stark negative und / oder stark positive Stufe tastbar.
Delta	Eine sofortige Erneuerung der Restauration aufgrund einer negativen und / oder positiven Stufe am Übergang ist erforderlich.

Marginale Integrität

Tabelle 10: Bewertungsschlüssel der marginalen Integrität

Alpha	Es ist kein Randspalt sondierbar. Die Füllung hebt sich weder in Form noch in Farbe von der Restauration und dem Restzahn ab und setzt die Konturen am Übergang Zahn / Füllung harmonisch fort.
Bravo	Die marginale Integrität ist klinisch akzeptabel. Es besteht ein Füllungsüberschuss oder ein Füllungsdefizit, die als spürbarer Spalt mit der spitzen Sonde an der Grenzfläche Füllung / Zahn sondierbar sind.
Charlie	Tiefe Randspalten oder starke Füllungsdefizite, die sich bis zum Dentin oder zur Unterfüllung ausdehnen, erfordern eine Erneuerung der Restauration aus Präventionsgründen.
Delta	Besteht eine Lockerung der Restauration oder erstreckt sich eine Sekundärkaries bis ins Dentin, ist eine umgehende Erneuerung der Versorgung erforderlich.

Randverfärbung

Tabelle 11: Bewertungsschlüssel für die Randverfärbung

Alpha	Es ist keine Randverfärbung zu erkennen.
Bravo	Es ist eine oberflächliche Verfärbung im Bereich des Randes zu erkennen.
Charlie	Es handelt sich um starke Verfärbungen, die sich in Richtung Pulpa ausbreiten.
Delta	Die Restauration muss sofort erneuert werden. Gefahr der Entstehung von Sekundärkaries.

Integrität des Zahnes

Der Zahn wird sorgfältig auf Absplitterungen, Risse und Frakturen untersucht.

Tabelle 12: Bewertungsschlüssel für die Integrität des Zahnes

Alpha	Die vollständige Integrität des Zahnes ist gegeben.
Bravo	Eine leichte, rekonturierbare Absplitterung oder ein Haarriss liegen vor.
Charlie	Eine starke, nicht rekonturierbare Absplitterung bzw. eine Absplitterung von Hartsubstanz mit freiliegendem Dentin und / oder freiliegender Unterfüllung ist feststellbar. Eindringen der Sonde in einen Riss ist möglich.
Delta	Es besteht eine Höcker- oder Zahnfraktur. Eine sofortige Erneuerung der Füllung / Entfernung des Zahnes ist indiziert.

Integrität der Füllung

Die Restauration wird auf Absplitterungen, Risse und Frakturen untersucht.

Tabelle 13: Bewertungsschlüssel für die Integrität der Füllung

Alpha	Die Restauration weist keine Absplitterungen, Risse und Frakturen auf.
Bravo	Eine leichte, ohne eingreifende Veränderung der anatomischen Form rekonturierbare Absplitterung der Restauration bzw. eine nicht durchgehende Rissbildung liegt vor.
Charlie	Es ist eine nicht rekonturierbare Absplitterung der Restauration, gegebenenfalls mit Freilegung des Dentins und / oder der Unterfüllung zu verzeichnen, oder es liegt eine durchgehende Rissbildung vor.
Delta	Die Restauration ist frakturiert mit teilweiser oder vollständiger Lockerung bzw. es ist ein teilweiser oder vollständiger Verlust der Füllung aufgetreten.

Okklusion / Artikulation

Es wurde einseitig beschichtete Okklusionsfolie (Hanel[®], 18µm) benutzt.

Tabelle 14: Bewertungsschlüssel für Okklusion und Artikulation

Alpha	Die vorhandenen Okklusionskontakte sind punktförmig und stabilisieren den Zahn in seiner Lage.
Bravo	Die vorhandene Kontaktsituation ist klinisch akzeptabel. Falls zur Vermeidung möglicher künftiger Schäden eine Rekonturierung nötig wird, erfolgen entsprechende Einschleifkorrekturen.
Charlie	Besteht trotz möglicher Okklusionskontakte eine Infraokklusion und ist somit ein künftiger Schaden für das stomatognathe System wahrscheinlich, sollte aus Präventionsgründen die Restauration erneuert werden.
Delta	Eine Füllungsfraktur und / oder Zahnfraktur wegen falscher Okklusions- bzw. Artikulationskontakte erfordert unmittelbar eine Erneuerung.

Sensibilität

Der Sensibilitätstest erfolgte mit Hilfe von CO₂-Schnee.

Tabelle16: Bewertungsschlüssel für die Sensibilität der Zähne

Alpha	Die Sensibilität ist im Vergleich zum Ausgangsbefund unverändert.
Bravo	Die Sensibilität setzt objektivierbar leicht verfrüht / verstärkt oder leicht verzögert / abgeschwächt ein und unterscheidet sich vom Ausgangszustand.
Charlie	Die Sensibilität setzt im Vergleich zum Zustand vor dem Legen der Füllung stark verfrüht / verstärkt bzw. stark verzögert / abgeschwächt ein. Die Restauration sollte erneuert und eine Pulpabehandlung eingeleitet werden.
Delta	Die Sensibilität ist negativ bei positivem Ausgangsbefund, eine Wurzelkanalbehandlung ist sofort indiziert.

Beschwerden

Diese Bewertung erfolgte durch die Befragung der Patienten.

Tabelle 18: Bewertungsschlüssel für die geäußerten Beschwerden

Alpha	Es bestehen keinerlei Beschwerden, die Restauration ist vollständig inkorporiert. Eventuell bestehende, nicht restaurationsbedingte Beschwerden sind identisch mit der Ausgangssituation.
Bravo	Der Patient gibt leichte Schmerzen auf heiß / kalt, süß / sauer, Belastung, Entlastung oder spontan an. Die Schmerzen dauerten nur kurz an (bis etwa vier Wochen), oder konnten durch eine Einschleiftherapie behoben werden.
Charlie	Der Patient klagt über permanente Schmerzen, die ihn so beeinträchtigen, dass eine erneute Behandlung im Bereich der Füllung erfolgen muss.
Delta	Die Schmerzen sind so stark, dass die Füllung sofort entfernt werden muss.

Hinweise des Patienten / Erneuerung der Versorgung

Der Patient wurde befragt, ob und in welchem Umfang er mit der Versorgung zufrieden ist.

Tabelle 19: Bewertungsschlüssel der Patientenzufriedenheit

Alpha	Der Patient ist vollauf zufrieden, würde sich jederzeit erneut mit dem gleichen Material versorgen lassen.
Bravo	Der Patient ist zufrieden.
Charlie	Der Patient ist unzufrieden und übt Kritik wegen der Ästhetik, dem Kaufkomfort, dem Zeitaufwand oder wegen anhaltender Beschwerden.
Delta	Der Patient ist mit der Versorgung völlig unzufrieden und wünscht eine sofortige Erneuerung.

4.4.2. Replikaherstellung

Herstellung von Gipsmodellen:

Bei den Nachuntersuchungen wurden Abformungen der entsprechenden Füllungen mit Impregum[®] (3M Espe) vorgenommen und Modelle aus Superhartgips (Fuji Rock) zur Dokumentation angefertigt. Nach zweistündiger Aushärtungszeit wurde das Modell auf die entsprechende Größe zurechtgetrimmt.

Herstellung von Epoxidharz- Modellen für die Randspaltvermessung:

Die Impregum[®]-Abformungen wurden isoliert und bepudert. Im Mischungsverhältnis 3:1 (Paste : Katalysator) wurde die Abformung ausgegossen.

Die Aushärtungszeit beträgt in etwa vier Stunden, danach konnten die Epoxidharz- Modelle auf die entsprechende Größe zurechtgetrimmt werden.

Anschließend folgte eine Reinigung für fünf Minuten mit 70-prozentigem Ethanol im Ultraschallbad. Die fertigen Replikas konnten dann auf entsprechende Träger aufgeklebt werden. Dazu wurde eine graphithaltige Leitpaste verwendet.

In einer Sputteranlage (Polaron SEM Aurocoating Unit E5200, Abbildung 5) wurden die Replikas für die Bildgewinnung unter Vakuum fünf Minuten bei einer Stromstärke von 10 mA durch Goldbeschichtung leitfähig gemacht. Es wurde eine mittlere Goldschichtstärke von 20 nm erzielt.

Für die rasterelektronenmikroskopische Randspaltuntersuchung wurden aus beiden Gruppen (Syntac[®] Classic und Prompt L-Pop[®]) je 25 Restaurationen ausgewählt und vermessen.

4.5. Randspaltvermessung

4.5.1. Bildgewinnung im Rasterelektronenmikroskop (REM):

Im Rasterelektronenmikroskop wurde der Übergang von Zahn zu Kompositfüllung entsprechend der Kriterien der quantitativen Randanalyse beurteilt. Die Beurteilung der Randmorphologie erfolgte durch einen Computer segmentweise bei 200-facher Vergrößerung, wobei eine Spannung von 15 kV gewählt wurde. Für dieses Messverfahren wurde die Software Quanti Gap verwendet.

4.5.2. Quantitative REM- Analyse

Mit dem Rasterelektronenmikroskop ist ein Computer verbunden, der über eine Framegrabber- Karte verfügt (Abbildung 6). Auf dem Monitor des REM wird ein Einzelbild digitalisiert und dort messtechnisch weiter verarbeitet.

Als Serie von Einzelbildern wird der gesamte Randbereich auf den Bildschirm des Computers übertragen und über den in der Software enthaltenen Längenmodus durch den Experimentator metrisch vermessen. Somit konnten für jeden Zahn eine Vielzahl von Bildern digitalisiert werden. Vermessen wurde der Übergangsbereich zwischen Zahn und Kompositfüllung.

Um Doppelmessungen zu vermeiden, wird das dargestellte Randsegment von einem Operator mit einer Linie nachgezogen. Die Längen aller Einzelbewertungen werden dabei aufsummiert und in einer Datei gespeichert.

Den vermessenen Randabschnitten wurden vier verschiedene Qualitätsmerkmale zugeordnet und als prozentualer Anteil der gemessenen Gesamtlänge registriert.

Randqualität A: perfekter Rand

Der perfekte Rand ist gekennzeichnet durch eine homogene Oberflächenbeschaffenheit und einem Fehlen jeglicher Auflösungserscheinungen im Spalt zwischen Kompositfüllung und Zahn.

Randqualität B: Randspalt

Ein Randspalt liegt vor, wenn eine Kontinuitätsunterbrechung zwischen Füllungskomposit und den Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin sichtbar ist.

Randqualität C: Quellung

Diese Klassifikation ist gekennzeichnet durch eine deutliche Überschussbildung im Bereich der Fuge zwischen Zahn und Kompositfüllung. Es kommt zu einem Auffüllen über den Zahn und Füllungsrand hinaus.

Randqualität D: Artefakt

Konnte keine der oben beschriebenen Randqualitäten dem Randabschnitt zugeordnet werden, so wurde dieser Abschnitt als nicht beurteilbar bezeichnet.

Der genaue Randverlauf konnte nicht beurteilt werden, wenn sich Perlen oder Schlieren im Randbereich befanden.

Statistische Methoden

Die statistische Analyse der klinischen Untersuchung erfolgte mittels Kreuztabellen und den Mann-Whitney-U-Test. Die Ergebnisse der Randanalyse im REM wurden ebenfalls mit dem Mann-Whitney-U-Test analysiert. Die Berechnung mit dem Statistikprogramm SPSS liefert die zweiseitige Irrtumswahrscheinlichkeit P. Ein signifikanter Unterschied liegt vor, wenn diese kleiner als das für den Test angenommene Signifikanzniveau von 5 % ist.

5. Ergebnisse

5.1. Erhobene klinische Daten

Ausdehnung der Füllungen

84,9 % der Füllungen sind 2- oder 3-flächig. Der Anteil der mehr als 3-flächigen Füllungen beträgt bei Prompt L-Pop[®] 12,8 %, bei Syntac[®] Classic 17,4 %.

Tabelle 20: Ausdehnung der Füllungen in Flächen nach 24 Monaten Liegedauer

Dentinadhäsiv	Ausdehnung der Füllungsfläche						
	2-flächig		3-flächig		4-flächig		5-flächig
	Prämolar	Molar	Prämolar	Molar	Prämolar	Molar	Molar
	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl	Anzahl
Prompt L-Pop	14	10	14	3	3	3	
Syntac Classic	5	14	9	10	1	5	2

Die Mehrzahl der Füllungen sind 2- oder 3-flächig.

Oberflächentextur der Füllungen

Die Qualität der Oberflächentextur erhielt auch nach 24 Monaten nur die Kriterien alpha oder bravo. Insgesamt wurden die mit Syntac[®] Classic gelegten Füllungen als etwas besser bewertet.

Tabelle 21: Oberflächenqualität der Füllungen nach 24 Monaten Liegedauer

		Oberflächenqualität		Gesamt
		alpha	bravo	
Prompt L-Pop	Anzahl	35	12	47
	%	74,5 %	25,5 %	100,0%
Syntac Classic	Anzahl	38	8	46
	%	82,6 %	17,4 %	100,0 %

Farbanpassung der Füllungen

Die Farbanpassung der Füllungen erhielt nur die Kriterien alpha und bravo.

Die Füllungen, die mit Syntac[®] Classic als Dentinadhäsiv gelegt wurden, schnitten etwas besser ab.

Tabelle 22: Farbanpassung der Füllungen nach 24 Monaten Liegedauer

		Farbanpassung		Gesamt
		alpha	bravo	
Prompt L-Pop	Anzahl	33	14	47
	%	70,2 %	29,8 %	100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	39	7	46
	%	84,4 %	15,2 %	100,0 %

Anatomische Kontur der Füllungen

Die Formgebung der Füllung bezüglich ihrer Kontur zeigt nach 24 Monaten nur Bewertungen mit den Kriterien alpha und bravo. Festzustellen ist, dass die Bewertung bei Syntac[®] Classic positiver ausfällt.

Tabelle 23: Anatomische Form (Konturierung) der Füllungen nach 24 Monaten Liegedauer

		Anatomische Form - Kontur		Gesamt
		alpha	bravo	
Prompt L-Pop	Anzahl	20	27	47
	%	42,6 %	57,4 %	100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	22	24	46
	%	47,8 %	52,2 %	100,0 %

Anatomische Form – Übergang Füllung zu Zahn

Bei der Bewertung der anatomischen Form bezüglich des Übergangs der Füllung zum Zahn wurden ebenfalls nur die Kriterien alpha und bravo vergeben.

Tabelle 24: Übergang der Füllung zum Zahn nach 24 Monaten Liegedauer

		Anatomische Form - Übergang		Gesamt
		alpha	bravo	
Prompt L-Pop	Anzahl	33	14	47
	%	70,2 %	29,8 %	100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	29	17	46
	%	63,0 %	37,0 %	100,0 %

Marginale Integrität

Hinsichtlich der marginalen Integrität zeigten sich nach einer Liegedauer von 24 Monaten größtenteils noch Bewertungen mit den Kriterien alpha und bravo.

Bei Prompt L-Pop® kam es bei einer Füllung zur Bewertung delta. Die Füllung musste erneuert werden.

Tabelle 25: Marginale Integrität der Füllungen nach 24 Monaten Liegedauer

		Marginale Integrität			Gesamt
		alpha	bravo	delta	
Prompt L-Pop	Anzahl	32	14	1	47
	%	68,1 %	29,8 %	2,1 %	100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	33	13		46
	%	71,7 %	28,3 %		100,0 %

Randspaltverfärbung

Nach 24 Monaten wiesen die mit Syntac[®] Classic gelegte Füllungen weniger häufig deutliche Randspaltverfärbungen auf als mit Prompt L-Pop[®]. Bei letzterem wurden auch jeweils ein Mal die Kriterien charlie und delta vergeben.

Tabelle 26: Randspaltverfärbung der Füllungen nach 24 Monaten Liegedauer

		Randspaltverfärbung				Gesamt
		alpha	bravo	charlie	delta	
Prompt L-Pop	Anzahl	25	20	1	1	47
	%	53,2 %	42,6 %	2,1 %	2,1 %	100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	29	17			46
	%	63,0 %	37,0 %			100,0 %

Integrität des Zahnes

Hinsichtlich der Integrität des Zahnes zeigte sich, dass bei Verwendung beider Adhäsive ein Großteil der Zähne mit dem Kriterium alpha bewertet wurden, d.h. vollständige Integrität des Restzahnes. Bei Prompt- L-Pop[®] gab es ein Mal die Bewertung charlie und ein Mal die Bewertung delta.

Tabelle 27: Integrität des Zahnes nach 24 Monaten

		Integrität Zahn				Gesamt
		alpha	bravo	charlie	delta	
Prompt L-Pop	Anzahl	43	2	1	1	47
	%	91,5 %	4,3 %	2,1 %	2,1 %	100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	43	3			46
	%	93,5 %	6,5 %			100,0 %

Integrität Füllung

5 Füllungen erhielten nach einer Liegezeit von 24 Monaten die Bewertungen charlie oder delta. Die Bewertung bezüglich der Integrität der mit Prompt L-Pop[®] gelegten Füllungen fällt deutlich besser aus, als die Bewertung der mit Syntac[®] Classic gelegten Füllungen.

Tabelle 28: Integrität der Füllungen nach 24 Monaten Liegedauer

		Integrität Füllung				Gesamt
		alpha	bravo	charlie	delta	
Prompt L-Pop	Anzahl	39	5	3		47
	%	83,0 %	10,6 %	6,4 %		100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	35	9	1	1	46
	%	76,1 %	19,6 %	2,2 %	2,2 %	100,0 %

Okklusion und Artikulation

Die Bewertung von Okklusion und Artikulation veränderte sich im Untersuchungszeitraum kaum. Alle Füllungen bis auf eine erhielten das Bewertungskriterium alpha.

Tabelle 29: Okklusion/Artikulation der Füllungen nach 24 Monaten Liegedauer

		Okklusion / Artikulation		Gesamt
		alpha	bravo	
Prompt L-Pop	Anzahl	46	1	47
	%	97,6 %	2,1 %	100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	46		46
	%	100,0 %		100,0 %

Sensibilität der Zähne

Die Bewertung der Sensibilität als Anhalt für die Vitalität ergab eine Bewertung alpha für alle untersuchten Zähne.

Tabelle 30: Sensibilität bei der Nachuntersuchung der Füllungen nach einer Liegedauer von 24 Monaten

		Sensibilität bei Nachuntersuchung		Gesamt
		alpha		
Prompt L-Pop	Anzahl	47		47
	%	100,0 %		100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	46		46
	%	100,0 %		100,0 %

Beschwerden der Patienten

Der Anteil der Patienten ohne jegliche Beschwerden liegt mit 96,8 % nach 24 Monaten relativ hoch.

Tabelle 31: Beschwerden der Patienten nach einer Liegedauer der Füllungen von 24 Monaten

		Beschwerden der Patienten				Gesamt
		alpha	bravo	charlie	delta	
Prompt L-Pop	Anzahl	45	1	1		47
	%	95,7 %	2,1 %	2,1 %		100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	45			1	46
	%	97,8 %			2,2 %	100,0 %

Erneuerungsbedürftigkeit der Füllungen

Nach einem Zeitraum von 24 Monaten waren 11 Füllungen zu erneuern, das entspricht einem Prozentsatz von 11,8 %. 7 Füllungen, die mit Prompt L-Pop[®] gelegt wurden, waren insuffizient, bei Syntac[®] Classic waren es 4.

Tabelle 32: Erneuerungsbedürftigkeit der Füllungen nach einer Liegedauer von von 24 Monaten

		Füllung zu erneuern ?		Gesamt
		nein	ja	
Prompt L-Pop	Anzahl	40	7	47
	%	85,1 %	14,9 %	100,0 %
Syntac Classic	Anzahl	42	4	46
	%	91,3 %	8,7 %	100,0 %

5.2. Statistische Auswertung der klinischen Daten

Prompt L-Pop[®] und Syntac[®] Classic in Relation zu klinischen Parametern

Nach 24 Monaten ist kein signifikanter Unterschied bei den gelegten Füllungen für die klinisch erhobenen Parameter zwischen den verwendeten Dentinadhäsiven Prompt L-Pop[®] und Syntac[®] Classic nachweisbar.

Tabelle 33: Statistik der 24- Monatsdaten: Gesamtübersicht

	Oberfläche	Farb- anpassung	Anatomische Form Konturierung	Anatomische Form Übergang	Marginale Integrität	Randspalt- verfärbung
Mann- Whitney-U- Test (p-Wert)	0,342	0,095	0,611	0,466	0,657	0,270

	Integrität Zahn	Integrität Füllung	Okklusion / Artikulation	Vitalität	Beschwerden	Erneuerung der Füllung
Mann- Whitney-U- Test (p-Wert)	0,618	0,308	0,323	1,000	0,589	0,344

Prämolar versus Molar für Prompt L-Pop®

Bei der Untersuchung der erhobenen Parameter hinsichtlich der Art des gefüllten Zahnes (Prämolar oder Molar) ergeben sich nach 24 Monaten keine signifikanten Unterschiede für das Dentinadhäsiv Prompt L-Pop®.

Tabelle 34: Statistik der 24- Monatsdaten: Prämolar versus Molar für Prompt L-Pop®

	Oberfläche	Farb- anpassung	Anatomische Form Konturierung	Anatomische Form Übergang	Marginale Integrität	Randspalt- verfärbung
Mann- Whitney-U Test (p-Wert)	0,953	0,876	0,906	0,876	0,571	0,711

	Integrität Zahn	Integrität Füllung	Okklusion / Artikulation	Vitalität	Beschwerden	Erneuerung der Füllung
Mann- Whitney-U Test (p-Wert)	0,659	0,945	0,164	1,000	0,304	0,230

Prämolar versus Molar für Syntac® Classic

Bei Syntac® Classic ergibt sich bei dem Vergleich von Prämolar zu Molar eine signifikant ($p = 0,032$) bessere Bewertung der Füllungsoberfläche bei Prämolaren.

Tabelle 35: Statistik der 24- Monatsdaten: Prämolar versus Molar für Syntac® Classic

	Oberfläche	Farb- anpassung	Anatomische Form Konturierung	Anatomische Form Übergang	Marginale Integrität	Randspalt- verfärbung
Mann- Whitney-U Test (p-Wert)	0,032	0,267	0,607	0,101	0,122	0,101

	Integrität Zahn	Integrität Füllung	Okklusion / Artikulation	Vitalität	Beschwerden	Erneuerung der Füllung
Mann- Whitney-U Test (p-Wert)	0,218	0,473	1,000	1,000	0,487	0,737

Größe der gelegten Füllungen für Prompt L-Pop®

2- flächige Füllungen wurden als klein bezeichnet, große Füllungen sind 3- bis 5- flächig. Für Prompt L-Pop® zeigte sich nach einer Liegezeit von 24 Monaten eine signifikant bessere Bewertung ($p = 0,023$) bezüglich der Integrität bei kleinen Füllungen als bei großen.

Tabelle 37: Statistik der 24- Monatsdaten: kleine Füllungen (2- flächig) versus große Füllungen (3- bis 5- flächig) für Prompt L-Pop®

	Oberfläche	Farb- anpassung	Anatomische Form Konturierung	Anatomische Form Übergang	Marginale Integrität	Randspalt- verfärbung
Mann- Whitney-U Test (p-Wert)	0,159	0,591	0,646	0,175	0,271	0,506

	Integrität Zahn	Integrität Füllung	Okklusion / Artikulation	Vitalität	Beschwerden	Erneuerung der Füllung
Mann- Whitney-U Test (p-Wert)	0,312	0,023	0,328	1,000	1,000	0,629

Größe der gelegten Füllungen für Syntac® Classic

Bei den mit Syntac® Classic gelegten Füllungen ist festzustellen, dass kleine Füllungen (2- flächig) in Bezug auf den Übergang zwischen Füllung und Zahn, d.h. bezüglich der anatomische Form, eine signifikant ($p = 0,014$) bessere Beurteilung aufweisen.

Tabelle 38: Statistik der 24- Monatsdaten: kleine Füllungen (2- flächig) versus große Füllungen (3- bis 5- flächig) für Syntac® Classic

	Oberfläche	Farb- anpassung	Anatomische Form Konturierung	Anatomische Form Übergang	Marginale Integrität	Randspalt- verfärbung
Mann- Whitney-U Test (p-Wert)	0,587	0,462	0,257	0,014	0,368	0,215

	Integrität Zahn	Integrität Füllung	Okklusion / Artikulation	Vitalität	Beschwerden	Erneuerung der Füllung
Mann- Whitney-U Test (p-Wert)	0,774	0,504	1,000	1,000	0,233	0,715

5.3. Auswertung der rasterelektronenmikroskopischen Randspaltanalyse

Ergebnisse für Prompt L-Pop[®] und Syntac[®] Classic nach 6 Monaten

Nach 6 Monaten Liegezeit wies ein Großteil der gelegten Füllungen einen perfekten Rand auf. Es waren keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Adhäsiven festzustellen.

Tabelle 39: Randqualität der Füllungen nach 6 Monaten

		Randqualität				Gesamt
		A	B	C	D	
Prompt L-Pop	Anzahl %	93,7 %	4,7 %	0,1 %	1,5 %	100 %
Syntac Classic	Anzahl %	93,8 %	4,7 %	0,0 %	1,5 %	100 %

Ergebnisse für Syntac[®] Classic nach 6 Monaten

Vergleicht man kleine Füllungen (2- flächig) mit großen Füllungen (3- bis 5- flächig) ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Betrachtet man Prämolaren im Vergleich zu Molaren für Syntac[®] Classic konnten auch hier keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Ergebnisse für Prompt L-Pop[®] nach 6 Monaten

Auch für das Dentinadhäsiv Prompt L-Pop[®] konnten beim Vergleich zwischen kleinen (2- flächig) und großen (3- bis 5- flächig) Füllungen, sowie beim Vergleich Prämolare versus Molar keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

Ergebnisse für Prompt L-Pop[®] und Syntac[®] Classic nach 24 Monaten

Nach einem Zeitraum von 24 Monaten zeigte sich ein deutlicher Rückgang an perfekten Rändern. Nur mehr ca. 78 % der untersuchten Restaurationen in beiden Gruppen wiesen einen perfekten Rand auf. Es waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Adhäsiven festzustellen.

Tabelle 40: Randqualität der Füllungen nach 24 Monaten

		Randqualität				Gesamt
		A	B	C	D	
Prompt L-Pop	Anzahl %	78,1 %	21 %	0,1 %	0,8 %	100 %
Syntac Classic	Anzahl %	78,8 %	18,4 %	0,3 %	2,5 %	100 %

Ergebnisse für Syntac[®] Classic nach 24 Monaten

Beim Vergleich zwischen kleinen (2- flächig) und großen (3- bis 5- flächig) Füllungen, sowie zwischen Prämolaren und Molaren ergaben sich für Syntac[®] Classic keine signifikanten Unterschiede.

Ergebnisse für Prompt L-Pop[®] nach 24 Monaten

Auch bei Syntac[®] Classic ergaben sich für die Vergleiche zwischen kleinen (2- flächig) und großen (3- bis 5- flächig) Füllungen, sowie zwischen Prämolaren und Molaren keine signifikanten Unterschiede.

6. Diskussion

6.1. Material und Methode

Ziel dieser Untersuchung war es, herauszufinden, ob bezüglich der USPHS-Kriterien signifikante Unterschiede bei der Verwendung zweier Dentinadhäsive verschiedener Generationen bestehen. Ausgewählt wurde ein Dentinadhäsiv der 6. Generation, Prompt L-Pop[®], sowie als Vergleich ein Mehrschritt- Adhäsiv der 4. Generation: Syntac[®] Classic. Um bei der Beurteilung der Adhäsive Überlagerungen durch unterschiedliche Polymerisationsschrumpfung, thermische Expansions- koeffizienten und Elastizitätsmoduli des Kompositmaterials auszuschließen, wurde immer das Komposit Tetric[®] Ceram verwendet.

Bei der Studie handelt es sich um eine prospektiv geplante, randomisierte, klinisch kontrollierte Studie. Dieser Typ der Untersuchung garantiert die höchste Qualität und ermöglicht gesicherte Aussagen zu den Fragestellungen. Durch vorgeschriebene Behandlungsabläufe und Flow-Charts für die verwendeten Materialien wurde eine möglichst hohe Standardisierung der Vorgehensweise gewährleistet, wobei die unter In-vivo-Bedingungen erwartungsgemäßen Einschränkungen und Individualitäten berücksichtigt werden müssen.

Alle Patienten dieser Studie wurden von der Verfasserin dieser Arbeit nachuntersucht. So sollten Fehler, die in der uneinheitlichen Bewertung durch unterschiedliche Behandler auftreten, vermieden werden.

Es fand eine enge Zusammenarbeit mit Frau Dr. Petra Neuerer, der Betreuerin dieser Arbeit, statt, innerhalb derer die Bewertungsskalen sorgfältig abgestimmt wurden. So gelang eine relativ einheitliche Beurteilung der Füllungen.

Die Bewertung von Farbe, Form sowie der Qualität von Übergängen ist jedoch naturgemäß subjektiv, so dass systematische, wie auch zufällige Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden konnten.

Um die Kriterien weitest möglichst zu objektivieren, wurden Photos der jeweiligen Füllungen angefertigt, sowie Abformungen der betreffenden Zähne vorgenommen, mit Hilfe derer Modelle aus Superhartgips und Epoxidharz hergestellt wurden. Die letztendliche Bewertung erfolgte anhand des klinischen Eindrucks unter Zuhilfenahme dieser Objektivierungsmittel.

Die Freiwilligkeit der Patienten an der Studie teilzunehmen, sowie das Nichterscheinen beim Recall führten dazu, dass sechs Füllungen nicht nachuntersucht werden konnten. Ein Patient war verstorben, ein weiterer unbekannt verzogen.

Auch annähernd vergleichbare Studien arbeiten mit ähnlich großen oder sogar kleineren Gruppen (Fülleman et al., 1992; Krejci et al., 1994). Die somit vorselektierte Patientengruppe blieb also für eine statistische Aussage ausreichend umfangreich.

6.2. Bewertung der Ergebnisse der klinischen Untersuchung

Für die klinische Qualitätsbestimmung der plastischen Restaurationen wurde die von Ryge und Snyder (1973) entwickelte Untersuchungssystematik verwandt. Hier können bereits geringe Qualitätsveränderungen unterschieden werden. Diese Kriterien erlauben es, die durch Auge, Sonde und Spiegel maximal klinisch evaluierbare Information zu erfassen (Pelka et al., 1994). So kann unterschieden werden, ob eine Füllung klinisch akzeptabel ist oder nicht.

Bei der Durchsicht der Ergebnisse fällt auf, dass das Qualitätsmerkmal delta fünf Mal vergeben werden musste und die Beurteilung charlie bei sieben Kriterien auftrat. Die überwiegende Bewertung ergab jedoch die Qualitätsmerkmale alpha und bravo.

Hinsichtlich der erhobenen klinischen Parameter ergab sich jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden untersuchten Dentinhaftvermittlern.

Beim Vergleich Prämolare versus Molare für Prompt L-Pop[®] ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

Betrachtet man den Vergleich Prämolare versus Molare nur für Syntac[®] Classic, so zeigte sich eine signifikant ($p = 0,032$) bessere Füllungsoberfläche bei Prämolaren.

Bei der Gruppe mit dem Adhäsiv Prompt L-Pop[®] zeigte sich bei kleinen Füllungen (2-flächig) eine signifikant ($p = 0,023$) bessere Integrität der Füllung als bei große Restaurationen (3- bis 5-flächig).

Vergleicht man kleine (2-flächig) mit großen (3- bis 5-flächige) Füllungen, die mit dem Dentinadhäsiv Syntac[®] Classic gelegt wurden, zeigte sich eine signifikant ($p = 0,014$) bessere Bewertung des Übergangs zwischen Füllung und Zahn bei kleinen Füllungen.

Die signifikant besseren Ergebnisse bei kleinen Füllungen entsprechen den Empfehlungen der American Dental Association (ADA aus dem Jahr 1998): eine Anwendung von Kompositen im Seitenzahnbereich sollte nach Kavitätengröße und Kaubelastung indiziert sein. Bei großen Defekten werden Komposite nach wie vor als Kompromisslösung betrachtet (Roulet, 1997; Kunzelmann und Hickel, 2001).

Allerdings ist in der neuen Stellungnahme der DGZ/DGZMK aus dem Jahr 2005 die Größenlimitierung bei der Indikation von Kompositen im Seitenzahnbereich entfallen, so dass eine Empfehlung für Klasse-I-Läsionen sowie für Klasse-II-Läsionen einschließlich Höckerersatz besteht. Besonders hervorzuheben ist die Substanzschonung bei Kompositrestaurationen im Bereich initialer und unterminierender Läsionen. Einschränkungen stellen eine erschwerte Zugänglichkeit, beschränkte Darstellung des Arbeitsfeldes, unsichere marginale Adaptation (vor allem bei unzulänglicher Matrizenpositionierung), sowie eine fehlende Möglichkeit der Schaffung suffizienter Approximalkontakte dar.

Ebenso schränken starke Parafunktionen sowie eine unzureichende Mundhygiene, insbesondere der Approximalräume die Empfehlung ein.

Kontraindiziert sind Kompositrestaurationen bei der fehlenden Möglichkeit zur adäquater Trockenlegung, sowie bei bestehenden Allergien gegenüber Inhaltsstoffen von Kompositen bzw. Adhäsiven.

In Longitudinalstudien zeigen sich in etwa gleich gute Ergebnisse für Kompositrestaurationen im Vergleich zu Amalgam (Manhart et al., 2004).

Das bessere Abschneiden kleinerer Füllungen (2-flächig) in Bezug auf den Übergang zwischen Füllung und Zahn ($p = 0,014$) kann durch die verringerte Masse und die damit verbundene geringere Schrumpfung des Komposits bedingt sein. So zeigt es sich auch in einer Studie von Bott et al. (1997), die angibt, dass die Schrumpfung des Komposits durch das Dentinadhäsiv ausgeglichen werden muss. Dies gelingt bei kleineren Füllungen besser als bei großen.

Grundsätzlich kann der Randschluß von Kompositfüllungen unter Verwendung von Inserts (genormte, konfektionierte Glaskeramikkörper) weiter verbessert werden (Lösche, 1996).

Bezüglich der Oberflächentextur schnitten die mit Syntac[®] Classic behandelten Prämolaren signifikant ($p = 0,032$) besser ab als die Molaren. Dies kann wiederum mit der Größe der Füllung zusammenhängen, die bei Prämolaren geringer ist als bei Molaren, so dass für kleinflächigere Füllungen im Schnitt mehr Zeit für die Ausarbeitung und Politur bleibt als bei großen Füllungen. In der Gruppe von Prompt L-Pop[®] zeigte sich kein signifikanter Unterschied beim Vergleich zwischen Prämolaren und Molaren.

Eine direkte Einwirkung des Dentinadhäsivs auf die Oberflächentextur scheint also nicht begründbar.

Bei den 2-flächigen Füllungen, die mit Syntac[®] Classic gelegt wurden, fällt eine signifikant ($p = 0,014$) bessere Beurteilung des Übergangs der anatomischen Form von Füllung zu Zahn auf.

Das Fehlen dieser Signifikanz bei Prompt L-Pop[®] kann eventuell indirekt auch an der einfacheren Anwendung und der dadurch bedingten Zeitersparnis liegen. Durch den geringeren Zeitaufwand könnte bei Prompt L-Pop[®] mehr Zeit für eine sorgfältigere Ausarbeitung der Übergänge und der Oberfläche auch bei größeren Füllungen verbleiben, so dass sich hier kein signifikanter Einfluss ergibt.

Ein optimales Ergebnis brachte die Sensibilitätsprüfung ein, kein Zahn verlor seine Vitalität durch die verwendeten Dentinadhäsive.

Hinsichtlich der anderen Kriterien ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Art des Zahnes, der Füllungsgröße oder des verwendeten Adhäsivs.

Nach dem Zeitraum von 24 Monaten, der dieser Studie zugrunde lag, galten 11,8 % der Füllungen als erneuerungsbedürftig. Dieser Wert entspricht anderen klinischen Studien. Manhart et al. (2000) geben nach einem Zeitraum von drei Jahren an, dass 87 % aller in dieser Studie gelegten direkten Restaurationen als klinisch exzellent, bzw. akzeptabel galten (Manhart et al., 2000).

Die verschiedenen Applikationsformen der Dentinadhäsive (Pinsel oder Schwämmchen) können die Schmelzhaftung beeinflussen (Frankenberger und Sindel, 1997).

Ein Hinweis auf einen signifikanten Unterschied ergab sich jedoch nicht.

Da in dieser Studie für alle gelegten Füllungen Kofferdam verwendet wurde, konnte auch eine Kontamination mit Speichel, sowie eine Beeinträchtigung des Ätzmusters durch Turbinenöl, welche die Schmelzhaftung deutlich beeinträchtigen würden (Frankenberger und Sindel, 1997), weitgehend ausgeschlossen werden.

6.3. Bewertung der Ergebnisse der Randanalyse (REM)

Die quantitative Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop ist eine gängige morphologische Untersuchungsmethode zur Beurteilung von Füllungsrandqualitäten. Aufgrund der Abformgenauigkeit des Polyethers, sowie des guten Fließverhaltens des Epoxidharzes bei der Herstellung der Replikas, ist eine originalgetreue Darstellung möglich. So lassen sich genaue und reproduzierbare Messungen durchführen. Die Zuordnung der unterschiedlichen Qualitätskriterien zu den entsprechenden Randabschnitten war bei einer 200-fachen Vergrößerung gut möglich.

Jedoch liefert nur eine genau senkrechte Aufsicht auf den Rand eine maßstabgetreue Abbildung. Dies ist nur bei einem optimalen Einfallswinkel des Elektronenstrahls gegeben. So kann eine mögliche Fehlbeurteilung in Qualität als auch in Quantität eines bestimmten Randabschnittes im Vergleich zu anderen nicht vollständig ausgeschlossen werden.

Während bei In-vitro-Untersuchungen häufig der gesamte Randabschnitt einschließlich der approximalen Anteile im REM beurteilt wird, findet bei In-vivo-Untersuchungen nur eine Beurteilung der okklusalen Abschnitte statt.

Ursache hierfür ist die Unmöglichkeit bei der Abdrucknahme, die Abformmaterialbrücke im Approximalraum kontrolliert zu durchtrennen.

Wie in der Literatur beschrieben, sind auch bei geringer Probenzahl genaue Aussagen möglich (Blunck, 1989).

Die vorliegenden Ergebnisse der Randspaltmessung ergaben nach 24 Monaten bei beiden untersuchten Adhäsiven mit ca. 78% Anteil einen perfekten Rand. Beim Vergleich zwischen großen (3- bis 5-flächig) und kleinen (2-flächig) Füllungen, sowie dem Vergleich Prämolare versus Molare ergaben sich sowohl für Prompt L-Pop[®] als auch für Syntac[®] Classic keine signifikanten Unterschiede.

Schlussfolgerung: Unter den limitierenden Faktoren dieser Studie bleibt zusammenfassend festzustellen, dass beide Adhäsive (Prompt L-Pop[®] und Syntac[®] Classic) nach klinischen Gesichtspunkten für die Verwendung im Seitenzahnbereich empfohlen werden können.

Somit erzielt Prompt L-Pop[®] als Adhäsiv der 6. Generation nach 24 Monaten gleichwertige klinische Resultate wie das Mehrschritt- Adhäsiv Syntac[®] Classic. Dieses Ergebnis deckt sich auch mit anderen aktuellen Studien (Frey, 2000; Kiremitçi et al., 2004).

Entscheidender für die Qualität der Füllung sind die sorgfältige Verarbeitung des jeweiligen Produkts gemäß den Herstellerangaben, sowie die Vermeidung von Anwenderfehlern. Dies zeigt sich auch in anderen Studien (van Meerbeek et al., 1994; Frankenberger et al., 2000; Ernst et al., 2005).

7. Zusammenfassung

Der zunehmende Wunsch der Patienten nach zahnfarbenem Füllungsmaterial führte in den letzten Jahren zu großen Fortschritten auf dem Gebiet der Adhäsivtechnik. Neben Keramik- und Kompositinlays finden Kompositfüllungen als direkte Restaurationen zunehmend im Seitenzahnbereich Verwendung.

Eine wichtige Rolle hierbei spielen die hierfür notwendigen Dentinadhäsive, die eine sichere Verbindung zwischen Kompositmaterial und den Zahnhartsubstanzen gewährleisten sollen. Als problematisch stellte sich hierbei vor allem der Verbund zum Dentin dar.

Ziel dieser klinischen Studie war es, das Einschrittadhäsiv Prompt L-Pop[®] mit dem Mehrschrittssystem Syntac[®] Classic hinsichtlich klinischer Parameter zu vergleichen.

Der Zustand von 93 Füllungen (46 Syntac[®] Classic, 47 Prompt L-Pop[®]), die in den studentischen Kursen der Abteilung für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwigs-Maximilians-Universität München gelegt wurden, wurde nach 24 Monaten gemäß der USPHS-Kriterien in vivo dokumentiert.

Statistische Unterschiede wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test auf den 5 %-Niveau überprüft. Zusätzlich erfolgte die Beurteilung der Randqualität im Rasterelektronenmikroskop mit Hilfe von Abformungen und Harzmodellen.

Die Auswertung der klinischen Daten ergab beim direkten Vergleich der beiden Dentinadhäsive keine signifikanten Unterschiede bezüglich der untersuchten Kriterien nach 24 Monaten.

Vergleicht man Prämolaren und Molaren für das Adhäsiv Prompt L-Pop[®] ergaben sich nach 24 Monaten keine signifikanten Unterschiede. Bezüglich der Größe der gelegten Füllungen ergab sich eine signifikant bessere Bewertung ($p=0,023$) hinsichtlich der Integrität bei kleinen (2-flächig) als bei großen (3- bis 5-flächig) Füllungen.

Beim Vergleich zwischen Prämolaren und Molaren zeigte sich bei Syntac[®] Classic eine signifikant bessere Oberflächentextur der Prämolaren ($p=0,032$). Kleine Füllungen (2-flächig) wiesen einen signifikant besseren Übergang ($p=0,014$) zwischen Füllung und Zahn auf als große Füllungen (3- bis 5-flächig).

Die rasterelektronenmikroskopische Auswertung ergab bei beiden Adhäsiven nach 24 Monaten zu ca. 78% einen perfekten Rand. Beim Vergleich zwischen Prämolaren und Molaren ergab sich sowohl bei Syntac[®] Classic als auch bei Prompt L-Pop[®] kein signifikanter Unterschied. Auch bei kleinen Füllungen (2-flächig) im Vergleich zu großen Füllungen (3- bis 5-flächig) ergab sich kein signifikanter Unterschied.

Zusammenfassend bleibt festzustellen, dass beide Adhäsive nach klinischen Gesichtspunkten zumindest mittelfristig für die Verwendung auch im Seitenzahnbereich empfohlen werden können. Weitere Nachuntersuchungen über längere Zeiträume sind erforderlich, um auch die langfristige Performance zu beurteilen – vor allem der selbstätzenden Adhäsivsysteme. Wichtig ist die sorgfältige Verarbeitung des verwendeten Produkts gemäß den Herstellerangaben. Es bleibt Aufgabe weiterer Langzeitstudien, die sich über einen noch längeren Zeitraum erstrecken, Aufschluss darüber zu geben, ob direkte Kompositfüllungen in drei- und mehrflächigen Kavitäten den indirekten Restaurationen aus Gold oder Keramik qualitativ ebenbürtig werden können, wenn die Entwicklung der Dentinadhäsivsysteme weiter voranschreitet.

8. Literaturverzeichnis

Asmussen, E.: Chemische und physiochemische Aspekte des Dentinbondings
Phillip J 11: 143-147, 1994

Baratieri, L.N.; Ritter, A.V.: Four- year clinical evaluation of posterior resin-based composite restorations placed using the total-etch-technique
J Esthet Restor Dent 13 (1): 50-57, 2001

Blunck, U.: Vergleich zweier Kavitätenformen für die Prüfung der Wirksamkeit von Dentinhaftmitteln
Dtsch Zahnärztl Z 44: 513-516, 1989

Blunck, U.: Dentinhaftmittel und Kompomere
Quintessenz 47 19-35, 1996

Brannström, M.: Smear layer: pathological and treatment considerations
Oper Dent 9, suppl. 3: 13-29, 1984

Buonocore, M.G.: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces
J Dent Res 34 (6): 849-854, 1955

Charlton, D.G.: Dentin bonding: past and present
General Dentistry: 498-507, 1996

Christensen, G.J.: Self-etching primers are here
J Am Dent Assoc 132: 1041-3, 2001

Davidson, C.L.; de Gee, A.J.; Feilzer, A.: The competition between the composite- dentin bond strength and the polymerization contraction stress
J Dent Res 63: 1396-1399, 1984

Ernst, C.P.; Willershausen, B.: Eine aktuelle Standortbestimmung zahnärztlicher Füllungskomposite
Zahnärztl Mitt 7/2003

Ernst, C.P.; Fiedler, T.; Brandenbusch, M.; Willershausen, B.: In-vitro-Untersuchung zum Randschluss verschiedener selbstkonditionierender Adhäsive in Klasse II Kavitäten
Dtsch Zahnärztl Z 60 (4): 193-199, 2005

Finger, W.H.; Fritz, U.: Laboratory evaluation of one- component enamel / dentin bonding agents
Am J Dent 9 (5): 206-210, 1996

Folwaczny, M.; Haffner, C.: Zahnfarbene Füllungswerkstoffe – eine Alternative zu Amalgam ?
ESPE Dental Medizin GmbH, 1996

Frankenberger, J.; Sindel, J.: Beeinflussen Dentinadhäsive und ihre Applikatoren die Schmelzhaftung ?
Dtsch Zahnärztl Z 52: 795-799, 1997

Frankenberger, R.; Sindel, J.; Krämer, N.; Petschelt, A.: Die Verbindung von Adhäsivsystemen verschiedener Generationen mit Schmelz und Dentin der ersten und zweiten Dentition
Dtsch Zahnärztl Z 52: 795-799, 1997

Frankenberger, R.; Sindel, J.; Krämer, N.; Oberschachtsiek, H.; Petschelt, A.: Die Langzeitstabilität des Komposit- Dentin- Verbunds nach Total etching
Dtsch Zahnärztl Z 53 (10): 697-700, 1998

Frankenberger, R.; Krämer, N.; Petschelt, A.: Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation
Oper Dent 25 (4): 324-330, 2000

Frey, O.: Creating a reliable bond. An all-in-one system.
Am J Dent 13 (Spec No): 85D-87D, 2000

Friedl, K.-H.; Hiller, K.A.; Schmalz, G.: Placement and replacement of composit restorations in germany
Oper Dent 20: 34-38, 1995

Füllemann, J.; Krejci, I.; Lutz, F.: Kompositinlays: Klinische und rasterelektronenmikroskopische Untersuchung nach einjähriger Funktionszeit
Schweiz Monatsschr Zahnmed 102 (3): 292-298, 1992

Geurtsen, W.: Kunststofffüllung. Praxis der Zahnheilkunde II
Urban und Schwarzenberg: 179-217, 1999

Haller, B.: Aktueller Stand der Komposit- Dentinhaftung
Zahnärztl Mitt 82: 86-97, 1992

Haller, B.; Klaiber, B.; Dürner, U.; Hofmann, N.: Dentinpermeabilität nach Vorbehandlung mit Cleanern und Primern
Dtsch Zahnärztl Z 47: 171-175, 1992

Haller, B.: Mechanismus und Wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern
Dtsch Zahnärztl Z 49: 750-759, 1994

Haller, B.; Windsheimer, U.; Hofmann, N.; Klaiber, B.: Selektive Schmelzätzung oder Total etching ?
Dtsch Zahnärztl Z 50: 824-827, 1995

Haller, B.; Blunck, U.: Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme
Zahnärztl Mitt, Fortbildungsteil 1/ 2003

Hellwig, E.; Klimek, J.; Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung
Urban und Schwarzenberg, Freiburg, 133-170, 1995

Hickel, R.: Moderne Füllungswerkstoffe
Dtsch Zahnärztl Z 52:572-585, 1997

Hickel, R.; Kunzelmann, K.-H.: Keramikinlays und Veneers
Hanser, München, 1997

Jacobsen, T.; Söderholm, K.-J.M.: Some effects of water on dentine bonding
Dent Mat 11 (2): 132-136, 1995

Kanca, J.: Wet bonding: effects of drying time and distance
Am J Dent 9 (6): 273-276, 1996

Kim, S.; Edwall, L.; Trowbridge, H.; Chien, S.: Effects of local anaesthetics on pulpal blood flow in dogs
J Dent Res 63: 650-652, 1984

Kiremitçi, A.; Yalçın, F.; Gökalp, S.: Bonding to enamel and dentin using self-etching adhesive systems
Quintessence International, 35 (5): 367-370, 2004

Krejci, I.; Besek, M.; Lutz, F.: Clinical and SEM study of Tetric resin composite in posterior teeth: 12- month results
Am J Dent 7: 27-30, 1994

Kugel, G.; Ferrari, M.: The science of bonding from first to sixth generation
J Am Dent Assoc 131, Suppl: 20-25, 2000

Kunzelmann, K.-H.: Verschleißanalyse und -quantifizierung von Füllungsmaterialien in vivo und in vitro
Habilitation, Ludwigs- Maximilians- Universität München, 1996

Kunzelmann, K.-H.; Hickel, R.: Klinische Aspekte der Adhäsivtechnik mit plastischen Werkstoffen in: Die Adhäsivtechnologie. Ein Leitfaden in Theorie und Praxis
Dent Net Masters, 3M ESPE, 2001

Lösche, G.M.; Neuerburg, C.M.; Roulet, J.-F.: Die adhäsive Versorgung konservativer Klasse II Kavitäten
Dtsch Zahnärztl Z 48: 26-30, 1993

Lösche, G.M.: Klasse II Kompositfüllungen mit und ohne konfektionierte Glaskeramik-Inserts. Eine In-vitro-Studie
Dtsch Zahnärztl Z 51 (7): 389-394, 1996

Lutz, F.; A classification and evaluation of composite resin systems
J Prosthet Dent, 50: 480-488, 1983

Lutz, F.; Krejci, I.: Neue Adhäsivsysteme: Schritte zum "total bonding"
Phillip J 9: 445-447, 1992

Lutz, F.; Krejci, I.: Direct posterior filling materials. In Vanherle, G.; Degrange, M., Willems, G. (eds): State of the art on direct posterior filling materials and dentine bonding. Proceedings of the International Symposium, March 24-25, Euro Disney Paris, France. Leuven, Van der Poorten, 15-28, 1993

Lutz, F.; Krejci, I.; Schupbach, P.: Adhäsivsysteme für zahnfarbene Restaurationen. Eine Übersicht
Schweiz Monatsschr Zahnmed 103:537-543, 1993

Manhart, J: Schmelz- und Dentinadhäsive: Überblick, Einflußfaktoren, Trends
Zahnarzt 3: 136-141, 2000

Manhart, J.: Charakterisierung direkter zahnärztlicher Füllungsmaterialien für den Seitenzahnbereich. Alternativen zum Amalgam?
Quintessenz 57 (5): 465-481, 2006

Manhart, J.; Neuerer, P.; Scheibenbogen-Fuchsbrunner, A.; Hickel, R.: Three-year clinical evaluation of direct and indirect composite restorations in posterior teeth
J Prosthet Dent 84 (3): 289-296, 2000

Manhart, J.; Schmidt, M.; Chen, H.-Y.; Kunzelmann, K.-H.; Hickel, R.: Marginal quality of tooth- coloured restorations in class II cavities after artificial aging

Oper Dent 26 (4): 357-366, 2001

Manhart, J.; Chen, H.Y.; Hamm, G.; Hickel, R.: Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition

Oper Dent 29: 481-508, 2004

Marshall, G.W.; Marshall, S.J.; Kinney, J.H.; Balooch, M.: The dentin substrate: structure and properties related to bonding

J Dent 25: 441-458, 1997

McComb, D.: Evaluation of clinical wear of posterior composite resins.

In : Posterior composite resin dental restorative materials

Szulc, Holland: 511, 1985

Mjör, I.A.: Reaction patterns of dentin. In Linde, A. (ed): Dentine and dentine reactions in the oral cavity

Oxford, IRL Press: 27-31, 1987

Morihawa, M.; Narikawa, K.: The influence of blood contamination on adhesion of dentin and composite resin

Jap J Conserv Dent 39, Suppl. 14, 1996

Nakabayashi, N.; Nojima, K.; Masuhara, E.: The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates

J Biomed Mater Res 16: 265-273, 1982

Nakabayashi, N.; Pashley, D.H.:

Hybridization of dental hard tissues

Quintessence Publishing Co., Tokio, 1998

Panighi, M.; G`Shell, C.: Effect of the tooth microstructure on the shear bond strength of a dental Composite

J Biomed Mat Res 27: 975-981, 1987

Pashley, D.H.: Smear layer: physiological considerations

Oper Dent 9, suppl. 3: 13-29, 1984

Pashley, D:H.; Matthews, W.G.: The effects of outward forced convective flow on inward diffusion in human dentine in vitro

Arch Oral Biol 38: 577-582, 1993

Pashley, D.H.; Ciucchi, B.; Sano, H.: Dentine as a bonding substrate
Dtsch Zahnärztl Z 49: 760-763, 1994

Pelka, M.; Dettenhofer, G.; Reinelt, C.; Krämer, N.; Petschelt, A.: Validität und Reliabilität klinischer Kriterien für adhäsive Inlaysysteme
Dtsch Zahnärztl Z 49: 132-134, 1994

Posner, A.S.; Tannenbaum, P.J.: The mineral phase of dentin. In Thylstrup, A. (ed): Dentin and dentinogenesis
Boca Raton, CRC Press Inc: 135-154, 1984

Roulet, J.-F.: Degradation of dental polymers
Karger Verlag, München, 1987

Roulet, J.-F.: Zahnfarbene Restaurationen als Amalgamalternativen
Dtsch Zahnärztl Z 49:859-866, 1994

Roulet, J.-F.: Benefits and disadvantages of tooth- coloured alternatives to amalgam
J Dent 25 (6): 459-473, 1997

Ryge, G.; Snyder, M.: Evaluation of the clinical quality of restorations
J Am Dent Assoc 87: 369-377, 1973

Schäfer, E.: Geschichtliche Entwicklung, Klassifikation und Haftungsmechanismen der Dentinadhäsive
ZWR 4: 218-225, 1999

Schaller, H.G.; Kielbassa, A.M.; Daiber, B.: Die Zughaftung verschiedener Dentinhaftvermittler in Abhängigkeit von der Dentinpermeabilität
Dtsch Zahnärztl Z 49: 830-833, 1994

Schroeder, H.E.: Orale Strukturbiologie
Thieme Verlag Stuttgart, 1992

Söderholm, K.-J., M.: Does resin based dentine bonding work ?
Int Dent J 45: 371-381, 1995

Sonju Clasen, A.B.; Ruyter, I.E.: Quantitative determination of type A and type B carbonate in human deciduous and permanent enamel by means of Fourier transform infrared spectrometry
Adv Dent Res 4: 523-527, 1997

Suzuki, T.; Finger, W.J.: Dentine adhesives: site of dentine vs. bonding of composite resins
Dent Mater 4: 379-383, 1988

Swift, E.J.Jr.; Perdigao, J.; Heymann, H.O.: Bonding to enamel and dentin: a brief history and state of the art, 1995
Quintess Int 26 (2):95-110, 1995

Uno, S.; Finger, W.J.: Effects of acidic conditioners on dentine demineralization and dimension of hybrid layer
J Dent 24: 211-215, 1996

van Meerbeek, B.: Factors affecting adhesion to mineralized tissues
Oper Dent, Suppl. 5: 111-124, 1992

van Meerbeek, B.; Vanherle, G.; Lambrechts, P.; Braem, M.: Dentin- and enamel- bonding agents
Curr Opin Dent, 117, 1992

van Meerbeek, B.; Inokushi, S.; Braem, M.; Lambrechts, P.; Vanherle, G.: Morphological aspects of the resin- dentin interdiffusion zone with different dentine adhesive systems
J Dent Res 71, 1530-1540, 1992

van Meerbeek, B.; Braem, M.; Lambrechts, P.; Vanherle, G.: Dentinhaftung: Mechanismen und klinische Resultate
Dtsch Zahnärztl Z 49: 977-984, 1994

van Meerbeek, B.; Peumans, M.; Verschueren, M.; Gladys, S.; Braem, M.; Lambrechts, P.; Vanherle, G.: Clinical status of ten dentin adhesive systems
J Dent Res 73: 1690-1702, 1994

Wendl, B.; Droschl, H.; Kern, W.: Verbessern verschiedene Arten der Lichtpolymerisation die Qualität des Klebers ?
Dtsch Zahnärztl Z 58 (3): 180-182, 2003

Willems, G.; Lambrechts, P.; Braem, M.; Celis, J.P.; Vanherle, G.: A classification of dental composites according to their morphological and mechanical characteristics
Dent Mater 8: 310-319, 1995

Wright, J.T.; Hall, K.; Yamauchi, M.: The protein composition of normal and developmentally defective enamel
Ciba Found Symp. 205: 85-99; discussion: 99-106, 1997

9. Anhang

9.1 Materialliste

Syntac[®] Primer, Vivadent Dental GmbH, Ellwangen, Germany

Syntac[®] Adhesiv, Vivadent Dental GmbH, Ellwangen, Germany

Heliobond[®], Vivadent Dental GmbH, Ellwangen, Germany

Prompt L-Pop[®], Firma ESPE, Seefeld, Germany

Tetric[®] und Tetric[®] Flow, Vivadent Dental GmbH, Ellwangen, Germany

Polymerisationsgerät, Translux CL[®], Heraeus Kulzer, Wehrheim, Germany

Impregum[®] Penta, Polyetherabformmasse, Firma ESPE, Seefeld, Germany

Pentamix[®], Impregumanmischgerät, Firma ESPE, Seefeld, Germany

Abformlöffel aus Kunststoff, Heko

Epoxy-Die, Epoxidharz, Firma Ivoclar, Liechtenstein

Fuji-Rock, Superhargips, GC Fujirock EP, GC Belgien

HANEL-Folie, Okklusionsfolie, 12 μ einseitig, roeko, Langenau Germany

ungewachste Zahnseide, Johnson + Johnson, Dental Floss unwaxed

Nikon-Fotoapparat, AC UNIT LA-2, FOR MEDICAL NIKKOR 120 mm F4

Film, Agfachrome RS 50 Plus

Leit-C-Plast, Graphitleitpaste, Chemikaliengroßhandel Münster, Germany

Sputteranlage, Polaron Equipment CTD, SEM Autocoating Unit E5200

Rasterelektronenmikroskop, REM, Leitz-AMR, 1200 Wetzlar

Software für Quantitative Randanalyse: „Quanti-Gap“, Stefan Küppers,

Erlangen

Software für Statistik: SPSS 10.0 „for Windows“, SPSS Inc., Chicago, USA

9.2 Danksagung

Besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. R. Hickel, Direktor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Ludwigs-Maximilians-Universität München, der die Durchführung dieser Studie ermöglichte.

Bei Herrn OA PD Dr. J. Manhart möchte ich mich herzlich für die Themenstellung, die umfassende Betreuung, sowie die außerordentliche Hilfsbereitschaft bei der statistischen Auswertung dieser Dissertation bedanken.

Frau Dr. Petra Neuerer danke ich herzlich für ihre Mithilfe, das Korrekturlesen und die umfassende Unterstützung, die zum Gelingen dieser Dissertation beigetragen haben.

Bei Herrn Dipl.-Ing. T. Obermeier möchte ich mich herzlich für die Beratung und Betreuung am Computer und Rasterelektronenmikroskop bedanken.

Schließlich möchte ich auch meinen Eltern herzlich danken, dass sie mir dieses Studium und meinen bisherigen Werdegang durch großzügige Unterstützung ermöglicht haben.

9.3 Lebenslauf

Name	Julia Christine Romer
Geburtsdatum	17.03.1977
Geburtsort	Schwabmünchen
Eltern	Dr. Helmut Romer Karin Romer (geb. Kiese)
Schulbildung	1983-1987 Schlößlesfeld- Grundschule Ludwigsburg 1987-1996 Mörike- Gymnasium Ludwigsburg 1996 Zeugnis der allgemeinen Hochschulreife
Studium	SS 1997 Beginn des Studiums der Zahnheilkunde an der Ludwigs- Maximilians- Universität München 1998 zahnärztl. naturwissenschaftliche Vorprüfung 1999 zahnärztliche Vorprüfung 2002 Staatsexamen (zahnärztliche Approbation)
Berufstätigkeit	10/2002- 12/2003 Vorbereitungsassistentin bei Dr. Werner Haber- sack in Weilheim 06/2004- 03/2005 Vorbereitungsassistentin bei Dr. Peter Köhler in Ismaning seit 04/2005 Assistenz Zahnärztin an der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der LMU-München (Direktor Prof. Dr. R. Hickel)