

---

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

**Vorstand: Prof. Dr. R. Hickel**

**In-vitro-Untersuchung  
der marginalen Adaptation  
von Klasse-II-Kompositfüllungen**

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

**vorgelegt von**

**Marta Thum geb. Urbánková aus Trenčín**

**2004**

---

---

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. J. Manhart

Mitberichterstatter: Prof. Dr. R. Breul

Mitbetreuung durch den  
promovierten Mitarbeiter: entfällt

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündlichen Prüfung: 30.11.2004

---

## **1. Einleitung**

Die lichthärtenden kompositbasierten Füllungsmaterialien (Komposite) nehmen seit ihrer Einführung in den siebziger Jahren ein immer umfangreicheres Einsatzspektrum in der zahnärztlichen Therapie ein und zählen gegenwärtig zu den meist verwendeten zahnärztlichen Materialien [64].

Bei der Füllungstherapie im Seitenzahnbereich fanden sie erst seit den Entwicklungen in den neunziger Jahren eine immer größere Bedeutung. Einerseits Dank der kontinuierlichen Verbesserung der mechanischen und physikalischen Eigenschaften, andererseits aber auch wegen der Verunsicherung der Öffentlichkeit in manchen Ländern gegenüber Amalgam [72, 101, 159].

Nach der Stellungnahme der DGZ sind kompositbasierte Füllungsmaterialien im Seitenzahnbereich hauptsächlich für kleinere und mittelgroße Defekte indiziert, jedoch ist die Indikation individuell und befundbezogen auch auf größere Versorgungen erweiterbar. Die Versorgung eines größeren Defektes im Seitenzahnbereich durch diese Füllungsmaterialien wird auch als substanzschonende Alternative zu den indirekten Restaurationen bezeichnet [64]. Die adhäsive Verankerung ermöglicht eine defektorientierte minimal-invasive Präparation mit Verzicht auf Retentions- und Widerstandsformen. Kompositbasierte Füllungsmaterialien erlauben es hohen ästhetischen Ansprüchen gerecht zu werden. Im Vergleich zu indirekt hergestellten Restaurationen ist der finanzielle und zeitliche Aufwand geringer.

Als Nachteil der Kompositfüllungen in der Klasse II nach Black wird die Dauerhaftigkeit der Adhäsion zum Dentin diskutiert [24, 89]. Sekundärkaries und daraus resultierende Pulpairritation, marginale Verfärbungen, Füllungsfrakturen, aber auch Randeinbrüche oder Verschleißerscheinungen sind die häufigsten Gründe für ein Versagen [45, 51, 67, 72, 75].

Eine der möglichen Ursachen der Probleme ist die teilweise ungenügende marginale Adaption der Füllungen und die daraus resultierende Bakterieninvasion Richtung Pulpa [51, 75, 147].

Ziel dieser In-vitro-Studie war es, die marginale Adaption verschiedener lichthärtender kompositbasierter Materialien mit zwei Verfahren zu untersuchen.

# Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	5
2.	Literaturübersicht	6
2.1	Lichthärtende Komposite	6
2.1.1	Organische Matrix	6
2.1.2	Anorganische Komponente	6
2.1.3	Verbundsystem	7
2.1.4	Weitere Bestandteile	7
2.1.5	Charakteristik der in dieser Studie getesteten konventionellen Komposite	7
2.1.6	Fließfähige Komposite	8
2.1.7	Stopfbare Komposite	8
2.1.8	Matrixmodifizierte Kompositmaterialien - Ormocerbasierte Komposite	9
2.2	Aushärten der lichthärtenden Füllungsmaterialien - Polymerisation	10
2.3	Strategien gegen Schrumpfung und Spannungen	11
2.3.1	Lichtpolymerisation	11
2.3.2	Fülltechnik	12
2.3.3	Adhäsionsvermittlung	13
2.3.3.1	Zusammensetzung der Dentinhaftvermittler	13
2.3.3.1.1	Konditionierer	13
2.3.3.1.2	Primer	16
2.3.3.1.3	Bonding	17
2.3.3.2	Mögliche Kombinationen der Systemkomponenten.	18
2.4	Randspaltanalyse	21
2.4.1	Rasterelektronenmikroskopische Randspaltanalyse	21
2.4.2	Farbpenetration	21
3.	Fragestellung	23
4.	Material und Methode	24
4.1	Probenherstellung	24
4.1.1	Auswahl und Lagerung der Zähne	24
4.2.2	Präparation der standardisierten Kavitäten	24
4.2.3.1	Übersicht der Variationen in den einzelnen Versuchsgruppen	26
4.2.3	Behandeln der präparierten Kavitätenoberfläche mit Haftvermittlersystemen	27
4.2.4	Applikation des lichthärtenden Kompositmaterials und die Photopolymerisation	28
4.2.5	Ausarbeiten und Politur	32
4.2.6	Feuchtigkeitslagerung	33
4.2.7	Thermocycling und mechanische Belastung	33
4.3	Untersuchung der Proben	35
4.3.1	Randspaltanalyse im Rasterelektronenmikroskop	35
4.3.1.1	Vorbereiten der Replika	35
4.3.1.2	Quantitative Randspaltanalyse	36
4.3.1.3	Bewertungskriterien für die Beurteilung der Randqualität	37
4.3.2	Farbpenetrationsuntersuchung	39
4.3.2.1	Vorbereitung der Proben	39
4.3.2.2	Farbpenetration	39

4.3.2.3	Herstellen der Schnitte	39
4.3.2.4	Bewertungskriterien für die Beurteilung der Schnitte im Auflichtmikroskop	40
5.	Ergebnisse	43
5.1	Auswertung der Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop	43
5.1.1	Ergebnisse der Randanalyse im schmelzbegrenzten Kasten	44
5.1.2	Ergebnisse der Randanalyse im Schmelzanteil des dentinbegrenzten Kastens	45
5.1.3	Ergebnisse der Randanalyse im Dentinanteil des dentinbegrenzten Kastens	47
5.2	Auswertung der Farbstoffpenetration	49
6.	Diskussion	54
6.1	Material und Methode	54
6.1.1	In-vitro-Untersuchung	54
6.1.2	Auswahl und Lagerung der Zähne	54
6.1.3	Kavitätenpräparation	55
6.1.4	Haftvermittler	56
6.1.5	Fülltechnik	56
6.1.6	Photopolymerisation	57
6.1.7	Ausarbeitung und Politur	58
6.1.8	Feuchtigkeitslagerung	58
6.1.9	Thermische und mechanische Belastung	58
6.1.10	Randspaltanalyse	59
6.1.10.1	Quantitative Randspaltanalyse im Rasterelektronenmikroskop	60
6.1.10.2	Farbpenetrationsuntersuchung.	61
6.2	Diskussion der Ergebnisse der Randspaltanalyse im Rasterelektronenmikroskop	61
6.2.1	Lokalisation des Füllungsrandes	61
6.2.2	Restaurationen aus ormocerbasierten Kompositen	63
6.2.3	Restaurationen aus Quixfil	64
6.2.3.1	Fließfähiges Komposit als Liner	64
6.2.3.2	Polymerisationsmodus	64
6.2.3.3	Variation Schichtdicke	65
6.2.4	Zu den Ergebnissen der Gruppe SPB844 (Material Surefil mit Haftvermittler Prime&Bond NT)	65
6.2.5	Referenzgruppe TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic)	66
6.3	Diskussion der Ergebnisse der Farbstoffpenetration	67
6.3.1	Schmelzbegrenzter Kasten	67
6.3.2	Dentinbegrenzter Kasten	68
6.4	Schlussfolgerung	68
7.	Zusammenfassung	70
8.	Literaturverzeichnis	73
9.	Materialliste	88
10.	Lebenslauf	90
11.	Danksagung	91

## **2. Literaturübersicht**

### **2.1 Lichthärtende Komposite**

Lichthärtende Komposite sind zusammengesetzte Werkstoffe, die auf einer organischen hydrophoben Matrix, verbunden mit einem anorganischen Füllstoff, basieren [80, 98].

#### **2.1.1 Organische Matrix**

Die Kompositmatrix besteht aus einem Gemisch aus Monomeren (klassische Beispiele sind Bis-GMA = *Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat*, UDMA = *Urethandimethacrylat*, TEGDMA = *Triethylenglycoldimethacrylat*) [68]. Durch Öffnen der Doppelbindungen in den Monomermolekülen kommt es zur Bildung eines dreidimensionalen Polymernetzes und zur Aushärtung der Kompositmaterialien [9, 48, 98]. Komonomere (z.B. TEGDMA) werden der organischen Matrix beigegeben, um diese zu verdünnen. Dadurch kann der Füllkörperanteil im Komposit erhöht werden und das Material bleibt unter klinischen Bedingungen verarbeitbar [47, 66, 98, 128].

#### **2.1.2 Anorganische Komponente**

Die Füllstoffe der Komposite haben einen entscheidenden Einfluss auf die physikalisch-mechanischen Eigenschaften dieser Materialgruppe. Der Zusatz anorganischer Partikel zur organischen Matrix bewirkt eine Verminderung der Polymerisationsschrumpfung, eine geringere Wasseraufnahme und einen niedrigeren Thermoexpansionskoeffizienten. Die Abrieb-, Druck- und Zugfestigkeit wird erhöht [46, 47, 48]. Zusätzlich erhöhen die Füllstoffe die Transparenz und haben Einfluss auf das Farbverhalten der Füllkunststoffe [122, 143].

Moderne Hybridkomposite enthalten Füllstoffe aus Quarz-, Glas-, Keramik- oder Boroxid-Partikeln bzw. amorphen Silikaten. Diese werden mit Barium und/oder Strontium angereichert, um eine Radioopazität zu erreichen. Die mittlere Größe bewegt sich zwischen 0,04 µm und 5 µm [47, 66, 71, 98, 104]. Auch die Form der Partikel beeinflusst die Eigenschaft des Komposits. Es können z.B. kompakte Gläser, sphärische Partikel, poröse Füllkörper, Fasern und ionenfreisetzende Füllkörper verwendet werden [31].

Von den konventionellen Kompositmaterialien unterscheiden sich anhand der Viskosität die fließfähigen Komposite und die stopfbaren Komposite [31].

### 2.1.3 Verbundsystem

Die Verbindung zwischen hydrophober organischer Matrix und anorganischen Füllkörpern wird durch ein bipolares Molekül hergestellt (ein Silan, i.d.R. 3-Methacryloxypropyl-Trimethoxysilan). Dieses verbindet sich chemisch durch eine Esterreaktion mit dem Füllstoff und wird über den hydrophoben Molekülanteil in dem Polymerisationsgeflecht der organischen Matrix verankert [80, 122].

### 2.1.4 Weitere Bestandteile

**Photoinitiatoren** Am häufigsten verwendet wird Campherchinon in Kombination mit einem tertiärem Amin oder Phosphin, welches durch Absorption elektromagnetischer Strahlung im definiertem Bereich von 400 - 500 nm zu einem energiereichen Radikal aktiviert wird. Dieses reagiert mit den Doppelbindungen der Monomere und führt zur Initiierung der Polymerisation.

**Inhibitoren** werden der organischen Matrix zur Vermeidung einer Spontanzpolymerisation zugesetzt. Sie inaktivieren vorzeitig gebildete Radikale durch Wasserstoffatomabgabe. Somit wird der Verarbeitungsprozess und die Lagerfähigkeit des Komposits verbessert [47].

**Pigmente** ermöglichen ein breites Spektrum an unterschiedlich nuancierten Farbtönen, womit eine optimale Ästhetik der Füllung erreicht werden kann [80].

### 2.1.5 Charakteristik der in dieser Studie getesteten konventionellen Komposite

*Tetric<sup>®</sup>Ceram* (Vivadent) ist ein langjährig etabliertes Feinpartikelhybridkomposit mit mittlerer Größe der Füllpartikel von 1 µm [31, 149]. In Kombination mit dem Haftvermittler *Syntac<sup>®</sup>Classic* diente es, auf der Grundlage der Total-etch-Technik, als Referenzgruppe in der vorliegenden Studie.

*Quixfil* (Dentsply) gehört zu Produkten der neueren Entwicklung. Die Transluzenz und die niedrige Polymerisationsschrumpfung (laut Hersteller 1,7%) dieses Füll-

werkstoffs soll es ermöglichen, eine Schichtdicke von 4 mm innerhalb von 10 Sekunden auszuhärten (bei einer Lichtintensität von 800 mW/cm<sup>2</sup>).

### **2.1.6 Fließfähige Komposite**

Die niedrige Viskosität von fließfähigen Kompositen wird durch einen geringeren Anteil an Füllstoffen, bei Beibehaltung der Partikelgröße, erreicht. Dies führt jedoch zu einer Veränderung der physikalischen Eigenschaften. Diese Materialgruppe besitzt ein niedrigeres Elastizitätsmodul und eine höhere Polymerisations-schrumpfung. Auch die Bruch-, Biege-, Druck-, und Verschleißfestigkeit fällt bei den fließfähigen Kompositen schlechter aus, als bei den konventionellen Kompositen [9].

Fließfähige Komposite eignen sich hauptsächlich zur Versorgung von Mini-kavitäten und bei erweiterten Fissurenversiegelungen [56, 47], da ihre Adaptation an die Kavitätenwände besser ist und Lufteinschlüsse leichter zu vermeiden sind. Die Verwendung von fließfähigen Kompositen als Liner in Klasse II-Füllungen soll wegen des geringeren E-Moduls zur Relaxation der polymerisationsbedingten Spannungen an der Grenzfläche Komposit/Zahnhartsubstanz beitragen [15, 41, 43, 54, 61, 79, 102, 120, 137, 187].

Allerdings gibt es auch Studien, die keine bzw. negative Auswirkungen der Liner, aus fließfähigem Komposit, auf die Randqualität beschreiben [10].

Ein in dieser Studie verwendetes Beispiel ist das Material *X Flow* (Dentsply).

### **2.1.7 Stopfbare Komposite**

Stopfbare Komposite sollen durch ihre standfestere Konsistenz und höhere Viskosität die Verarbeitung der Materialien erleichtern. Um noch anwenderfreundlicher zu sein, sollen diese Materialien auch weniger an den Instrumenten haften bleiben.

Diese Eigenschaften wurden unter anderem durch innovative Modifikationen der beteiligten Füllkörper erreicht (z.B. poröse Füller, verzahnende Füllkörper, Zusatz von Faseranteilen) [31].

Ein Beispiel eines stopfbaren Komposits ist *Surefil* (Dentsply) [6, 13, 101, 111, 107, 135, 136, 157], welches auch in dieser Studie untersucht worden ist.

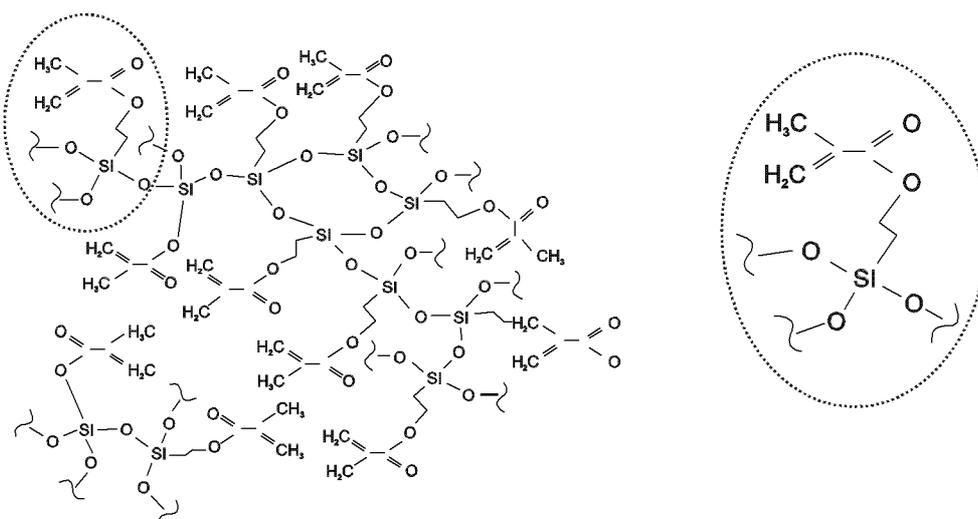
## 2.1.8 Matrixmodifizierte Kompositmaterialien - Ormocerbasierte Komposite

Die Materialgruppe der Ormocere (organically modified ceramics) wurde Mitte der achtziger Jahre am Fraunhofer Institut für Silikatforschung in Würzburg entwickelt. Auf dieser Materialbasis sind ormocerbasierte Komposite entstanden, welche zwischen anorganische und organische Polymere eingeordnet werden können [105].

Das Monomer setzt sich aus drei Struktursegmenten zusammen. Das anorganische Molekülsegment wird mittels einer Verbundeinheit an das organische Molekülsegment gekoppelt (Abb. 2.1) und in einer Sol-Gel-Reaktion zu einem Si-O-Si-Netzwerk hydrolysiert und polykondensiert. In die so entstandene Matrix werden Füllkörper integriert [5]. Die Methacrylatgruppen des organischen Segmentes bilden nach der Polymerisation eine dreidimensionale Vernetzung aus. Durch gezielte Modifikation der beteiligten Strukturen ist eine gesteuerte Veränderung und somit eine Einstellung der Materialeigenschaften möglich.

Die Möglichkeit, die mechanischen, thermischen und optischen Eigenschaften des Materials gezielt zu steuern, ist auch der dominierende Vorteil dieser Materialgruppe. Bei ihrer Entwicklung geschieht dies durch Veränderung der Ausgangsstoffe, die Reaktionsführung der Polykondensationsreaktion sowie durch die Kontrolle der organischen Polymerisation [69, 70, 141, 168, 173, 174].

Die praktische Verarbeitung unterscheidet sich von der Gruppe der klassischen lichterhärtenden Kompositen nicht.



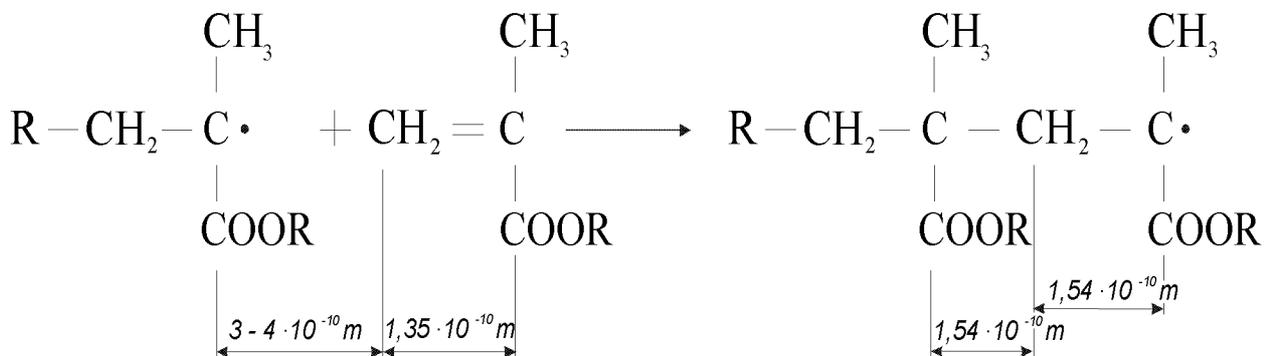
**Abb. 2.1:** Beispiel einer organisch-anorganischen Ormocermatrix [5].

In dieser Untersuchung wurden ormocerbasierte Komposite Material A und B (experimentell) getestet.

## 2.2 Aushärten der lighthärtenden Füllungsmaterialien - Polymerisation

Bei der Konversion der Monomermoleküle in ein polymeres Netzwerk kommt es zur Polymerisationsschrumpfung, die direkt proportional zum Volumen der eingesetzten organischen Bestandteile ist [16, 29, 103, 142].

Ursache für die Schrumpfung ist die Verringerung des intermolekularen Abstandes von  $3 - 4 \cdot 10^{-10}$  m auf  $1,54 \cdot 10^{-10}$  m [128]. Der Verringerung des intermolekularen Abstandes steht zwar eine Vergrößerung des Bindungsabstandes (von der Doppel- zur Einfachbindung) um  $1,9 \cdot 10^{-11}$  m gegenüber, diese kann jedoch die Annäherung nicht ausgleichen.



*Abb. 2.2: Darstellung der Polymerisationsschrumpfung (aus IVOCLAR-REPORT [128])*

Durch diesen Volumenverlust (bei konventionellen Kompositen ca. 2-4 Vol%) entstehen im Material Spannungen, die der Haftung des Komposits am Kavitätenrand entgegenwirken und in einer Ausbildung von Randspalten resultieren können [20, 37, 140, 166].

Neben der Polymerisationsschrumpfung wird die primäre Haftung der Füllung an der Zahnhartsubstanz noch durch andere Faktoren erschwert [91]. Der deutlich höhere thermische Expansionskoeffizient des Komposits [98] bewirkt Spannungen an der Verbundzone Komposit/Zahnhartsubstanz. Die unterschiedliche Polarität der Füllung und Zahnhartsubstanz vermindert die Qualität der Haftung der Restauration zusätzlich [31].

In Kombination dieser Faktoren kann es zwischen der Zahnhartsubstanz und der Restauration zu einer unerwünschten Spaltbildung kommen.

## 2.3 Strategien gegen Schrumpfung und Spannungen

### 2.3.1 Lichtpolymerisation

Der Initiator der Polymerisationsreaktion wird durch Lichtenergie eines definierten Wellenbereiches aktiviert. Diese Lichtenergie wird meist in konventionellen Halogenlichtgeräten erzeugt. Alternativen sind LED-, Laser- und Plasmalampen [1, 12, 83, 92, 106, 110].

Auf den Prozess des Aushärtens haben mehrere Faktoren einen Einfluss.

Ausschlaggebend für die Qualität der Aushärtung sind die Anzahl und die Wellenlängenverteilung der Photonen, die auf eine spezifische Oberfläche wirken (Strahlenflussdichte [ $\text{mW}/\text{cm}^2$ ]). Die Wellenlängenverteilung muss mit dem Absorptionsmaximum des Initiatorsystem abgestimmt werden [47, 106, 121, 124, 139].

Die emittierte Lichtintensität sollte mehr als  $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$  betragen. Aufgrund der Tatsache, dass alle Polymerisationslampen im Laufe der Zeit an Lichtintensität verlieren, ist eine regelmäßige Prüfung der Leistung (z.B. mit dem Prüfgerät: Demetron Radiometer) unabdingbar [83].

Die Belichtungszeit wird hauptsächlich durch die Lichtintensität der Polymerisationslampe determiniert. Der Farbton, die Transluzenz und die Struktur des Füllungsmaterials, sowie auch die Art und Konzentration der verwendeten Initiatoren, beeinflussen die optimale Belichtungszeit zusätzlich [106].

Als Richtwert wird häufig in der Literatur [47, 106, 123, 177] eine minimale Belichtungszeit von 40 Sekunden pro Schicht (2 mm) bei durchschnittlicher Lichtintensität von  $400 \text{ mW}/\text{cm}^2$  angegeben. Bei Lichtpolymerisationsgeräten (Hochleistungspolymerisationslampen) mit höherer Intensität ( $800 - 1200 \text{ mW}/\text{cm}^2$ ) ist es entsprechend Herstellerangaben möglich, diese Zeit zu verkürzen [167].

Der Abstand der Lichtleiteröffnung zu der auszuhärtenden Schicht sollte gering gehalten werden, damit die höchste Lichtintensität garantiert werden kann [30, 106, 138, 139, 153, 165]. Eine Hypothese beschreibt die Möglichkeit, Schrumpfungsvektoren durch die Position der Lichtquelle zu beeinflussen. Nach dieser Modellvorstellung schrumpfen Komposite zur Kavitätenwand hin, wenn die Lichtquelle das Material durch die Zahnhartsubstanz hindurch polymerisiert [99]. In anderen Studien wurde diese Hypothese angezweifelt [165].

### **2.3.2 Fülltechnik**

Bei der *Inkrement*-Technik handelt es sich um schichtweises Einbringen und Auspolymerisieren von kompositbasierten Füllungsmaterialien [3, 14, 28, 47, 92, 119, 169].

Da die Polymerisationsschrumpfung direkt proportional zum Kompositvolumen steht, ist es sinnvoll die Füllung in mehreren Schicht- und Härtevorgängen zu applizieren. Dadurch wird der Polymerisationsvolumenverlust der ersten Schicht durch die nachfolgenden ausgeglichen [47, 92].

Durch diese Technik ist es auch möglich den C-Faktor positiv zu beeinflussen. Der C-Faktor ist das Verhältnis zahngebundener Oberfläche zur freien Oberfläche der Füllung. Umso mehr Anteile an freier Oberfläche ein Kompositinkrement hat, desto einfacher kann der Ausgleich der Spannungen erfolgen. Die Randspaltbildung lässt sich durch Maximierung freier Füllungsflächen minimieren [1, 47, 62, 65, 92, 156].

Die einzelnen Schichten sollten die Dicke von 2 mm bei den meisten Kompositen nicht überschreiten, da die Mikrohärtewerte innerhalb einer Schicht von der Oberfläche zur Tiefe hin abnehmen [30, 65, 92]. Die lichthärtenden Kompositmaterialien haben eine limitierte Durchhärtetiefe, die u.a. von der Farbe und Struktur der Materialien bestimmt wird.

Zu den Vorteilen der Inkrementtechnik zählt auch die Möglichkeit der Kombination von verschiedenen Farbtönen, um ein optimales ästhetisches Ergebnis erreichen (Mehrfarbschichttechnik) zu können. Zusätzlich ist die Wahrscheinlichkeit einen Hohlraum in der Füllung zu erhalten, welcher die mechanischen Eigenschaften der Restauration negativ beeinflusst, niedriger [84].

Als Nachteile der Inkrementtechnik werden manchmal höhere Spannungen innerhalb der Füllung [1, 4, 82, 164] und ein höherer Zeitaufwand des Verarbeitungsprozesses durch die oben beschriebene Technik angeführt.

Bei der *Bulk-fill-placement*-Technik wird die gesamte Kavität durch eine Portion vom Material ausgefüllt werden. Diese Technik ermöglicht eine zeitsparende Arbeitsweise [1, 3, 176], allerdings ist diese Applikationsmethode bei größeren Kavitäten für lichthärtende Komposite nicht zu empfehlen, sondern kommt nur für chemisch härtende Stumpfaufbaukomposite in Betracht.

### **2.3.3 Adhäsionsvermittlung**

Ein idealer Haftvermittler sollte ebenso gut im Dentin wie im Zahnschmelz wirken. Zusätzlich sollte er anwenderfreundlich und biokompatibel sein [87, 88, 146]. Die industrielle Entwicklung bemüht sich seit einem halben Jahrhundert diesen Anforderungen gleichzeitig gerecht zu werden. Es wurden bereits mehrere Generation bzw. Entwicklungsstufen solcher Produkte auf den Markt gebracht, so dass eine große Auswahl zur Verfügung steht.

#### **2.3.3.1 Zusammensetzung der Dentinhaftvermittler**

Aufgrund des Anwendungsprinzips, der Zusammensetzung und der Wirkung lassen sich drei Systemkomponenten der Haftvermittler charakterisieren [100]:

##### **2.3.3.1.1 Konditionierer**

Durch die Präparation mit rotierenden Instrumenten entsteht auf der Zahnoberfläche eine ca. 1 - 5µm dicke Schmierschicht, die vor der Anwendung von Haftvermittlern entweder entfernt oder modifiziert werden muss.

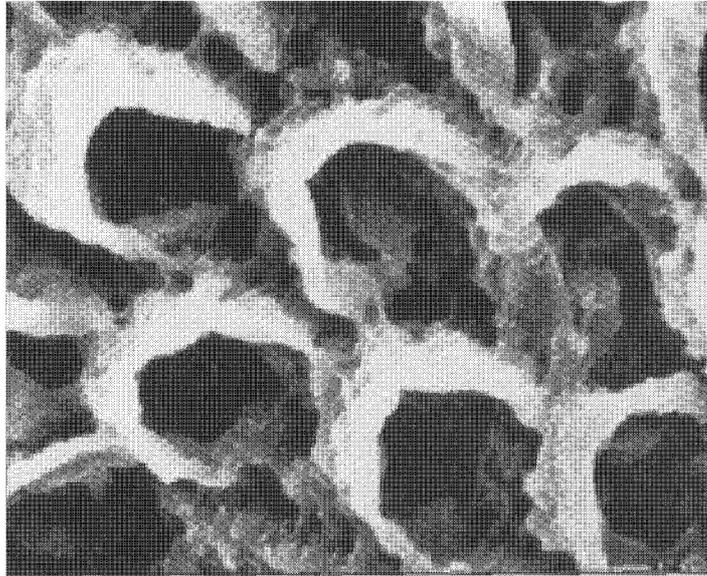
Bei der *Total-etch*-Technik oder bei dem selektivem Ätzen des Schmelzes handelt es sich dabei um einen separaten Vorgang. Bei der Gruppe der selbststützenden Dentinadhäsiven ist dieser Schritt mit dem Schritt der Haftvermittlung kombiniert.

##### ***Total-etch*-Technik**

Das Konditionieren der Zahnoberfläche wird in einem separaten Schritt vorgenommen, dabei wird Phosphorsäure (i.d.R. 35 - 37%) zuerst auf den Schmelz und anschließend auf Dentin aufgetragen. Nach einer Einwirkzeit von maximal 15 Sekunden am Dentin wird die behandelte Oberfläche mit Wasserstrahl und Druckluft abgespült [47, 152].

## **Auswirkungen am Schmelz**

Aufgrund der unterschiedlichen Säurelöslichkeit zwischen dem Zentrum und der Peripherie der Schmelzprismen entsteht an der Schmelzoberfläche ein 20 - 30 µm tiefes Ätzmuster.



*Abb. 2.3: Schmelz - Ätzmuster Typ 1  
(entnommen aus Frankenberger [92])*

Es können drei typische Grundmuster im Schmelz entstehen:

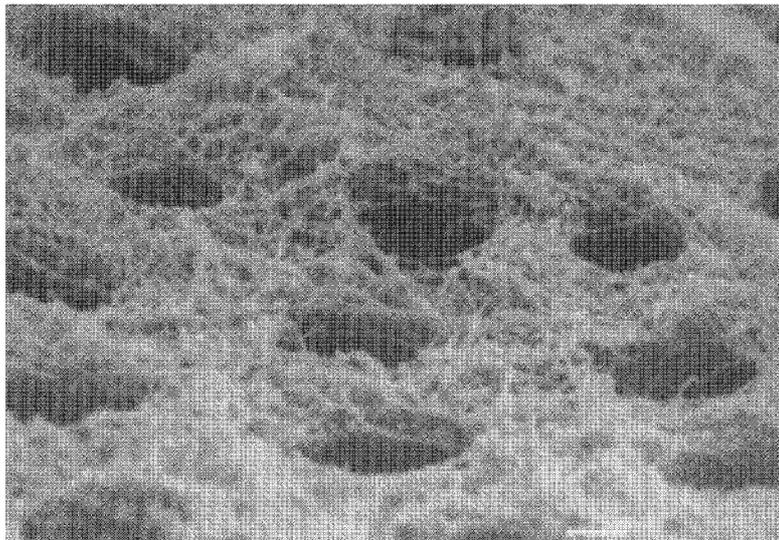
- Typ 1: Herauslösen der Prismenkerne, während die Prismenperipherie intakt bleibt (Abb. 2.3).
- Typ 2: Prismenperipherie wird aufgelöst und Prismenkerne bleiben weitgehend erhalten.
- Typ 3: Weniger strukturiert, wird meist im aprismatischem Schmelz beobachtet.

Alle drei Ätzmuster können gleichzeitig auf einer konditionierten Schmelzoberfläche vorliegen [47, 66, 122].

Die Mikromorphologie des Schmelzes nach der Total-etch-Technik ermöglicht eine innige mikromechanische Verzahnung zwischen den polymerisierten Adhäsivmonomeren und dem Zahnschmelz. Die daraus resultierende Haftung ist ausreichend, um den durch die Polymerisationsschrumpfung erzeugten Kräften entgegenzuwirken [31, 47, 92].

## Auswirkungen am Dentin

Durch die *Total-etch*-Technik wird die Schmierschicht auf der präparierten Dentinoberfläche entfernt. Es kommt zur Öffnung der Dentintubuli und nach dem Auflösen der Hydroxylapatitkristalle im intertubulären und peritubulärem Dentin wird ein Kollagenetzwerk freigelegt (Abb.2.4). Diese Konfiguration erleichtert die Penetration der Primermoleküle ins Dentin [114, 130, 131, 132].



*Abb.2.4: Dentin: offene Dentintubuli und freigelegtes Kollagenetzwerk (entnommen aus Frankenberger [92])*

Nach dem Abspülen der Säure besteht bei dem Trocknen mit Hilfe von Druckluft die Gefahr des Übertrocknens des Kollagenetzwerkes. Dies führt zu einem Kollabieren des Kollagengeflechtes, so dass die Primermonomere anschließend nicht entsprechend tief penetrieren können [42, 117]. Vor allem bei den azetonbasierten Haftvermittlern sollte deswegen darauf geachtet werden, dass das Dentin nicht übertrocknet wird („*Moist-bonding*“-Technik).

Bedarfsweise kann es wieder mit einem nassen Wattepellet rückbefeuchtet werden (rewetting) [40].

## Selektive Ätztechnik

Die Bestrebung hier ist es, ausschließlich den Schmelz mit Phosphorsäure zu ätzen und das Dentin mit selbstätzendem Primer zu behandeln. Dies ist nicht einfach durchzuführen und wird deshalb weniger praktiziert [56, 92].

## **Selbstätzende Haftvermittler**

Das Prinzip der Selbstkonditionierung ist attraktiv, weil der Verzicht auf die Phosphorsäure-Ätzung die Adhäsivtechnik vereinfacht und den Zeitaufwand verringert [38, 56, 133]. Es kann zusätzlich ausgeschlossen werden, dass ein zu kurzes oder zu langes Ätzen, unkontrolliertes Abspülen der Säure oder ein exzessives Trocknen der Kavität zu einer schlechteren Haftung führen kann.

Die gemeinsame Konditionierung von Schmelz und Dentin gelingt mit sauren Monomeren, die Phosphat- oder Carboxylatgruppen enthalten; evtl. auch durch Maleinsäurezusatz [23, 56, 59, 60, 114].

Die Wirksamkeit selbstätzender Haftvermittler am Schmelz wird kontrovers diskutiert. [33, 47, 56, 63, 113, 152, 154]. Ergebnisse klinischer Langzeituntersuchungen über die Effektivität selbstätzender Systeme am Schmelz liegen noch nicht vor [92].

Der Säureangriff und die Demineralisation findet simultan zur Infiltration der Primermonomere statt, so dass ein ungeschütztes Kollagenfasergeflecht im Dentin nicht entsteht und das Kollabieren des Kollagenfasergeflechts durch das Trocknen verhindert werden kann [92, 112]. Deshalb ist das Anwenden von selbstätzenden Haftvermittlern am Dentin weniger techniksensitiv und weniger fehleranfällig als die Total-etch-Technik [92].

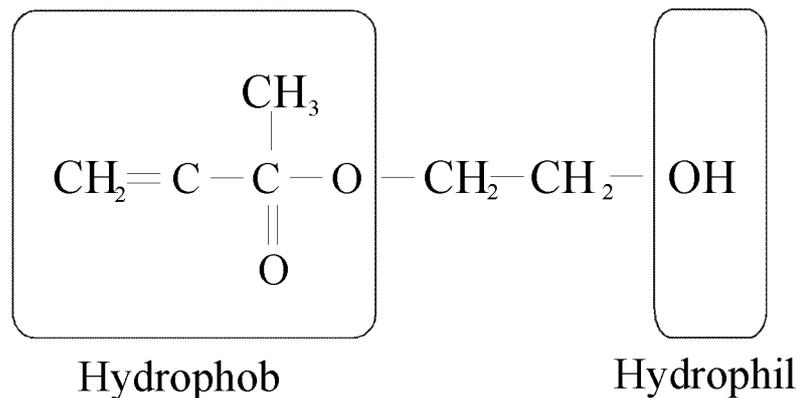
### **2.3.3.1.2 Primer**

Als Primer werden penetrationsfähige amphiphile Monomere (siehe Abb.3) in einem Lösungsmittel bezeichnet, die nach dem Verdunsten des Lösungsmittels auf der behandelten Zahnoberfläche verbleiben und unmittelbar an der Verbindung der Komposit-Zahnhartsubstanz beteiligt sind. Als Lösungsmittel dient am häufigsten Azeton, Wasser oder Ethanol [27].

Die Hauptaufgabe des Primers besteht darin, die Benetzbarkeit des hydrophilen Dentins mit dem hydrophoben Komposit zu verbessern. Durch die Diffusion der Primermoleküle kommt es zur Imprägnation des Kollagennetzwerkes im Dentin, wodurch die Penetration der Bondingmonomere erleichtert wird und die gewünschte Hybridschicht kann ausgebildet werden [39, 94, 115, 132, 133, 161].

In den Primern befinden sich Moleküle, die überwiegend aus drei charakteristischen Gruppen zusammengebaut sind:

- einer hydrophoben Methacrylatgruppe (= Verbindung zum Kunststoff),
- einer reaktiven hydrophilen Gruppe, die Affinität zum Dentin besitzt.
- einer Distanzgruppe, welche die doppelbindungstragende Methacrylatgruppe von der reaktiven Gruppe räumlich trennt:



*Abb.2.5: Hydroxyethylmethacrylat*

Aufgrund Ihres guten Penetrationsvermögens zählen PENTA (Dipentaerytritol-methacryloyloxyphosphat) und HEMA (Hydroxyethylmethacrylat) zu den meist verwendeten Monomeren.

### 2.3.3.1.3 Bonding

Als Bonding bezeichnet man hydrophobe, niedrigvisköse Mischungen aus lang- und kurzkettigen Monomeren. Zu deren Lichthärtung werden Photoinitiatoren zugesetzt. Gemeinsam mit den Monomeren des Primers und Monomeren des Bondings wird die eigentliche Verbindung zwischen der Zahnhartsubstanz und der Restauration hergestellt [55, 163].

Adhäsive Monomere dringen in die Hohlräume zwischen den freigelegten Kollagenfasern ein, in denen sich bereits kurzkettige Primer-Monomer-Moleküle angelagert haben. Der 3 - 10 µm starke Bereich, in dem sich Adhäsiv und demineralisiertes Dentin durchdringen, wird als Hybridschicht bezeichnet und ist für die Verbindung zwischen Zahn und Füllung entscheidend [115, 118, 132, 133, 160].

### **2.3.3.2 Mögliche Kombinationen der Systemkomponenten.**

In Abhängigkeit vom angewandten System erfolgen die einzelnen Schritte entweder separat oder zusammenhängend.

Eine Übersicht der möglichen Kombinationen bietet die Tabelle nach *Blunck und Haller*. Die in der Tabelle fett gedruckten Haftvermittler wurden bei Restaurationen innerhalb dieser Untersuchung verwendet [56]:

Haftsysteme kombiniert mit Total-etch-Technik	
Simultanes Ätzen von Schmelz und Dentin	
Adper Scotchbond MP (3M Espe)	Admira Bond (Voco)
Gluma Solid bond (Heraeus Kulzer)	Adper Scotchbond I (3M Espe)
OptiBond FL (Kerr)	Excite (Ivoclar Vivadent)
Solebond Plus (Voco)	Fantastic Flowwise (R-Dental)
Syntac®Classic (Ivoclar Vivadent)	Gluma Comfort 1 Descensör (Heraeus Kulzer)
	Gluma One Bond (Heraeus Kulzer)
	One Coat Bond (Coltene)
	OptiBond Solo Plus (Kerr)
	PQ1 (Ultradent)
	<b>Prime &amp; Bond NT (Dentsply DeTrey)</b>
	KF7-101-1 (Dentsply DeTrey)
	Solebond Mono (Voco)

Tab. 2.1: Haftsysteme kombiniert mit Total-Etch-Technik (Haller und Blunck [56])

<b>Selbststützende Haftsysteme</b>					
<p>Primer (mit Anmischen):                      A.R.T. Bond (Coltène)*                      Ecusit Primer/Mono (DMG)*                      Solohond Plus (Voco)*                      Primer (ohne Anmischen):                      Syntac@Classic (Ivoclar Vivadent)*                      OptiBond FL (Kerr)**</p> <p>* mit Maleinsäure (0,8 - 4%)                      ** ursprünglich Total-etch Technik,                      Primer enthält saure Monomere und                      kann Dentin konditionieren</p>	<p>Clearfil Liner                      Bond 2V                      (Kuraray)                      Resulcin                      AquaPrime &amp;                      MonoBond                      (Metz Dental)</p>	<p>AdheSE (Ivoclar                      Vivadent)                      Clearfil SE Bond                      (Kuraray)                      NRC, Prime                      (Dentsply De Trey)                      OptiBond Solo                      plus Self Etch                      Adhesive System                      (Kerr)</p>	<p>Etch (Degussa)                      Futurabond                      (Voco)</p>	<p>Adper Prompt                      L-Pop                      (3M Espe)                      One Up-Bond F                      (Tokuyama)                      XenoIII                      (Dentsply                      DeTrey)</p>	<p>AQ Bond                      (Sun Medical)                      iBond (Heraeus                      Kulzer)</p>

Tab. 2.2: Selbststützende Haftsysteme (Haller und Blunck [56])

## **2.4 Randspaltanalyse**

Zur Bewertung eines Füllungsmaterials werden diverse Kriterien herangezogen. Als wichtiges Prüfkriterium gilt der Randschluss, dessen Bedeutung für die Dauerhaftigkeit einer zahnärztlichen Restauration entscheidend ist [45, 51, 59, 75, 85, 147]. Die Untersuchungsmethoden haben sich von der lichtmikroskopischen Randuntersuchung über Luftdruck- und Bakterienpenetrationstests bis hin zu sehr komplexen Radioisotopenuntersuchungen entwickelt. Die gegenwärtig geläufigsten Verfahren zur Randspaltanalyse sind die Rasterelektronenmikroskopie und die Farbpenetration.

### **2.4.1 Rasterelektronenmikroskopische Randspaltanalyse**

Die Rasterelektronenmikroskopie erzeugt zweidimensionale hochauflösende Abbildungen der untersuchten Oberflächenstrukturen. Die Randstrukturen der Restaurationen können in der gesamten Länge beurteilt werden. Es handelt sich um ein indirektes Verfahren, das mit Hilfe von Replikas durchgeführt wird. So werden die Originalproben verschont und eine vergleichende Auswertung verschiedener Alterungsphasen der zu untersuchenden Füllung ist daher möglich [11]. Diese Untersuchung wird in zahlreichen Studien über marginale Adaptation vorgenommen [6, 24, 25, 26, 44, 49, 54, 76, 103, 109].

### **2.4.2 Farbpenetration**

Die Farbpenetration ist eines der häufigsten angewandten Verfahren bei der Untersuchung von marginalen Adaptationen [6, 7, 21, 24, 32, 51, 120, 157].

Die relativ einfache Technik und die große Sensibilität gegenüber minimalen Randundichtigkeiten [78] sowie der moderate Aufwand sind die hauptsächlichen Vorteile dieser Untersuchung.

Bei dieser direkten Methode werden die Zähne nach der Versiegelung mit wasserdichtem Lack in eine Farblösung (Methylenblau 5% [3, 6, 21, 171], oder andere Farbstoffe wie basisches Fuchsin [1, 2, 24, 137], Rhodamin [21], Toluidin [7] und zahlreiche andere Stoffe [21, 24, 76]), eingetaucht. Danach werden die Proben in mesio-distaler Richtung mit einer wassergekühlten Diamantensäge in Segmente so geschnitten, so dass in jedem Segment ein Anteil des zervikalen Füllungsrandes des approximalen Kastens der Füllung vorhanden ist.

In jeder Schnittebene des Präparates wird die Tiefe der Farbpenetration gemessen. Es wurden auch aufwändigere Methoden beschrieben, in welchen nach der Farbpenetration die gesamte Füllung entfernt und damit der gesamte Füllungsrand bewertet werden kann [35].

Mit der Kombination der rasterelektronmikroskopischen Untersuchung und der Farbpenetration können aussagekräftige Ergebnisse [92] erreicht werden.

### 3. Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden Studie war es, den Einfluss verschiedener Verarbeitungskonzepte auf die marginale Adaptation von Klasse-II-Komposit-Restaurationen in einer In-vitro-Untersuchung zu bestimmen. Nach der künstlichen Alterung der Proben durch Thermowechselbelastung und Kausimulation erfolgte eine quantitative Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop und eine Analyse der Farbpenetration der zu untersuchenden Restaurationen.

Im einzelnen sollten folgende Fragen untersucht werden:

- Wie wirkt sich die Kompatibilität der möglichen Kombinationen von zwei ormocerbasierten Kompositen und zwei Haftvermittlern kombiniert mit der Total-etch-Technik auf die marginale Adaptation aus?
- Bewirkt ein Unterschied im Lichtpolymerisationsmodus eine Änderung der Randqualität der Füllungen aus dem Material Quixfil mit dem Haftvermittler XenoIII, die in einer 4 mm dicken Schicht gelegt worden sind?
- Führt die klassische Inkrementtechnik (2 mm Schichtstärke) bei dem Material Quixfil zu besseren Füllungsändern?
- Lässt sich die Randqualität der Füllungen aus dem Material Quixfil in Kombination mit dem Haftvermittler Xeno III durch den Einsatz vom fließfähigem Komposit X Flow als Liner erhöhen?
- Wie ist die Randqualität der getesteten Materialien im Vergleich zu der Randqualität der Referenzgruppen?

## **4. Material und Methode**

### **4.1 Probenherstellung**

#### **4.1.1 Auswahl und Lagerung der Zähne**

Als Material für diese In-vitro-Untersuchung dienten insgesamt 80 annähernd gleich große, kariesfreie, füllungsfreie und intakte menschliche Molaren der bleibenden Dentition, mit vollständig oder fast vollständig abgeschlossenem Wurzelwachstum. Die Zähne wurden randomisiert auf 10 Versuchsgruppen zu je 8 Proben verteilt und in dem Zeitraum von der Extraktion bis zum Versuchsende in Ringerlösung mit 0,25% Natriumazid gelagert.

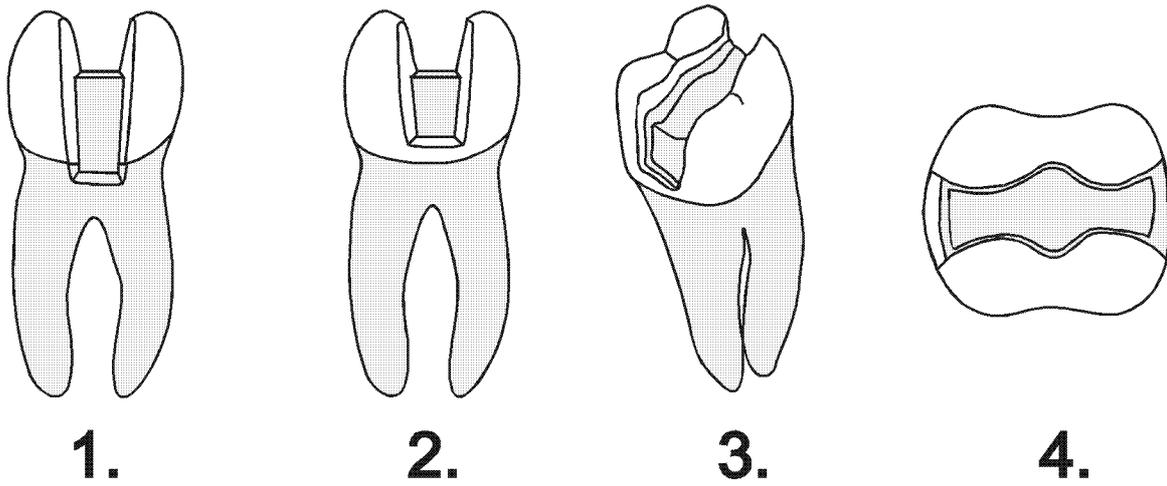
#### **4.2.2 Präparation der standardisierten Kavitäten**

Mit einem zylindrischen Diamantschleifkörper (80 µm Korngröße und mit abgerundeter Stirnseite) wurden standardisierte Klasse-II-Inlaykavitäten, mit leicht divergierendem Winkel (10 - 12 Grad) der gegenüberliegenden Kavitätenwände, unter maximaler Wasserkühlung präpariert. Die zervikale Präparationsgrenze des mesio-approximalen Kastens war schmelzbegrenzt und lag 1 - 1,5 mm koronal zu der Schmelz-Zement-Grenze. Die Präparationsgrenze des disto-approximalen Kastens war dentinbegrenzt und lag 1 - 1,5 mm apikal zu der Schmelz-Zement-Grenze (Abb. 4.1).

Die Breite der approximalen Extensionen in oro-vestibulärer Richtung betrug 5 mm. Okklusal wurde ein Isthmus mit 4 mm Breite und 3 - 3,5 mm Tiefe präpariert. Die Tiefe der approximalen Extensionen in Richtung zu den axialen Pulpawänden betrug 1,5 mm.

Die Innenwinkel der Kavitäten wurden abgerundet gestaltet und die Kavitäten wurden mit einem formkongruenten Feinkorndiamanten mit 25 µm Korngröße nachfiniert. Die Kavitätenränder wurden entlang der gesamten Zirkumferenz rechtwinklig (Butt-joint-Konfiguration) gestaltet. Auf eine Anschrägung wurde verzichtet, lediglich lose Schmelzprismen wurden entfernt.

Anschließend erfolgten nach einer Reinigung mit dem Druckluft-Wasser-Spray die Trocknung der Kavitäten und die visuelle Kontrolle der Präparationen und deren Ränder auf Imperfektionen. Falls solche gefunden worden sind, wurde nachpräpariert.



*Abb. 4.1: Schematische Darstellung - Ansicht des präparierten Zahnes,  
Standardisierte MOD-Inlay Kavität*

1. Dentinbegrenzter Kasten
2. Schmelzbegrenzter Kasten
3. Schräge Ansicht
4. Okklusale Ansicht

### 4.2.3.1 Übersicht der Variationen in den einzelnen Versuchsgruppen

Gruppe	Material	Adhäsiv	Lichtquelle [mW/cm <sup>2</sup> ]	Belichtungsdauer [Sek. pro Schicht]	Schichttechnik
APB 842	K-0137 A Ormocer (Dentsply)	Prime&Bond NT (Total-etch) (Dentsply)	800	40	Alle Schichten 2 mm
AKJ 842	K-0137 A Ormocer (Dentsply)	KJ7-101-1 (Total-etch) (Dentsply)	800	40	Alle Schichten 2 mm
BPB 842	K-0137 B Ormocer (Dentsply)	Prime&Bond NT (Total-etch) (Dentsply)	800	40	Alle Schichten 2 mm
BKJ 842	K-0137 B Ormocer (Dentsply)	KJ7-101-1 (Total-etch) (Dentsply)	800	40	Alle Schichten 2 mm
QX 524	QuiXfil (Dentsply)	Xenolll (Self-etch) (Dentsply)	500	20	dentin- begrenzter Kasten 4mm
QX 814	QuiXfil (Dentsply)	Xenolll (Self-etch) (Dentsply)	800	10	dentin- begrenzter Kasten 4mm
SPB 844	Surefil (Dentsply)	Prime&Bond NT (Total-etch) (Dentsply)	800	40	dentin- begrenzter Kasten 4mm
TSC 842	Tetric® Ceram (Vivadent)	Syntac® Classic (Total-etch) (Vivadent)	800	40	Alle Schichten 2 mm
QFX 814	X-Flow + QuiXfil (Dentsply)	Xenolll (Self-etch) (Dentsply)	800	10	dentin- begrenzter Kasten 4mm
QX 812	QuiXfil (Dentsply)	Xenolll (Self-etch) (Dentsply)	800	10	Alle Schichten 2 mm

*Tab. 4.1: Übersicht der Variationen in den einzelnen Versuchsgruppen*

### **4.2.3           Behandeln der präparierten Kavitätenoberfläche mit Haftvermittlersystemen**

Die Applikation des Haftvermittlers und das Vorbehandeln der präparierten Zahnoberfläche folgten strikt nach Herstellerangaben des jeweiligen Produktes. Die Übersicht der verwendeten Haftvermittler bietet Tab. 4.1.

In den Gruppen APB842, AKJ842, BPB842, BKJ842, SPB844 und TSC824 wurde die präparierte Zahnhartsubstanz vor dem Applizieren des Haftvermittlers nach der Total-etch-Technik behandelt. Dafür wurde Phosphorsäuregel mittels einer Spritze mit dünner Kanüle zuerst auf die Schmelzanteile und danach auf die Dentinanteile der Kavität appliziert. Nach einer Einwirkzeit von 30 Sekunden am Schmelz und 15 Sekunden am Dentin wurde die gesamte Kavität für 20 Sekunden mit einem Druckluftwasserspray gründlich abgespült. Anschließend wurde die präparierte Oberfläche mit dem Luftbläser vorsichtig getrocknet. Es wurde darauf geachtet, die Dentinanteile nicht zu übertrocknen.

In den Gruppen APB842, BPB842 und SPB844 wurde der Einkomponentenhaftvermittler Prime & Bond NT angewandt. Eine ausreichende Menge der entsprechenden Flüssigkeit wurde mit einem Pinsel auf der mit der Total-etch-Technik behandelten Zahnoberfläche aufgetragen. Es wurde darauf geachtet, daß der Haftvermittler minimal 20 Sekunden einwirken kann. Danach wurden die Überschüsse mit einem Luftblaser vorsichtig entfernt [74] und die ganze Fläche wurde auf gleichmäßigen Glanz überprüft. Der Haftvermittler wurde von okklusal für 10 Sekunden lichtgehärtet.

In den Gruppen AKJ842 und BKJ824 wurde der Einkomponentenhaftvermittler KJ7-101-01 identisch wie der Haftvermittler Prime & Bond NT appliziert.

In der Gruppe TSC824 wurde ein Mehrfläschchensystem Syntac®Classic eingesetzt. Als erstes wurde die konditionierte Zahnoberfläche mit dem Syntac®Primer gleichmäßig benetzt und nach einer Einwirkzeit von 15 Sekunden wurde mit dem Luftbläser der Primerüberschuss entfernt. Anschließend erfolgte die Applikation (10 Sekunden) des Syntac®Adhesive. Nach dem Verblasen des Überschusses wurde als letztes Heliobond aufgetragen und für 20 Sekunden lichtgehärtet.

Selbstätzende Haftsysteeme erlauben es auf die Ätztechnik zu verzichten. Das Haftvermittlersystem XenoIII (verwendet in den Gruppen QX814, QX524, QFX814 und QX812) wurde vor der Applikation aus zwei Komponenten zusammen gemischt und danach mit einem Pinsel auf die präparierte Zahnhartsubstanz der Kavität aufgetragen. Nach der Einwirkzeit von 20 Sekunden und dem Verblasen der Überschüsse folgte die Photopolymerisation für 20 Sekunden. Anschließend wurde die Kavität wiederum auf gleichmäßigen Glanz visuell überprüft.

#### **4.2.4 Applikation des lichthärtenden Kompositmaterials und die Photopolymerisation**

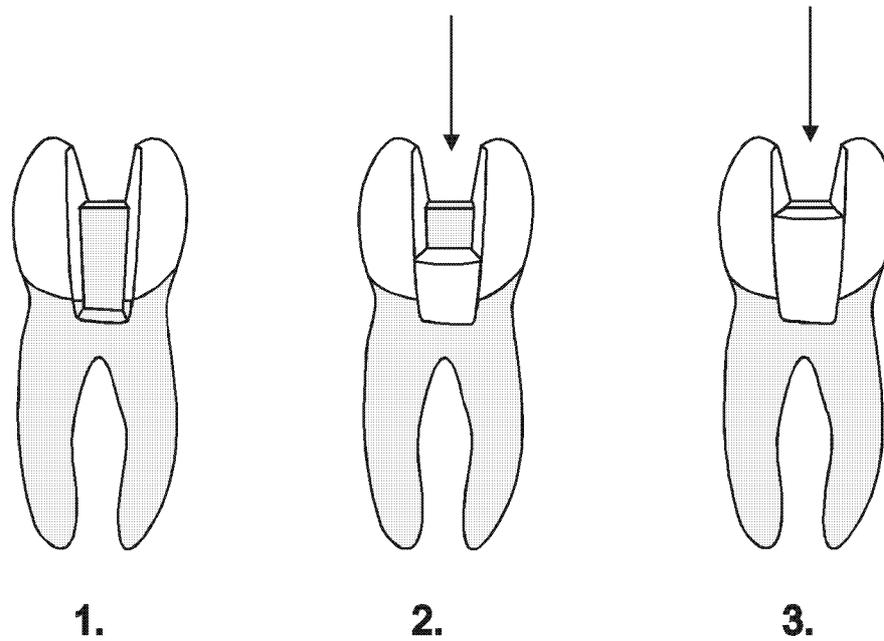
Die Leistung der beiden Polymerisationslampen wurde vor dem Lichthärten mit einem Messgerät (Demetron Radiometer) geprüft, so dass die Lichtintensität von 800 mW/cm<sup>2</sup> Elipar Highlight (ESPE), bzw. 500 mW/cm<sup>2</sup> Astralis 5 (Vivadent) gewährleistet war.

In der Gruppe QFX814 wurde ein Liner aus fließfähigem Komposit XFlow an alle waagrechten Flächen der Kavität in einer Schichtstärke von ca. 0,5 mm aufgetragen und anschließend für 40 Sekunden von okklusal polymerisiert.

Bei der Applikation der einzelnen Schichten des Füllungsmaterials wurde darauf Wert gelegt, jedes Inkrement der Restauration sorgfältig mit einem Stopfinstrument (Kugelstopfer und Heidemannspatel) an die Kavitätenwände zu applizieren.

Der Dentinkasten der Kavitäten wurde gruppenabhängig mittels zwei verschiedenen Techniken gefüllt (siehe Tab 4.1: Schichttechnik 2 mm oder 4 mm).

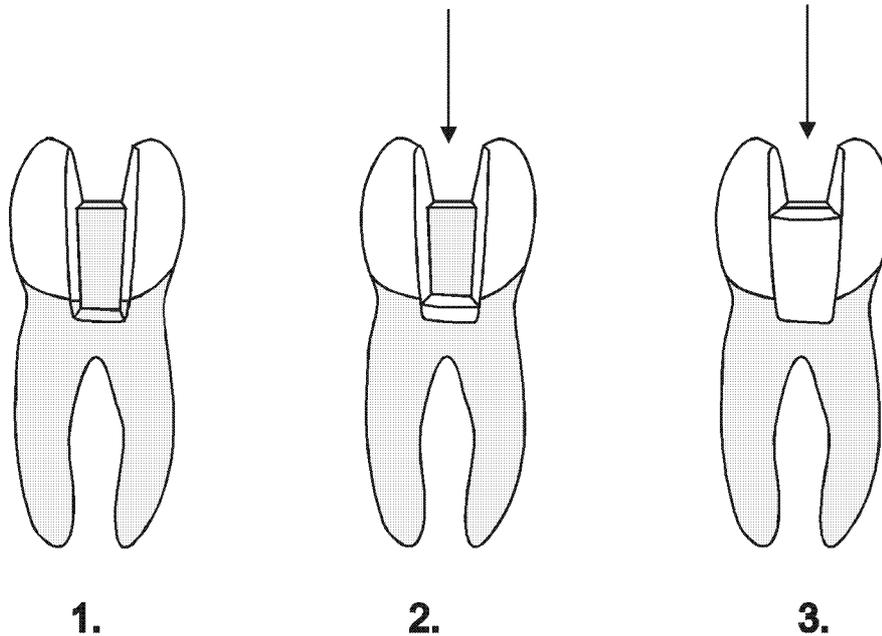
In den Gruppen APB842, BPB842, AKJ842, BKJ842, QX812, TCS842 wurde der Dentinkasten mit zwei annähernd gleich großen Schichten bis zur Isthmushöhe gefüllt (vergl. Abb.4.2).



**Abb. 4.2:** Schematische Darstellung der Reihenfolge der Schichten im dentinbegrenztem Kasten und die Position des Lichtleiters der Polymerisationslampe in den Gruppen APB842, BPB842, AKJ842, BKJ842, TSC842 und QX812.

1. Präparierte Kavität wurde mit Haftvermittlersystem vorbehandelt.
2. Die erste Schicht reicht annähernd zu der Hälfte der Höhe des approximalen Kastens zum Isthmusboden – Lichtvektor der Polymerisation von okklusal.
3. Die zweite Schicht wird auf die erste Schicht appliziert, dentinbegrenzter Kasten wird bis zur Isthmushöhe gefüllt – Lichtvektor der Polymerisation von okklusal.

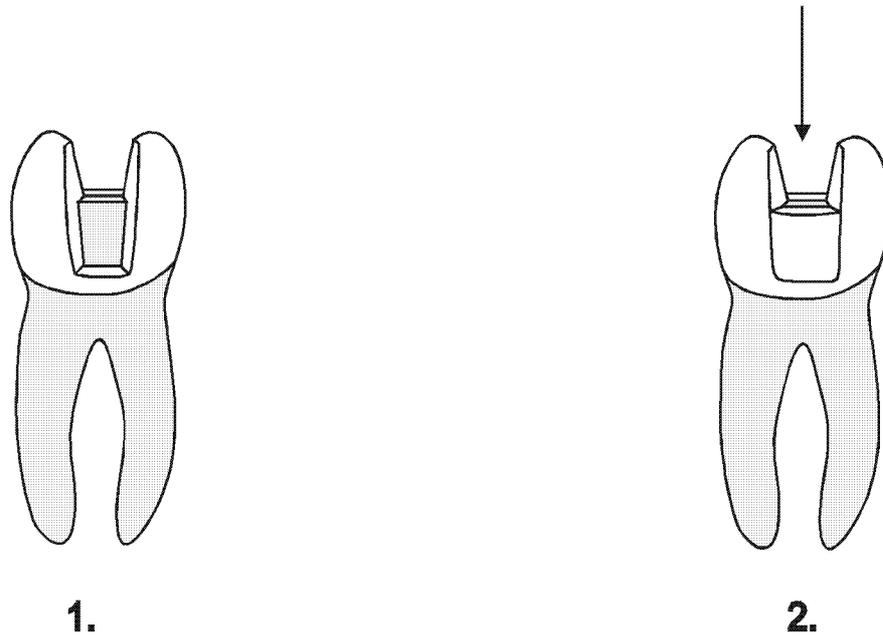
In den Gruppen QX814, QX524, QFX814, SPB844 wurde die Kastenhöhe mit Hilfe einer PA-Sonde gemessen und die erste Schicht wurde so gestaltet, dass die zweite Schicht 4 mm betrug (Abb. 4.3).



**Abb. 4.3:** Schematische Darstellung der Reihenfolge der Schichten im dentinbegrenztem Kasten in den Gruppen QX814, QX524, QFX814, SPB844 und Position des Lichtleiters der Polymerisationslampe.

1. Präparierte Kavität wurde mit Haftvermittlersystem vorbehandelt.
2. Die erste Schicht wurde so gewählt, dass zweite Schicht 4 mm beträgt - Lichtvektor der Polymerisation von okklusal.
3. Die zweite Schicht ist 4 mm dick - Lichtvektor der Polymerisation von okklusal.

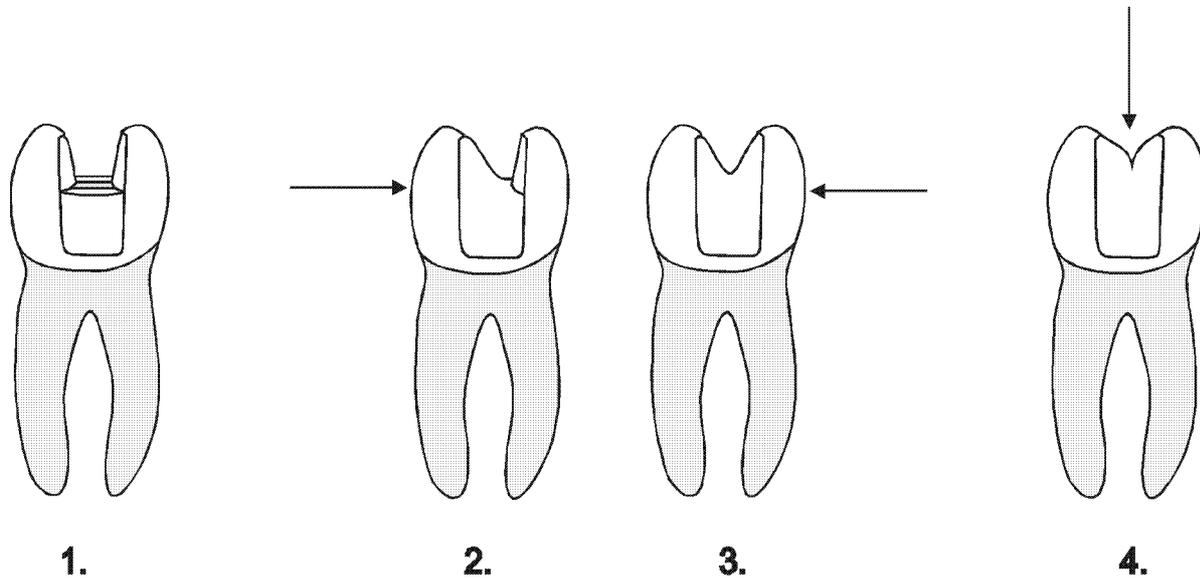
Der schmelzbegrenzte Kasten wurde in allen Gruppen identisch gefüllt (Abb. 4.4).



*Abb.4.4: Schematische Darstellung der Schichttechnik im schmelzbegrenzten Kasten und die Position des Lichtleiters der Polymerisationslampe.*

1. Kavität vorbehandelt mit Haftvermittlersystem, dentinbegrenzter Kasten bereits gefüllt.
2. Schmelzbegrenzter Kasten wird mit einem Inkrement bis zur Isthmushöhe gefüllt - Lichtvektor der Polymerisation von okklusal.

Der okklusale Anteil der Kavität, sowie der Anteil der beiden approximalen Extensionen von der Höhe des Kavitätenbodens bis zur endgültigen Füllhöhe auf Okklusalebene, wurden mit insgesamt drei Inkrementen gefüllt (Abb. 4.5).



**Abb. 4.5:** Schematische Darstellung der Schichten von der Isthmushöhe zu der okklusalen Fläche und die Position des Lichtleiters der Polymerisationslampe

1. Beide approximalen Kästen bis zur Isthmushöhe gefüllt.
2. Schicht wurde von der Grenzfläche Isthmusboden - Kavitätenwand (in mesiodistaler Richtung) schräg zur okklusalen Begrenzung der gegenüberliegenden Kavitätenwand hochgezogen, Lichtvektor horizontal zur Zahnachse.
3. Schicht wurde von der Mitte der Schrägfläche der zuvor eingebrachten Portion in entgegengesetzter Schräge bis zur okklusalen Begrenzung der kontralateralen Kavitätenwand platziert - Lichtvektor der Polymerisation horizontal zur Zahnachse.
4. Die Okklusalfäche wurde mit einem Inkrement modelliert - Lichtvektor der Polymerisation von okkusal.

#### **4.2.5 Ausarbeiten und Politur**

Die grobe Ausarbeitung erfolgte mit einem Finierdiamanten der Korngröße 40  $\mu\text{m}$  unter maximaler Wasserkühlung. Mit aluminiumoxidbeschichteten Sof-Lex-Scheibchen absteigender Körnung (M, F und SF) wurden die Füllungen unter Wasserkühlung nachbearbeitet und anschließend wurden alle Ränder auf einen tastbaren Übergang kontrolliert. Die Überschussentfernung erfolgte unter Scho-

nung der Zahnhartsubstanz. Anschließend wurden durch Bohrungen Nummerierungen der Proben und Markierungskerben (Anfangs- und Endpunkt für die Vermessung am REM, Abb. 4.9) angebracht.

#### 4.2.6 Feuchtigkeitslagerung

Die Proben wurden nach der Politur der Füllungen 48 Stunden (37°C) in Ringerlösung zwischengelagert, um die hygroskopische Expansion des Komposits zu berücksichtigen [36].

#### 4.2.7 Thermocycling und mechanische Belastung

Nach 48 Stunden Lagerung in Ringerlösung (37 °C) wurden die restaurierten Zähne durch Thermowechselbelastung und mechanische Belastung künstlich gealtert. Dies geschieht indem man die Proben mit Hilfe des Thermowechselbads automatisch abwechselnd in ein Wasserbad mit 5 °C kaltem und dann in ein Wasserbad mit 55 °C warmes Wasser taucht. So wurden insgesamt 2.000 Zyklen mit einer jeweiligen Verweildauer von 30 Sekunden durchlaufen (Abb.4.6).

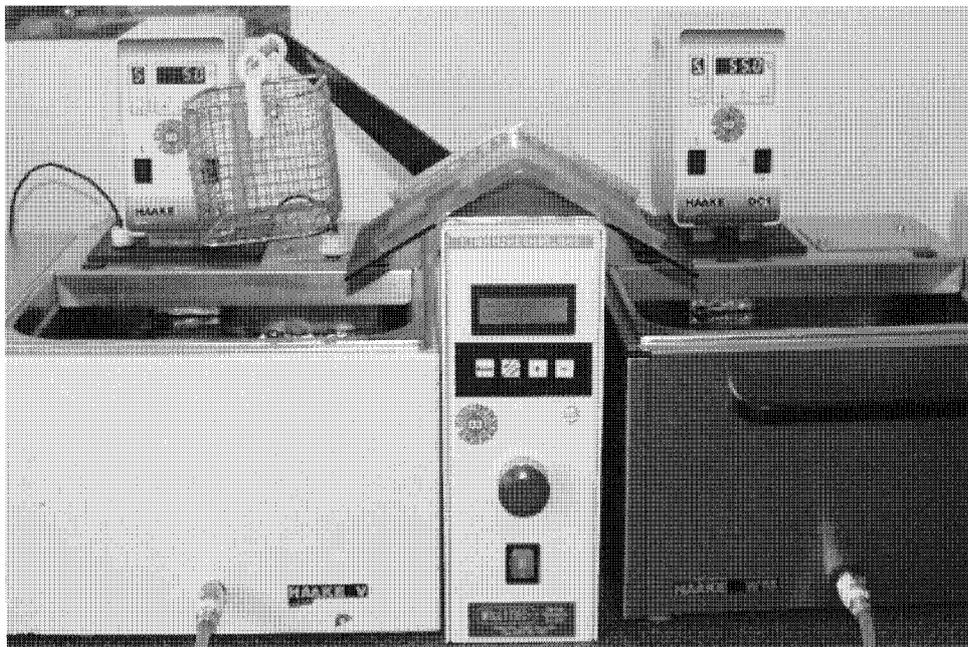
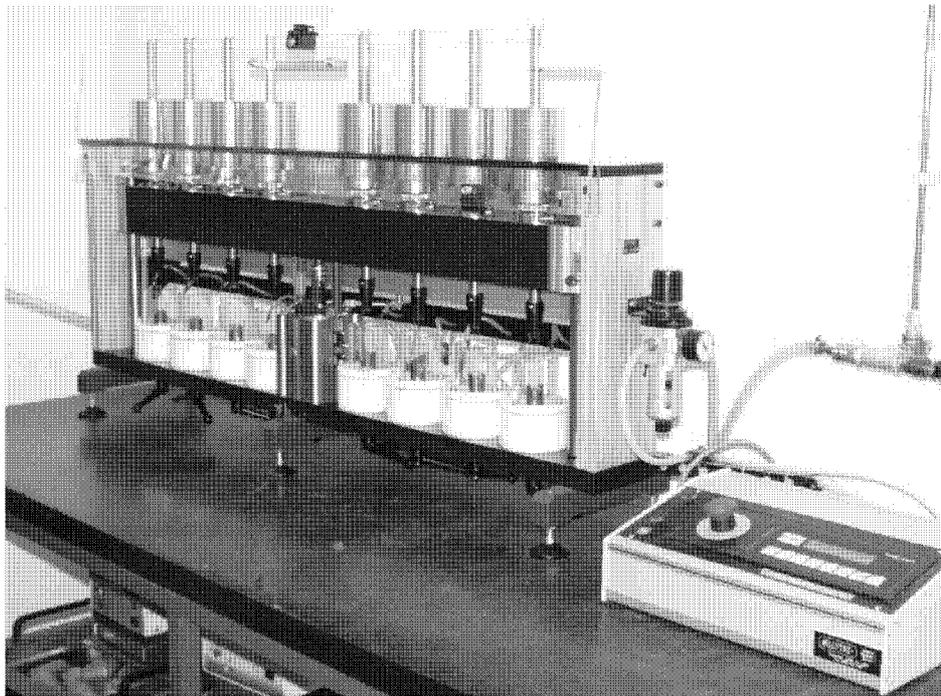


Abb. 4.6: Thermowechselbad

Für die mechanische Belastung war es notwendig die Zähne in speziellen Probeträgern zu verankern. Dabei wurde bei jedem Zahn darauf geachtet, dass die Okklusalfäche parallel zur Probenträgerfläche ausgerichtet ist.

In der nachfolgenden mechanischen Alterung im Kausimulator (Abb. 4.7) [92, 93] wurden die Zähne für 50.000 Zyklen mit einer vertikal einwirkenden Kraft von 50 N und einer Wiederholfrequenz von 1 Hz in der zentralen Fossa der Restauration belastet. Als Antagonisten dienten Steatit-Kugeln mit einem Durchmesser von 5 mm.

Steatit ist in der Härte und dem Verschleißverhalten mit natürlichem Zahnschmelz vergleichbar [34]. Die Probenzähne wurden in den Prüfkammern des Kausimulators derart montiert, dass eine stabile okklusal-vertikale Kraffteinteilung durch die antagonistische Steatitkugel möglich war. Durch die mittelbare Befestigung der Proben auf Hartgummidämpfern ergab sich eine geringe Gleitbewegung des Zahnes zwischen dem ersten Kontaktpunkt des Antagonisten auf den Dreieckswülsten bis zur zentralen Fossa [92]. Während der mechanischen Belastung waren die Zähne in den Probenkammern immer in Ringerlösung eingetaucht.



*Abb. 4.7: Kausimulator*

## 4.3 Untersuchung der Proben

### 4.3.1 Randspaltanalyse im Rasterelektronenmikroskop

#### 4.3.1.1 Vorbereiten der Replika

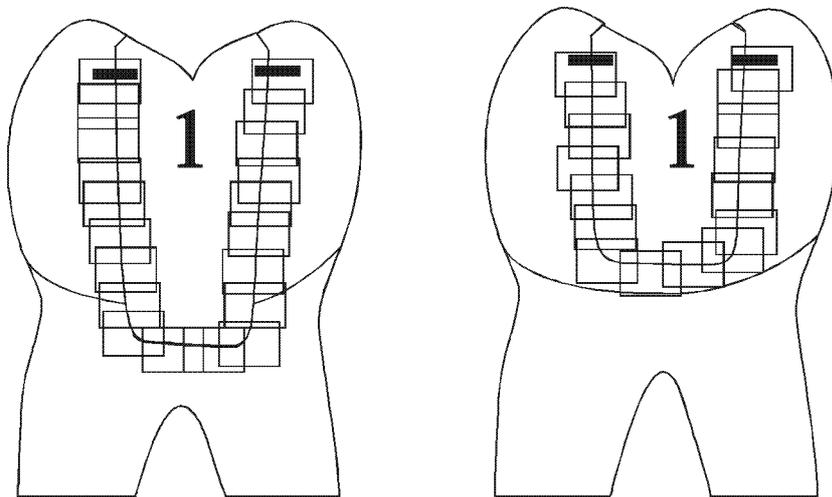
Nach der künstlichen Alterung wurde eine Abformung beider approximalen Flächen des Zahnes vorgenommen (Impregum F, ESPE/Seefeld). Der 24-stündigen Lagerung folgte das Ausgießen der Abformungen mit dem Modellepoxyharz (EPOXIE-DIE, Ivoclar, Schaan/FL). Die so gewonnene Replika wurden mit leitfähigem Karbonkleber auf speziellen Probeträgern für das Rasterelektronenmikroskop befestigt und in der Sputteranlage (POLARON SEM Autocoating Unit E 5200) durch eine Goldbeschichtung (durchschnittlich 20 nm Goldschichtstärke) leitfähig gemacht (Abb. 4.8).



Abb. 4.8: Sputteranlage

### 4.3.1.2 Quantitative Randspaltanalyse

Das adhäsive Interface zwischen Komposit und Zahnhartsubstanzen für die direkten plastischen Füllungen wurde mit Hilfe des etablierten Verfahrens der quantitativen und qualitativen Randanalyse [11, 151, 152] bei 200-facher Vergrößerung in einem Rasterelektronenmikroskop (AMR 1200, Leitz/Wetzlar) segmentweise untersucht und mit Hilfe der Software Quanti-Gap<sup>®</sup> vermessen. Zur quantitativen Randanalyse diente die im Programm enthaltene Längenmodus-Funktion. Damit kann der Füllungsrand mit einer Linie auf dem Bildschirm nachgezogen werden. Die Bewertungskriterien konnten an jeder beliebigen Stelle des Randabschnittes geändert werden. Jeder Bereich des Füllungsrandes wurde somit einem bestimmten Kriterium zugeordnet. Die Länge aller Einzelbewertungen wurde von Quanti-Gap<sup>®</sup> aufsummiert und gespeichert (Abb. 4.9).



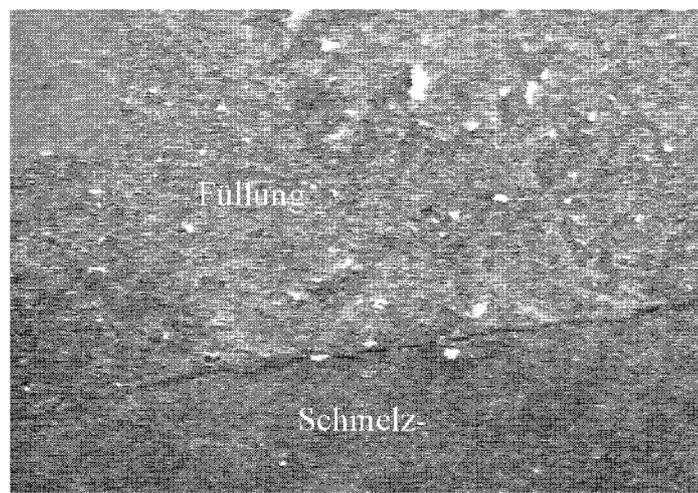
*Abb. 4.9: Schematische Darstellung der segmentweisen Untersuchung der Replika des dentinbegrenzten und schmelzbegrenzten Kastens im Rasterelektronenmikroskop*

Schmelz- und dentinbegrenzte Randabschnitte im approximalen Bereich wurden getrennt ausgewertet (Abb. 4.5). Der Randmorphologie wurden vier Qualitätskriterien zugeordnet (siehe Tab. 4.2) und deren prozentuale Verteilung innerhalb der jeweiligen Abschnitte der Zahnhartsubstanzen bestimmt.

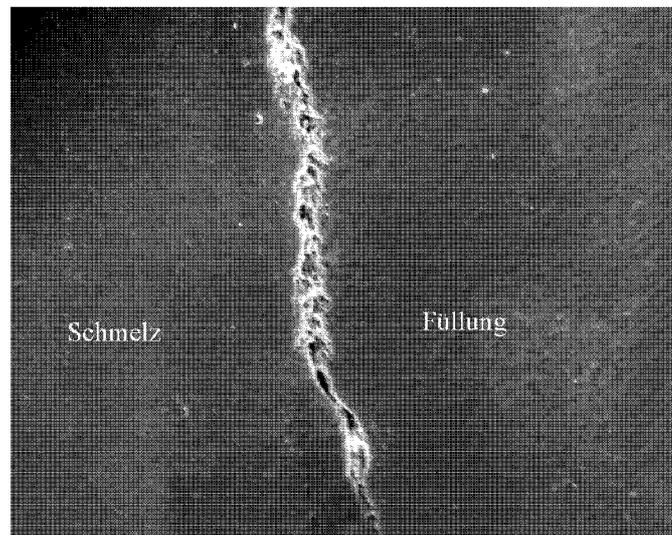
### 4.3.1.3 Bewertungskriterien für die Beurteilung der Randqualität

Kriterium	Beschreibung
<b>Perfekter Rand</b>	Der Übergang zwischen Restaurationsmaterial und Zahnhartsubstanz zeigt eine glatte Oberfläche ohne jegliches Anzeichen für eine Kontinuitätsunterbrechung (Abb.4.10)
<b>Randspalt</b>	Der Übergang zwischen Restaurationsmaterial und Zahnhartsubstanz zeigt einen eindeutigen Spalt aufgrund eines adhäsiven Versagens (Abb.4.11)
<b>Quellung</b>	Der Übergang zwischen Restaurationsmaterial und Zahnhartsubstanz zeigt eine wulstartig erhabene Randstruktur aufgrund von Quellungsphänomenen (Abb.4.12)
<b>Artefakt</b>	Der Übergang zwischen Restaurationsmaterial und Zahnhartsubstanz kann nicht exakt beurteilt werden (z.B. wegen Füllungsüberschüssen oder Fehlern in der Replikaherstellung).

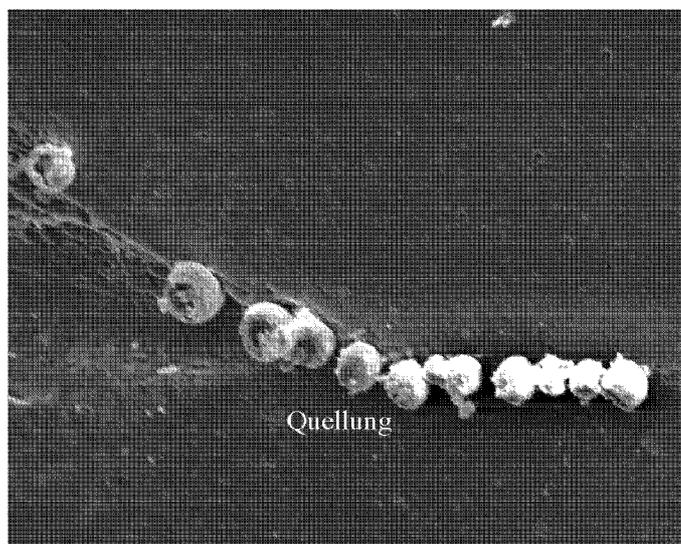
*Tab. 4.2: Kriterien für die Beurteilung der Randqualität adhäsiver Restaurationen im Rasterelektronenmikroskop*



*Abb.4.10: Kriterium perfekter Rand (200-fache Vergrößerung)*



*Abb.4.11: Kriterium Randspalt (200-fache Vergrößerung)*



*Abb.4.12: Kriterium Quellung (500-fache Vergrößerung)*

## **4.3.2 Farbpenetrationsuntersuchung**

### **4.3.2.1 Vorbereitung der Proben**

Für die Farbpenetration ist es notwendig alle Flächen der untersuchten Molaren bis auf ca. 1 mm zum Füllungsrand mit mehreren Schichten Nagellack zu versiegeln um das Eindringen der Farbe nur über die undichten Füllungsänder zu gewährleisten. Die apikalen Bereiche der Wurzeln wurden in den Probehältern für Kausimulation von allen Seiten mit Komposit befestigt und dadurch auch gegen retrogrades Eindringen der Farblösung gesichert.

### **4.3.2.2 Farbpenetration**

Als Farbstoff für den Farbpenetrationstest wurde 5% Methylenblaulösung verwendet. Die Proben wurden in die Lösung so eingetaucht, dass sie an keiner Stelle die Lösungsbehälterwände berührten, um so ein gleichmäßiges Penetrieren des Farbstoffes zu ermöglichen.

Nach 15 Minuten wurden die Proben mit Leitungswasser gründlich abgespült.

### **4.3.2.3 Herstellen der Schnitte**

Die untersuchten Molaren wurden aus den Probehältern entfernt und in einem transparentem Autopolymerisat (Technovit® 4004, Fa. Kulzer) eingebettet um einen guten Halt in der Säge zu ermöglichen.

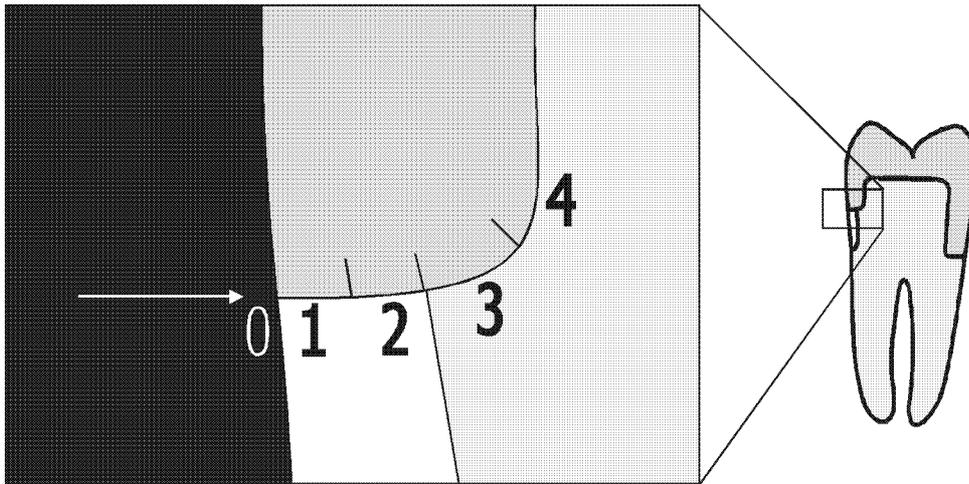
Dabei wurden die quaderförmigen Vertiefungen eines Kunststoffeiswürfelformers als Hohlform für den Einbettvorgang benutzt. Nach der Aushärtung des Kunststoffes wurde die Projektion der okklusalen und approximalen Füllungsmitte auf der Oberfläche mit einem wasserfestem Stift markiert.

Mit einer wassergekühlten Diamantsäge (Vari Cut Saw® VC-50, Fa. Leco/USA, Sägeblattdicke 4 mm) wurden durch zwei Sägeschnitte in der mesio-distalen Richtung drei Fragmente des Zahnes im Bereich der Füllung hergestellt. Dadurch wurden jeweils 4 Messpunkte im Schmelz und 4 Messpunkte im Dentin erreicht.

#### 4.3.2.4 Bewertungskriterien für die Beurteilung der Schnitte im Auflichtmikroskop

Die Schnittpräparate wurden im Auflichtmikroskop (Zeiss Stemi SV 12) bei 40-facher Vergrößerung nach folgendem Schema bewertet.

Bewertungskriterien im Schmelz:

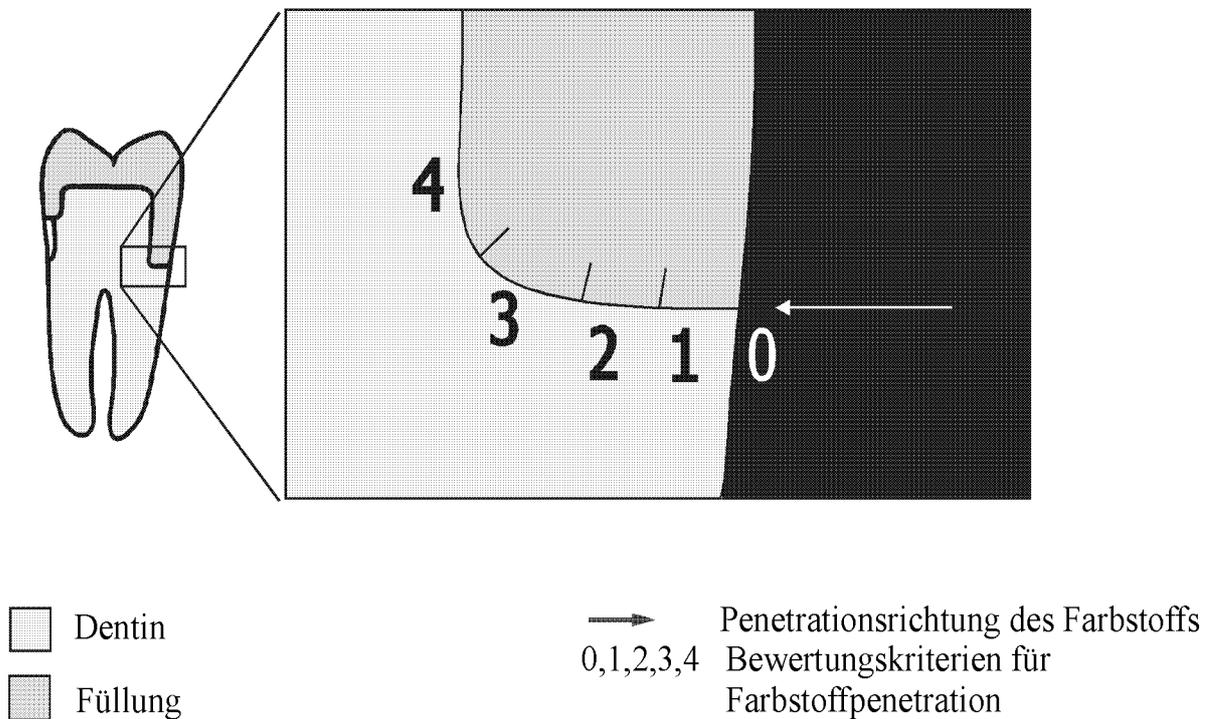


-  Dentin
  -  Schmelz
  -  Füllung
- Penetrationsrichtung des Farbstoffs  
0,1,2,3,4 Bewertungskriterien für Farbstoffpenetration

- 0 = keine Farbpenetration
- 1 = Farbpenetration bis maximal zu 1/2 der Distanz vom Kavitätenrand zur Schmelz-Dentin-Grenze
- 2 = Farbpenetration über die 1/2 der Distanz vom Kavitätenrand zur Schmelz-Dentin-Grenze bis maximal zur Schmelz-Dentin-Grenze
- 3 = Farbpenetration erstreckt sich über die Schmelz-Dentin-Grenze bis hin zur axialen Pulpawand ohne Beteiligung der axialen Pulpawand
- 4 = Farbpenetration mit Beteiligung der axialen Pulpawand

*Abb. 4.13: Bewertungskriterien für Farbpenetration im Schmelz*

Bewertungskriterien im Dentin:



0 = keine Farbpenetration

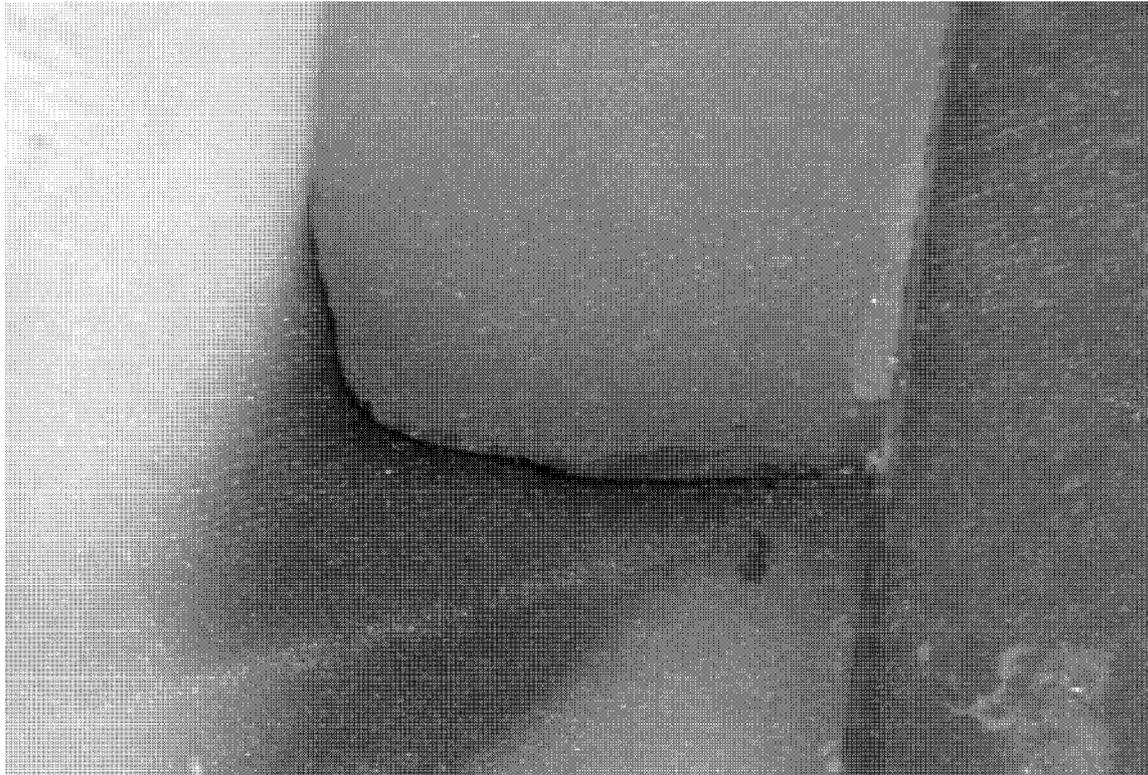
1 = Farbpenetration bis maximal  $1/3$  der Distanz vom Kavitätenrand zur axialen Pulpawand

2 = Farbpenetration mehr als  $1/3$  der Distanz vom Kavitätenrand zur axialen Pulpawand und weniger als  $2/3$  der Distanz vom Kavitätenrand zur axialen Pulpawand

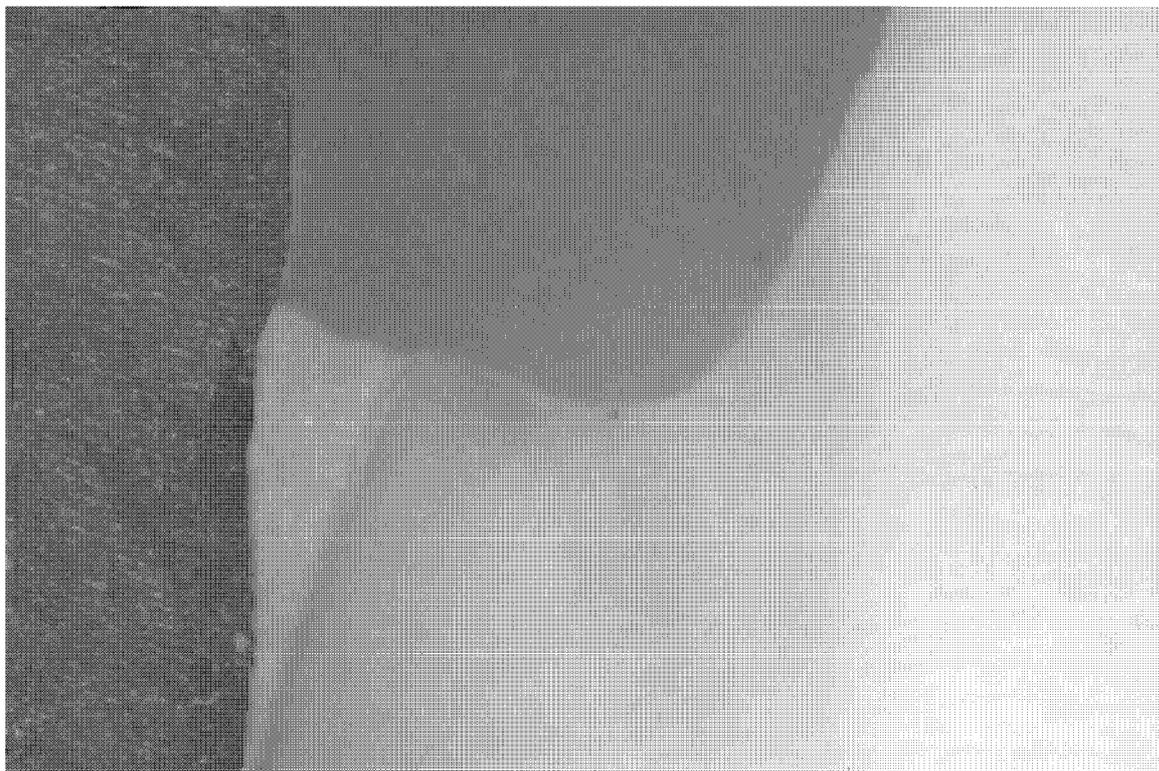
3 = Farbpenetration erstreckt sich über  $2/3$  der Distanz vom Kavitätenrand bis hin zur axialen Pulpawand, ohne Beteiligung der axialen Pulpawand

4 = Farbpenetration mit Beteiligung der axialen Pulpawand

*Abb. 4.14: Schematische Darstellung der Bewertungskriterien für Farbpenetration im Dentin*



*Abb. 4.15: Farbpenetration im Dentin, Beteiligung der axialen Wand, Kriterium 4.*



*Abb. 4.16: Farbpenetration im Schmelz, Keine Verfärbungen sichtbar, Kriterium 0.*

## 5. Ergebnisse

### 5.1 Auswertung der Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop

Die Auswertung des Füllungsrandes erfolgte nur an den Approximalflächen der Restaurationen.

Der Randschluss der Füllungen wurde auf folgende Qualitätskriterien hin untersucht:

- perfekter Rand,
- Randspalt,
- Quellung,
- Überschuss / Artefakt.

Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe der Statistik-Software SPSS für Windows (SPSS Inc. Chicago/USA) ausgewertet.

Es wurden die Mittelwerte und die Standardabweichungen der prozentuellen Verteilung der einzelnen Randkriterien getrennt für schmelz- und dentinlimitierte Segmente für beide approximale Kästen bestimmt. Durch *One-way-ANOVA* Verfahren und den *Tukey (HSD)* Post-Hoc-Test wurden die Ergebnisse auf Signifikanz der Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen getestet. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0,05$  gewählt.

Die Beurteilungskriterien „Quellung“ und „Artefakt“ traten bei der Randanalyse nur zu einem sehr geringen Prozentsatz auf ( $< 5\%$ ) und wurden daher nicht berücksichtigt.

Die Auswertung der Kriterien „perfekter Rand“ und „Randspalt“ ist in drei Abschnitten des Füllungsrandes untergliedert:

- schmelzbegrenzter Kasten,
- Schmelzanteil des dentinbegrenztes Kastens,
- Dentinanteil des dentinbegrenztes Kastens.

Die Mittelwerte, Standardabweichungen und statistisch signifikanten Unterschiede der prozentualen Verteilung der Randkriterien perfekter Rand und Randspalt, getrennt für schmelz- und dentinlimitierte Randsegmente, sind in den Tabellen 5.1 bis 5.3 aufgelistet.

### 5.1.1 Ergebnisse der Randanalyse im schmelzbegrenzten Kasten

REM Auswertung im schmelzbegrenzten Kasten						
Gruppe	Perfekter Rand			Randspalt		
	Mittelwert	Standard-abweichung	Homogene Untergruppen	Mittelwert	Standard-abweichung	Homogene Untergruppen
ABP842	85,7	6	a,b	12,4	5,2	a,b
AKJ842	85,4	11,6	a,b	13,6	10	a,b
BPB842	87,1	4,5	a,b	8,8	4,6	a,b
BKJ842	86,9	9,3	a,b	10,7	8,9	a,b
QX524	78,3	10	a	16,5	10,6	a,b
QX814	78,3	13,2	a	21,7	13,2	b
SPB844	77,4	14,3	a	21,7	14,4	b
TSC842	97,2	2,3	b	2,5	2,5	a
QFX814	87,3	4,2	a,b	12,7	4,2	a,b
QX812	84,4	3,2	a,b	15,6	3,2	a,b

*Tab. 5.1: Randqualität des adhäsiven Interface zwischen der Restauration und Schmelz*

Die Randqualität des adhäsiven Interface (Tab. 5.1) zwischen der Restauration und Schmelz wird ausgedrückt als prozentualer Mittelwert mit Standardabweichung. Durch diese Zahl wird der prozentuale Anteil des Kriteriums zur der Gesamtlänge des untersuchten Randabschnitts angegeben. Die statistische Signifikanz der Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen ist durch homogene Untergruppen angezeigt ( $p < 0,05$ ).

Die marginale Adaptation der Restaurationen zum Zahnschmelz wies nach künstlicher Alterung einen unterschiedlich hohen Prozentsatz an perfekten Rändern (77,4 - 97,2%) und Randspalt (2,5 - 21,7%) auf.

Die Auswertung der Randqualitäten im schmelzbegrenzten Kasten ergab signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen.

Im Vergleich der getesteten Gruppen war der Anteil an perfektem Rand in den Gruppen SPB844 (Surefil, Prime&Bond NT), QX814, QX524 (Quixfil, Xenofil), signifikant niedriger (77,4 -78,3%) als in der Gruppe TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic), wo sich der höchste Anteil an perfektem Rand (97,2%) und feststellen ließ.

Der prozentuale Anteil an Randspalt war mit 21,7% in der Gruppe SPB844 (Surefil, Prime & Bond NT) und mit 21,7% in der Gruppe QX814 (Quixfil, Xenofil) signifikant höher als in der Gruppe TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic), wo der Randspaltanteil nur in 2,5% aufgetreten ist.

### 5.1.2 Ergebnisse der Randanalyse im Schmelzanteil des dentinbegrenzten Kastens

REM Auswertung Schmelzanteil des dentinbegrenzten Kastens						
Gruppe	Perfekter Rand			Randspalt		
	Mittelwert	Standard-abweichung	Homogene Untergruppen	Mittelwert	Standard-abweichung	Homogene Untergruppen
ABP842	87,5	5,6	b,c	12,1	5,2	a
AKJ842	84,1	5,9	b,c	13,7	4,2	a
BPB842	80,3	7,9	a,b	15,5	9,3	a
BKJ842	91,3	5,8	c	7,2	5,9	a
QX524	85,5	7,2	b,c	13	6,1	a
QX814	86,8	10,4	b,c	12,6	10,5	a
SPB844	72,2	5,1	a	27,3	5,7	b
TSC842	93,8	3,3	c	5,6	2,4	a
QFX814	86,8	5,4	b,c	12,6	5,6	a
QX812	83,3	7,3	b,c	15,3	6,9	a

*Tab. 5.2: Randqualität des adhäsiven Interface zwischen der Restauration und Schmelz im dentinbegrenztem Kasten*

Die Randqualität des adhäsiven Interface zwischen der Restauration und Schmelz im dentinbegrenztem Kasten wird ausgedrückt als prozentualer Mittelwert mit Standardabweichung. Durch diese Zahl wird der prozentuale Anteil des Kriteriums zur der Gesamtlänge des untersuchten Randabschnitts angegeben. Die statistische Signifikanz der Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen ist durch homogene Untergruppen angezeigt ( $p < 0,05$ ).

Die Randqualität des Schmelzanteils im dentinbegrenzten Kasten war vergleichbar (perfekter Rand 72,2% - 93,8%, Randspalt 5,6 - 27,3) mit den Resultaten im rein schmelzbegrenzten Kasten (perfekter Rand 77,4 - 97,2%, Randspalt 2,5 - 21,7%).

Die Auswertung der Randqualitäten im schmelzbegrenzten Kasten ergab signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen.

Der Anteil an perfektem Rand war in den Füllungen der Gruppe BKJ842 (ormocerbasiertem Komposit B, Haftvermittler KJ-101-07) mit 91,3% und der Gruppe TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic) mit Rand 93,8% signifikant höher als bei den Füllungen der Gruppe BPB842 (ormocer-basiertem Komposit B, Haftvermittler Prime & Bond NT, perfekter Rand 80,3%) und den Füllungen der Gruppe SPB844 (Surefil, Prime & Bond NT, perfekter Rand 72,2%).

Der prozentuale Anteil an Randspalt in der Gruppe SPB844 lag mit 27,3% signifikant höher als in den anderen untersuchten Gruppen (5,6 - 15,5%).

Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen QX524, QX814, QFX814, QX812 (Quixfil, XenoIII), wo die Schichttechnik und Polymerisationsintensität und -zeit variierten.

### 5.1.3 Ergebnisse der Randanalyse im Dentinanteil des dentinbegrenzten Kastens

REM Auswertung Dentinanteil des dentinbegrenzten Kastens						
Gruppe	Perfekter Rand			Randspalt		
	Mittelwert	Standard-abweichung	Homogene Untergruppen	Mittelwert	Standard-abweichung	Homogene Untergruppen
ABP842	77,2	14,3	b,c,d	21,1	15,2	a,b
AKJ842	81,3	18,3	b,c,d	16,8	16,8	a,b
BPB842	80,6	5,6	b,c,d	19,4	5,6	a,b
BKJ842	87,9	7,1	d	9,9	9	a
QX524	71,1	9,5	a,b,c,d	28,2	9,2	a,b
QX814	70,9	9	a,b,c,d	27,7	8,8	a,b
SPB844	56,9	9,8	a	33,4	17,4	b
TSC842	86,3	11,8	c,d	10,6	8,3	a
QFX814	68,8	8,1	a,b,c	24,1	8,3	a,b
QX812	63,1	14	a,b	31,1	12,3	b

*Tab.5.3: Randqualität des adhäsiven Interface zwischen der Restauration und Dentin im dentinbegrenztem Kasten*

Die Randqualität des adhäsiven Interface zwischen der Restauration und Dentin im dentinbegrenztem Kasten wird ausgedrückt als prozentualer Mittelwert mit Standardabweichung. Der prozentuale Anteil des Kriteriums wird zur der Gesamtlänge des untersuchten Randabschnitts angegeben. Die statistische Signifikanz der Unterschiede zwischen den untersuchten Gruppen ist durch homogene Untergruppen angezeigt ( $p < 0,05$ ).

Im dentinbegrenzten Anteilen war die Randqualität der untersuchten Restaurationen niedriger (perfekter Rand 56,9 - 87,9%, Randspalt 9,9 - 33,4%) als in schmelzbegrenzten Anteilen der untersuchten Kavitätenbereiche (siehe Tab.5.1 und Tab. 5.2).

Der Anteil an perfektem Rand war in der Gruppe BKJ842 (ormocerbasiertes Komposit B, Haftvermittler KJ-101-01) mit 87,9% signifikant höher als in den

Gruppen SPB844 (Surefil, Prime & Bond NT, perfekter Rand mit 56,9%, QFX814 (Quixfil, X-Flow, XenoIII) mit 68,8% und QX812 (Quixfil, XenoIII) mit 63,1%. Der Anteil an perfektem Rand war in der Gruppe TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic) mit 86,3% signifikant höher als in den Gruppen SPB844 und QX812 (siehe oben).

Der Anteil an perfektem Rand war in den Gruppen APB842 (ormocerbasiertes Komposit A, Prime & Bond NT) mit 77,2%, AKJ842 (ormocerbasiertes Komposit A, KJ7-101-01) mit 81,3% und BPB842 (ormocerbasiertes Komposit B, Prime & Bond NT) mit 80,6% signifikant höher als in der Gruppe SPB844 (siehe oben).

Der Anteil an Randspalt war in den Gruppen SPB844 (Surefil, Prime & Bond NT) mit 33,4% und QX812 (Quixfil, XenoIII) mit 31,1% signifikant höher als in den Gruppen BKJ842 (ormocerbasiertes Komposit B, KJ7-101-01) mit 9,9% und TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic) mit 10,6%.

## 5.2 Auswertung der Farbstoffpenetration

Im dentinbegrenztem Kasten und im schmelzbegrenztem Kasten wurde an jeweils vier Messstellen die Tiefe der Farbstoffpenetration anhand einer ordinalen Bewertungsskala gemessen (Abb. 4.13, 4.14).

Die Unterschiedshypothesen wurden mit verteilungsfreien Prüfverfahren getestet. Zur Überprüfung der Nullhypothese bei zwei unabhängigen Stichproben wurde der *Mann-Whitney-U-Test* und bei  $n$  unabhängigen Stichproben der *Kruskal-Wallis-H-Test* eingesetzt. Als Signifikanzniveau wurde  $p < 0,05$  gewählt.

Die Ergebnisse der Farbpenetrationsanalyse sind getrennt für Schmelz- und Dentinbegrenzte Randabschnitte in den Tabellen 5.4 - 5.7 aufgelistet.

Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS für Windows (SPSS Inc. Chicago/USA) ausgewertet.

### Schmelzbegrenzter Kasten:

Farbstoffpenetration im schmelzbegrenzten Kasten										
Gruppe										
Bewertung	ABP 842	AKJ 842	BPB 842	BKJ 842	QX 524	QX 814	SPB 844	TCS 842	QFX 814	QX 812
0	18	13	8	15	2	4	2	12	4	7
1	10	14	9	9	6	3	5	8	1	2
2	2	3	5	5	15	16	16	7	23	12
3	1	1	4	2	4	7	8	2	1	6
4			4		5	2	1	3		2

*Tab.5.4: Ergebnisse der Farbpenetration im Schmelz*

Die Ergebnisse sind als absolute Häufigkeiten der einzelnen Ereignisse angegeben. Unterschiede in der Summe der einzelnen Häufigkeiten pro Gruppe und Zahnhartsubstanz sind darauf zurückzuführen, dass aufgrund der Schnittführung nicht alle Schnitte ausgewertet werden konnten.

Schmelzbegrenzter Kasten										
Gruppe	ABP 842	AKJ 842	BPB 842	BKJ 842	QX 524	QX 814	SPB 844	TCS 842	QFX 814	QX 812
ABP 842										
AKJ 842	NS									
BPB 842	S	S								
BKJ 842	NS	NS	S							
QX 524	S	S	NS	S						
QX 814	S	S	NS	S	NS					
SPB 844	S	S	NS	S	NS	NS				
TCS 842	S	NS	NS	NS	S	S	S			
QFX 814	S	S	NS	S	NS	NS	NS	S		
QX 812	S	S	NS	S	NS	NS	NS	NS	NS	

*Tab.5.5: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen im schmelzbegrenzten Kasten*

Die Tab. 5.5 zeigt die Ergebnisse der multiplen paarweisen Vergleiche mit dem Mann-Whitney-U-Test. Werte, die kleiner als 0,05 waren, sind in der Tabelle mit „S“ (= signifikant) gekennzeichnet.

Die statistische Analyse der Farbpenetration im Schmelzkasten mit dem Kruskal-Wallis-H-Test zeigte signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Gruppen.

Die Reihenfolge der mittleren Ränge aus dem H-Test war:

1. APB842 (85,4)
2. AKJ842 (100,42)
3. BKJ842 (106,05)
4. TSC842 (135,98)
5. BPB842 (157,98)
6. QX812 (170,86)
7. QFX814 (181,69)
8. QX814 (197,64)
9. SPB844 (201,56)
10. QX524 (202,20).

Im Vergleich der Randdichtigkeit waren die Gruppen APB842, AKJ842, BKJ842 (ormocerbasiertes Komposit A oder B, Prime & Bond NT oder KJ7-101-01) den Gruppen BPB842 (ormocerbasiertes Komposit B, Prime & Bond NT), QX812, QX814, QX524 (Quixfil, XenoIII), QFX814 (Quixfil, X-Flow, XenoIII) und SPB844 (Surefil, Prime & Bond NT) signifikant überlegen.

### Dentinbegrenzter Kasten:

Farbstoffpenetration im dentinbegrenzten Kasten										
Gruppe										
Bewertung	ABP 842	AKJ 842	BPB 842	BKJ 842	QX 524	QX 814	SPB 844	TCS 842	QFX 814	QX 812
0	6	7	5	11	8	6		4	16	5
1	9	8	16	10	4	7	1	6	9	5
2	9	9	5	9	3	10	6	10	4	11
3	3	1			7	3	7	5	1	5
4	3	4	5	1	8	3	16	5		6

*Tab.5.6: Ergebnisse der Farbpenetration im Dentin*

Die Ergebnisse sind als absolute Häufigkeiten der einzelnen Ereignisse angegeben. Unterschiede in der Summe der einzelnen Häufigkeiten pro Gruppe und Zahnhartsubstanz sind darauf zurückzuführen, dass aufgrund der Schnittführung nicht immer alle Schnitte ausgewertet werden konnten.

Dentinbegrenzter Kasten										
Gruppe	ABP 842	AKJ 842	BPB 842	BKJ 842	QX 524	QX 814	SPB 844	TCS 842	QFX 814	QX 812
ABP 842	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
AKJ 842	NS	-	-	-	-	-	-	-	-	-
BPB 842	NS	NS	-	-	-	-	-	-	-	-
BKJ 842	NS	NS	NS	-	-	-	-	-	-	-
QX 524	NS	NS	NS	S	-	-	-	-	-	-
QX 814	NS	NS	NS	S	NS	-	-	-	-	-
SPB 844	S	S	S	S	S	S	-	-	-	-
TCS 842	NS	NS	NS	S	NS	NS	S	-	-	-
QFX 814	S	S	S	NS	S	S	S	S	-	-
QX 812	NS	NS	S	S	NS	NS	S	NS	S	-

*Tab. 5.7: Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen im dentinbegrenzter Kasten*

In Tab. 5.7 sind die Ergebnisse der multiplen paarweise Vergleiche mit dem Mann-Whitney-U-Test dargestellt. Werte, die kleiner als 0,05 waren, sind in der Tabelle mit „S“ (= signifikant) gekennzeichnet.

Die statistische Analyse der Farbpenetration im dentinbegrenztem Kasten zeigte signifikante Unterschiede zwischen den getesteten Gruppen.

Die Reihenfolge der mittleren Ränge aus dem H-Test war:

1. QFX814 (82,25)
2. BKJ842 (108,06)
3. BPB842 (134,23)
4. AKJ84 (140,22)
5. APB842 (144,40)
6. QX814 (148,33)
7. QX524 (170,30)
8. TSC842 (171,72)
9. QX812 (173,08)
10. SPB844 (242,52).

Die Gruppe SPB842 (Surefil, Prime & Bond NT) hatte die signifikant schlechteste Randdichtigkeit aller untersuchten Gruppen.

Die Gruppe QFX814 (Quixfil, X-Flow, XenoIII) war den Gruppen APB 842, BPB842, AKJ842 (ormocerbasiertes Komposit A oder B, Prime & Bond NT oder KJ7-101-01), QX812, QX524, QX814 (Quixfil, XenoIII), TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic) und SPB844(Surefil, Prime & Bond NT) signifikant überlegen.

Die Gruppe BKJ842 (ormocerbasiertes Komposit B, KJ7-101-01) erreichte signifikant bessere Ergebnisse als die Gruppen QX812, QX524, QX814 (Quixfil, XenoIII), TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic) und SPB844 (Surefil, Prime & Bond NT).

## **6. Diskussion**

### **6.1 Material und Methode**

#### **6.1.1 In-vitro-Untersuchung**

Das Ziel dieser Studie war es, den Einfluss verschiedener Bedingungen auf das Randverhalten von ormocerbasierten Kompositfüllungen und Kompositfüllungen an extrahierten Zähnen zu bestimmen.

Die Resultate einer In-vitro-Studie sind nicht unmittelbar in die klinische Situation zu übertragen. Dennoch sind In-vitro-Studien in einigen Faktoren den klinischen Studien überlegen:

- entscheidende Faktoren, die die Resultate beeinflussen, lassen sich unter Laborbedingungen besser standardisieren,
- einige Untersuchungen sind nur in In-vitro-Studien durchführbar,
- der Kosten- und Zeitaufwand einer In-vitro-Studie ist wesentlich niedriger.

Daher eignen sich In-vitro-Studien sehr gut um ein Screening experimenteller Werkstoffe zu ermöglichen und um einen objektiven Vergleich kommerzieller Füllungsmaterialien zu erreichen.

Mit dem Ziel vergleichbare und aussagekräftige Ergebnisse zu ermitteln, wurden in diesem Versuch alle Proben innerhalb einer Gruppe identisch nach einem vorher definierten Schema (Tab.4.1) verarbeitet.

#### **6.1.2 Auswahl und Lagerung der Zähne**

Im Versuch wurden die Füllungen in extrahierten und kariesfreien menschlichen Molaren der bleibenden Dentition gelegt.

Vorrangig wurden gleich große Zähne ausgewählt und auf bereits durch Extraktionszangen beschädigte Zähne wurde verzichtet.

---

Über die einzelnen Molaren war weiter nichts bekannt, es konnten also deshalb vermeintliche Unterschiede nicht ausgeschlossen werden:

- das biologische Alter der Zähne war unterschiedlich. In biologisch älteren Zähnen kann sklerotisches Dentin auftreten. Hier liegt ein säurebeständiges, hypermineralisiertes Gewebe vor, in dem die mikromechanische Verankerung der Restauration erschwert ist [162].
- ein hoher Fluorgehalt im Schmelz kann die Qualität des Verbundes zur Restauration beeinträchtigen [47].

Im Gegensatz zu der Situation *in vivo*, ist in extrahierten Zähnen der intrapulpare Flüssigkeitsdruck nicht vorhanden, der gegen die Ausbildung von Kunststoffzotten wirken kann. Mikromorphologisch wurde aber kein Unterschied zwischen *in vivo* und *in vitro* aufgetragenen Haftvermittlern festgestellt [53].

Hinzu kommt auch, dass es klinisch notwendig ist, kariöse Zähne zu versorgen, die durch Bildung vom Tertiärdentin andere Eigenschaften haben können, als kariesfreie Zähne. Auch wurde bereits beschrieben, dass sich die Ausbildung der Hybridschicht im kariösen Dentin im Vergleich zu gesundem Dentin unterscheidet [116, 162, 180].

### 6.1.3 Kavitätenpräparation

Aufgrund des mikroretentiven Verbunds der lichthärtenden kompositbasierten Füllungsmaterialien und der Zahnhartsubstanz wird für die Verankerung der Restauration im Zahn keine Retention- und Widerstandsform benötigt. Das Ausmaß der Präparation ist defektorientiert und richtet sich deshalb nach der vorhandenen alten Füllung oder nach dem Kariesbefall [45, 72]. Es ist prinzipiell ein beliebiges Kavitäten-Design möglich. Im Seitenzahnbereich sind am häufigsten Kavitäten der Klasse I und II nach *Black* vertreten. In der Klasse II nach *Black* können der Kariesbefall oder die Präparationsränder der vorhandenen Restauration über die Schmelz-Zementgrenze reichen.

Um eine vergleichbare Situation zu simulieren wurden an allen Zähnen standardisierte MOD-Inlay-Kavitäten mit einem schmelzbegrenzten und einem dentinbegrenzten Kasten präpariert. Die so gewählte Präparation ist gut reproduzierbar, entspricht auch den in der Praxis gestellten Herausforderungen [77] und findet in zahlreichen vergleichbaren Studien Anwendung [6, 49, 77, 104].

Aufgrund individuell variierender Schichtdicke des Schmelzes und Dentins ist es nicht möglich auszuschließen, dass die durch die Präparation erreichten Dentintiefen unterschiedlich sind. Im pulpanahen Dentin ist eine höhere Dichte der Dentintubuli und geringerer Anteil an Kollagenfasern zu erwarten, wodurch die mikromechanische Verankerung der Restauration negativ beeinflusst sein kann [179].

#### **6.1.4 Haftvermittler**

Die präparierte Zahnoberfläche wurde je nach Gruppe entweder mit einem Haftvermittler in Kombination mit Total-etch-Technik oder mit einem selbstätzenden Haftvermittlersystem behandelt.

Die Applikation des selbstätzenden Haftvermittlers XenoIII erforderte keine zusätzliche Konditionierung und erfolgte in einem Schritt.

Das Anwenden des azetonbasierten Haftvermittlers Prime&Bond NT setzt eine Konditionierung der Oberfläche mit Phosphorsäure voraus (Total-etch-Technik). Dabei darf das Dentin nicht übertrocknet werden („Moist-bonding“-Technik), damit die optimale Penetration der Primermonomere gewährleistet ist [42].

Der experimentelle Haftvermittler KJ7-101-01 ist den Angaben des Herstellers zufolge ein Nachfolger des Haftvermittlers Prime & Bond NT. Beide Systeme werden identisch verarbeitet.

Die Total-etch-Technik wurde auch vor der Applikation des Mehrschritt-Haftvermittlersystems Syntac®Classic angewandt.

#### **6.1.5 Fülltechnik**

Die Polymerisationsreaktion der ormocerbasierten und klassischen Komposite bewirkt eine Volumenreduktion mit daraus resultierender potentieller Randspaltbildung [68]. Um das Ausmaß der Schrumpfung teilweise zu kompensieren, hat sich die inkrementelle Technik bei der Applikation des Materials bewährt [28, 68]. Es wird empfohlen, die jeweilige Schicht höchstens 2 mm dick zu wählen, um eine ausreichende Aushärtung zu garantieren [47, 64, 83, 123, 176].

Im Bereich des approximalen Kastens werden aus praktischen Gründen horizontal orientierte Schichten appliziert.

Dagegen ist es möglich, im Isthmusbereich schräge Schichten zu applizieren und somit den Anteil der gebundenen Flächen zu ungebundenen Flächen (der C-Faktor) positiv zu beeinflussen. Zusätzlich erleichtern die so orientierte Schichten das Modellieren der Okklusalfäche.

Die oben beschriebene Technik wurde in den Gruppen APB842, BPB842, AKJ842, BKJ842 (ormocerbasiertes Komposit, Prime&Bond NT, KJ7-101-01) und TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic) angewandt. Es wurden Schichten mit maximal 2 mm Dicke appliziert.

Die Entwicklung hat Materialien auf den Markt gebracht, die es ermöglichen die Fülltechnik zu vereinfachen und zeitlich zu verkürzen. Aufgrund ihrer modifizierten Eigenschaften soll es möglich sein Schichtdicken von bis zu 4 mm zu applizieren und gleichzeitig die Photopolymerisationszeit erheblich zu reduzieren.

Demzufolge wurde die vorher beschriebene inkrementelle Schichttechnik in den Gruppen QX814, QFX814 (Quixfil, Xenolite) und SPB844 (Surefil, Prime&Bond NT) so modifiziert, dass im dentinbegrenztem Kasten die Dicke einer Schicht 4 mm betrug. So konnten die Auswirkungen dieses Vorgehens auf die Randqualität der Restaurationen unter standardisierten Bedingungen geprüft werden.

Die Gruppe QX812 wurde mittels der oben beschriebenen konventionellen Inkrementtechnik gefüllt (alle Schichten max. 2 mm dick), als Vergleich herangezogen.

### **6.1.6 Photopolymerisation**

Um ein optimales Ergebniss der Photopolymerisation zu gewährleisten sind mehrere Einzelfaktoren zu beachten, die wie folgt erläutert werden.

Grossen Einfluss auf die Qualität des Aushärtens hat die Position des Lichtleiters [68, 126, 138, 153]. Der Abstand des Lichtleiters zu der Schicht, welche ausgehärtet wird, sollte möglichst kurz gehalten werden, da sonst die wirksame Lichtintensität abnimmt. Das ist klinisch in approximalen Bereichen einer MOD-Klasse-II-Füllung oft nicht einfach und eine Photopolymerisation ist wegen des erschwerten Zugangs nur von okklusaler Richtung möglich.

Im Isthmusbereich können die vorher applizierten schrägen Schichten mit einem horizontal orientierten Lichtleiter ausgehärtet werden, so dass die gebundene Fläche der Schicht dem Lichtleiter näher liegt, als die ungebundene Fläche [103].

Mittels dieser Technik kann auch der eventuelle Schrumpfungsvektor, positiv beeinflusst werden. Deshalb wurde der Lichtleiter bei der Photopolymerisation auch in diesem Versuch dementsprechend positioniert (siehe Abb. 4.2 - 4.5).

In den Gruppen APB842, BPB842, AKJ842, BKJ842 (ormocerbasiertes Komposit, Prime&Bond, KJ7-101-01) und TCS842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic) betrug die Lichtintensität der Polymerisationsleuchte 800 mW/cm<sup>2</sup> und alle Schichten wurden 40 Sekunden lang ausgehärtet.

In den Gruppen QX812, QX814, QFX814, QX524 (Ouixfil, XenoIII) wurde die Polymerisationszeit auf 10 Sekunden bzw. bei der Polymerisationslampe mit der Leistung von 500 mW/cm<sup>2</sup> auf 20 Sekunden verkürzt, entsprechend der Gebrauchsanweisung des Materials.

### **6.1.7 Ausarbeitung und Politur**

Die Ausarbeitung und Politur erfolgte unter erleichterten Bedingungen gegenüber der klinischen Praxis, da es sich um Füllungen an extrahierten Zähnen handelte. Die Überschüsse, die die Auswertung mit dem Rasterelektronenmikroskop erschweren, konnten fast vollständig beseitigt werden. Hieraus erklärt sich auch der vernachlässigbar geringe Anteil des Kriteriums Überschuss in dieser Studie.

Die grobe Ausarbeitung wurde mit Finierdiamanten unter Wasserkühlung vorgenommen. Die feine Ausarbeitung und Politur erfolgte mit Aluminiumoxid belegten Sof-Lex Scheibchen absteigender Körnung.

### **6.1.8 Feuchtigkeitslagerung**

Bei Restaurationen aus Kompositen kommt es durch Diffusion und Wasseraufnahme in die organische Matrix zu einer hygroskopischen Expansion des Füllungsmaterials, wodurch der Volumenverlust der Polymerisationsschrumpfung teilweise kompensiert werden kann. Damit dieser Vorgang berücksichtigt ist, wurden alle Proben während des gesamten Versuches in Ringerlösung gelagert [36, 57].

### **6.1.9 Thermische und mechanische Belastung**

Die Kaubelastung und die Temperaturunterschiede in der Mundhöhle begünstigen die Randspaltbildung der Füllungen [4, 8, 18, 19, 26, 150].

Durch Temperaturschwankungen in der Mundhöhle und die unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Komposit und Zahnhartsubstanz kommt es zu Spannungen an der Verbundzone Zahnhartsubstanz/Restauration [8, 170].

Ein automatisches Thermowechselbad kann die Temperatursituation in der Mundhöhle simulieren. Dabei wurden die Proben für 2.000 Zyklen automatisch abwechslungsweise 30 Sekunden in kaltes Wasser (5 °C) und anschließend in warmes Wasser getaucht (55 °C).

Computergesteuerte Kausimulatoren dienen bei In-vitro-Studien einer wirklichkeitsgetreuen Imitation der Kaubelastungskomponente. Die Proben wurden in einzelnen Kammern über eine Metallhalterung auf beweglichen Hartgummisockeln gelagert, welche geringe laterale Ableitbewegungen der Proben und eine Dämpfung der okklusalen Belastung erlauben, was der ligamentären Aufhängung der Zähne im Parodontium entspricht. Als standardisierte Antagonisten wurden Steatitkugeln mit 3 mm Durchmesser verwendet, die hinsichtlich Härte und Abrasionsbeständigkeit mit Zahnschmelz vergleichbar sind. Die vertikale Kaukraft wurde auf 50 N eingestellt und es wurden 50.000 Kaulastzyklen auf die Proben eingeleitet [90].

Die künstliche Alterung in diesem Sinne entspricht dem Standard in vergleichbaren Studien [6, 49, 104].

### **6.1.10 Randspaltanalyse**

Die Untersuchung der Randqualität von Restaurationen kann mit funktionellen und morphologischen Verfahren vorgenommen werden.

Bei morphologischen Methoden wird das Oberflächenrelief der Restaurationsränder untersucht. Die Randqualität kann entweder direkt an den zu untersuchenden Proben oder indirekt mit Hilfe von Epoxyharzreplika getestet werden. Vorteil der morphologischen Methoden ist, dass die Messungen wiederholbar sind, weshalb auch eine Verlaufsbeurteilung bei klinischen Longitudinalstudien möglich ist. Zu indirekten morphologischen Methoden zählt auch die in der vorliegenden Studie angewandte quantitative Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop.

Funktionelle Methoden untersuchen die Dichtigkeit der Restaurationen. Sie sind direkt an den Proben durchzuführen und sind nicht wiederholbar, eignen sich daher nur für In-vitro-Studien. Zu dieser Gruppe gehören Penetrationstests mit Farbstoffen oder Isotopen, Beizen mit Silbernitrat [52, 73, 134], Perkulations-,

bakteriologische und elektrochemische Tests [148].

#### **6.1.10.1 Quantitative Randspaltanalyse im Rasterelektronenmikroskop**

Die Analyse im Rasterelektronenmikroskop ist eine bewährte und anerkannte morphologische Untersuchungsmethode zur Qualitätsbeurteilung des Verbundes „Restauration-Zahnhartsubstanz“ [6, 24, 41, 42, 49, 50, 54, 76, 85, 103, 108]. Es konnte nachgewiesen werden, dass auch eine geringe Probenzahl genaue Aussagen ermöglicht [17, 144].

Es handelt sich um ein indirektes Verfahren, das mit Hilfe von Replika durchgeführt wird. Die hohe Zeichengenauigkeit der Abformmasse und das gute Fließverhalten des Epoxidharzes ermöglichen bei der Replikaherstellung eine originalgetreue Darstellung. Jedoch ist es unmöglich auszuschließen, dass sehr engen und tiefen Randspalten, durch die technischen Grenzen der Materialien, bei den Replikas nicht in Erscheinung treten [81].

Bei 200-facher Vergrößerung wird die Oberflächenstruktur des Untersuchungsobjekts sehr genau dargestellt, trotzdem ist individuell zu entscheiden, ob es sich bei den konkreten Reliefs um einen Spalt oder um perfekten Rand handelt. Wegen dieser subjektiven Qualitätsbeurteilung ist das Vergleichen der Ergebnisse unterschiedlicher REM-Randanalysen (mit unterschiedlichen Operatoren) nur eingeschränkt möglich. Die Auflösung des zweidimensionalen Bildes, erzeugt im Rasterelektronenmikroskop, ist sehr hoch, ermöglicht aber nur das oberflächliche Adaptationsverhalten der Restauration zu beurteilen und die Länge des Randspalts zu messen. Ein Eindruck über den Verbund in der Tiefe kann mit einem nachfolgenden Farbpenetrationstest erhalten werden.

Die Randqualität der Restaurationen zu den Zahnhartsubstanzen wurde lediglich nach künstlicher Alterung bestimmt, da sich in vorausgegangenen Studien [26] keine wesentlichen Informationen aus den Resultaten der Messungen vor der künstlichen Alterung durch Thermowechselbelastung und mechanische Ermüdungssimulation gewinnen ließen.

In dieser In-vitro-Studie wurde nur der approximale Bereich der Füllungen untersucht. Einerseits treten in diesen Bereichen die häufigsten Randspalten auf und andererseits wird so auch die Vorgehensweise der Methode erleichtert, was zu reproduzierbaren und exakten Ergebnissen führt [148, 151].

---

### **6.1.10.2 Farbpenetrationsuntersuchung.**

Der Farbpenetrationstest gehört zu den funktionellen Verfahren der Beurteilung der Randqualität. Es wurde in dieser Untersuchung an jeweils 4 Messpunkten pro approximalen Kasten die Eindringtiefe des Farbstoffs gemessen (insgesamt 8 Messpunkte pro Zahn).

Es ist technisch wegen der Zahnmorphologie nicht immer möglich, die Schnittebenen durch die Probe so zu positionieren, dass in allen 8 Messpunkten der zervikale Anteil des Füllungsrandes im approximalen Kasten erfasst ist. Dadurch gehen einige Messpunkte verloren.

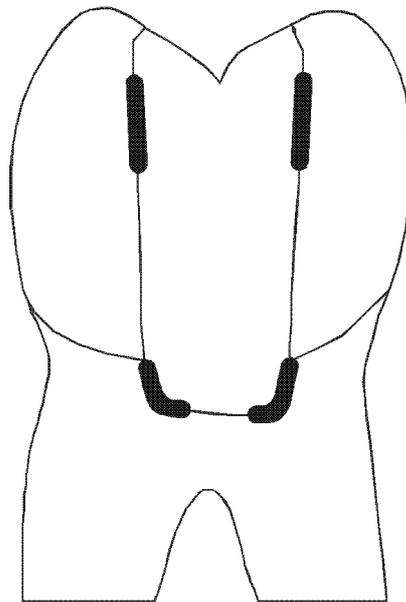
Die Verfärbung in der untersuchten Schnittebene muss nicht unbedingt durch einen Randspalt verursacht sein. Aufgrund einer Reaktion von hydrophilen Färbelösungen mit hydrophilen Dentinhaftevermittlern kann es auch so zu Farbaufnahmen des Adhäsives kommen. Je länger die Einwirkzeit der Färbelösung ist, umso wahrscheinlicher kann es zu einer Farbaufnahme kommen. Deshalb wurde hier eine lediglich 15-minütige Immersionszeit angesetzt, obwohl auch längere Kontaktzeiten (bis zu 24 Stunden) beschrieben worden sind [3, 7]. Ebenso ist es möglich, dass im Dentinbereich der Farbstoff durch offene Dentintubuli penetriert, die unbeabsichtigt bei dem Ausarbeiten und Politur der Füllung geöffnet worden sind. Desweiteren wurde ein „nanoleakage“-Effekt beschrieben, bei dem es, trotz intaktem Randschluss, zu einer Farbpenetration in die Dentinverbundschicht kommt [130]. Dies wird durch Undichtigkeiten innerhalb der Hybridschicht verursacht. Dennoch hat sich der Farbstoffpenetrationstest als geeignete Untersuchung für die Güte der marginalen Adaptation erwiesen und wird zahlreichen Studien zur Beurteilung der Randsdichtigkeit angewendet [6, 7, 10, 18, 32, 120, 126, 157, 158].

## **6.2 Diskussion der Ergebnisse der Randspaltanalyse im Rasterelektronenmikroskop**

### **6.2.1 Lokalisation des Füllungsrandes**

Die rasterelektronenmikroskopische Untersuchung, bei der die gesamte Länge des Verbunds „Restauration/Zahnhartsubstanz“ der Proben im Aproximalbereich untersucht wurde, machte deutlich, dass die Lokalisation des Füllungsrandes im Zahn einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der marginalen Adaptation hat. Mit vergleichbaren Studien übereinstimmend [49, 103, 104, 109], waren in allen untersuchten Gruppen in schmelzbegrenzten Randabschnitten mehr Anteile an perfektem Rand zu beobachten (72,2 - 97,2%) als in dentinbegrenzten Bereichen (56,9 - 86,3%).

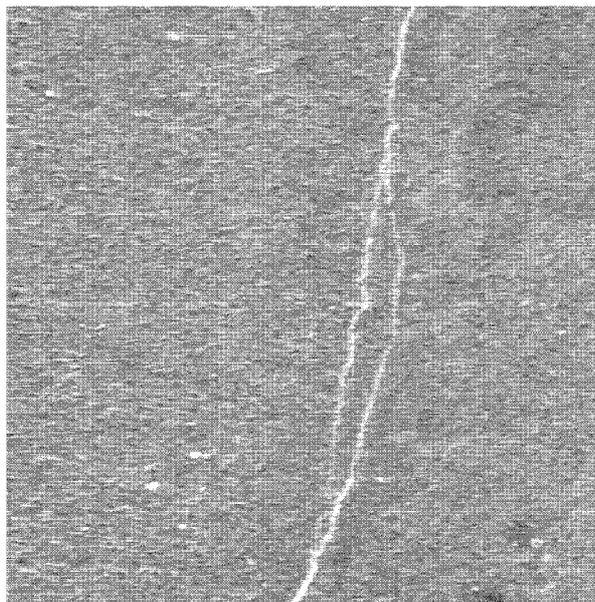
In beiden approximalen Kästen der Füllungen traten Randspalten am häufigsten am Übergang der senkrechten approximalen Kavitätswände zum horizontalen Kastenboden und am Übergang des approximalen Kastens zu dem okklusalen Anteil der Füllung. Es wurde vermutet, dass diese Lokalisationen durch die Position der Lichtleiteröffnung zur Füllung bedingt sind [99]; vielmehr geht es hier um Stellen der Spannungmaxima der Verbundflächen, die bei thermischer und mechanischer Belastung aufgrund der verschiedenen thermischen Expansionskoeffizienten zwischen Zahnhartsubstanzen und Füllungsmaterialien in Zähnen mit Klasse-II-Füllungen auftreten [103].



*Abb. 6.1: Schematische Darstellung der häufigsten Lokalisationen der Randspalten. Die schwarzen Markierungen am Füllungsrand zeigen die Stellen an, in denen die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Randspalten am höchsten war.*

Zusätzlich konnte beobachtet werden, dass ein Spalt auch in der Nähe des Verbundes innerhalb der Zahnhartsubstanz entstehen kann. Dieses Phänomen konnte vor allem in den schmelzbegrenzten Bereichen beobachtet werden (siehe Abb.6.2).

In der Literatur wurden Schmelzrisse mit einem hohen prozentualen Anteil (bis zu 62%) entlang des Restaurationsrandes beschrieben (16, 22, 127, 135, 137, 155]. Wahrscheinlich ist, dass diese Risse durch die Spannkraften zwischen der Füllung und dem Schmelz hervorgerufen wurden. Es ist aber auch nicht auszuschließen, dass diese Defekte in der Zahnhartsubstanz schon vor dem Präparieren vorhanden waren oder durch die Präparation entstanden sind [175].



*Abb. 6.2: Schmelzriss entlang eines intakten Füllungsrandes (50-fache Vergrößerung)*

### **6.2.2 Restaurationen aus ormocerbasierten Kompositen**

In den Gruppen APB812, AKJ812, BPB812 und BKJ812 (ormocerbasiertes Komposit A, B, Haftvermittler Prime&Bond NT, KJ7-101-07) wurde die Kompatibilität der getesteten Materialien auf die marginale Adaptation der Restaurationen untersucht.

In den Resultaten der rasterelektronmikroskopischen Randspaltanalyse im schmelzbegrenzten Kasten konnten zwischen diesen Gruppen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (perfekter Rand 85,4 - 87,1%, Randspalt 8,8 - 12,4%).

Im Schmelzanteil des dentinbegrenzten Kastens hatte die Gruppe BKJ842 (Material B, KJ7-101-07) einen signifikant höheren Anteil an perfektem Rand 91,3% im Vergleich zu der Gruppe BPB842 (Material B, Prime&Bond NT) - perfekter Rand 80,3%.

Mit derselben Gruppe (Material B, Haftvermittler KJ7-101-07) konnte man auch im Dentinanteil des dentinbegrenzten Kastens den besten Verbund aus allen getesteten Gruppen erreichen (perfekter Rand 87,9%, Randspalt 9,9%).

Zwischen den Gruppen APB812, AKJ812, BPB812 konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt worden (perfekter Rand 77,2 - 81,3%, Randspalt 16,8 -

21,1%). In diesen Gruppen wurde das Auftreten von Schmelzrissen in der Nähe von schmelzbegrenzten Füllungsändern am häufigsten beobachtet.

### **6.2.3 Restaurationen aus Quixfil**

#### **6.2.3.1 Fließfähiges Komposit als Liner**

Ein Konzept die marginale Adaptation zu verbessern besteht im Einsatz von fließfähigen Kompositen als Liner. Aufgrund des niedrigeren E-Moduls soll dieses durch eine Relaxation polymerisationsbedingter Spannungen an der Grenzfläche Restauration/Zahnhartsubstanz belastungsinduzierte Kräfte kompensieren [24]. Die Konsistenz dieser Materialien ermöglicht eine leichte Adaptation des Liners an die waagrechten Kavitätenwände.

In der Gruppe QFX814 (Quixfil, X-flow, XenoIII) wurde nach dem Vorbehandeln der präparierten Oberfläche mit dem Haftvermittler Xeno III fließfähiges Kompositmaterial X-flow als Liner verwendet.

Im schmelzbegrenzten Kasten konnte im Vergleich zu der Gruppe QX814 (Quixfil, XenoIII,) dadurch die Randqualität der Füllung verbessert werden (perfekter Rand 78,3% vs. 87,3%, Randspalt von 16,5% vs. 12,7%).

Im Schmelzanteil des dentinbegrenzten Kastens waren die Ergebnisse der beiden untersuchten Gruppen gleich (perfekter Rand 86,8%, Randspalt 12,6%).

Im dentinbegrenztem Kasten konnten zwischen beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden (perfekter Rand 68,8 vs. 70,9%, Randspalt 24,1 vs. 27,7%).

In vergleichbaren Studien wurden ähnliche Ergebnisse bereits beschrieben [93, 102]. Der Verbund zum Dentin soll noch verbessert werden, in dem Glasionomermaterialien mit niedriger Viskosität als Liner benutzt werden [2, 120, 125, 170].

#### **6.2.3.2 Polymerisationsmodus**

Bei dem Material Quixfil (Dentsply DeTrey) soll die niedrige Volumenschrumpfung, sowie auch die Transluzenz des Komposits eine Aushärtung von 4 mm dicken Schichten mit Hochleistungspolymerisationslampen (Leistung größer als 800

---

mW/cm<sup>2</sup>) in 10 Sekunden ermöglichen. Bei einer konventionellen Halogenlampe (500mW/cm<sup>2</sup>) wird die Belichtungszeit dementsprechend auf 20 Sekunden erhöht.

Der Einfluss der Lichtintensität der Polymerisationslampe und der Belichtungszeit auf die marginale Adaptation der Füllungen mit 4 mm Schichten wurde in den Gruppen QX524 und QX814 (Quixfil, XenoIII) untersucht. In der Gruppe QX814 wurden alle Schichten 10 Sekunden lang mit einer Lichtintensität von 800mW/cm<sup>2</sup> photopolymerisiert. In der Gruppe QX524 wurde jede Schicht 20 Sekunden ausgehärtet, die Lichtintensität betrug 500mW/cm<sup>2</sup>.

Im Vergleich der Ergebnisse der beiden genannten Gruppen konnten im schmelzbegrenzten Kasten sowie auch im dentinbegrenztem Kasten keine signifikanten Unterschiede festgestellt worden. Im schmelzbegrenzten Kasten war perfekter Rand in beiden Gruppen in 78,3% und Randspalt in 16,5 vs.21,7% zu beobachten, im Schmelzanteil des dentinbegrenzten Kastens war perfekter Rand in 85,5 vs. 86,8%, Randspalt in 13,0 vs.12,6% aufgetreten, im Dentinanteil des dentinbegrenzten Kastens war perfekter Rand mit 71,1 vs.70,9% und Randspalt mit 28,2% vs. 27,7% zu beobachten.

### **6.2.3.3 Variation Schichtdicke**

Die Restaurationen der Gruppen QX812 und QX814 (Quixfil, XenoIII) unterschieden sich in der Gestaltung des dentinbegrenzten Kastens. In der Gruppe QX812 wurden zwei annähernd gleich dicke Schichten appliziert, dagegen wurde die Kastenhöhe in der Gruppe QX814 gemessen und die erste Schicht wurde so angepasst, dass die zweite Schicht 4 mm dick war.

Im dentinbegrenzten Kasten hat sich die Randqualität der Füllungen der Gruppe QX814 (Quixfil, XenoIII, 4 mm Schicht) im Vergleich zu der Gruppe QX812 (Quixfil, XenoIII, 2mm Schicht) zwar leicht verändert, diese Unterschiede waren jedoch nicht signifikant.

### **6.2.4 Zu den Ergebnissen der Gruppe SPB844 (Material Surefil mit Haftvermittler Prime&Bond NT)**

Das Material Surefil ist ein etabliertes Füllungsmaterial, das der Gruppe der stopfbaren Komposite zugeordnet werden kann. Auch die Kompatibilität von Surefil und dem Haftvermittler Prime&Bond NT wurde durch zahlreiche Studien getestet [6, 7, 32, 97, 135, 136, 157].

Die Resultate dieser Gruppe zeigten im Vergleich zu den anderen untersuchten Gruppen in allen Bereichen den niedrigsten Anteil an perfektem Rand und den höchsten prozentualen Anteil an Randspalt. Im schmelzbegrenzten Kasten war perfekter Rand in 77,4% und Randspalt in 21,7% zu beobachten, im Schmelzanteil des dentinbegrenzten Kastens war perfekter Rand in 72,2% und Randspalt in 27,3% vorhanden. In den dentinbegrenzten Bereichen war perfekter Rand in 56,9% und Randspalt in 33,4% vorhanden.

Die mögliche Ursache war wahrscheinlich die ungünstige Lagerung des Komposites, welches von dem Hersteller in einem verschraubbaren, lichtgeschützten Behälter geliefert wurde. Um dieses Material zu applizieren war es notwendig diesen Behälter mehrmals zu öffnen, wodurch das lichthärtende Komposit für kurze Zeit dem Tageslicht exponiert war. Dadurch konnten Polymerisationskettenreaktionen initiiert werden und der Aushärtungsprozess konnte unkontrolliert starten.

Aus diesem Grund war auch die Verarbeitung erschwert und die Adaptationswerte signifikant schlechter als in anderen getesteten Gruppen.

Die Lagerung des Komposits hat großen Einfluss auf die Eigenschaften der Füllung [129].

### **6.2.5 Referenzgruppe TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic)**

Die Ergebnisse dieser langjährig etablierten Materialkombination waren in allen untersuchten Bereichen zuverlässig. Im schmelzbegrenzten Kasten konnte mit 97,2% Anteil an perfektem Rand und 2,5% Anteil an Randspalt, sowie im Schmelzanteil des dentinbegrenzten Kastens mit 93,8% Anteil an perfektem Rand und 5,6% Anteil an Randspalt eine sehr gute Qualität der marginalen Adaptation der Restaurationen zum Schmelz erreicht werden. Im Dentinanteil des dentinbegrenzten Kastens war die Qualität des Verbundes mit 86,3 % perfekten Randes und 10,6% Randspalten auch zufrieden stellend.

---

### 6.3 Diskussion der Ergebnisse der Farbstoffpenetration

In keiner der untersuchten Gruppen konnte ein komplett randdichter Verschluss zwischen den Restaurationen und der Zahnhartsubstanz gewährleistet werden.

#### 6.3.1 Schmelzbegrenzter Kasten

Die erste Hälfte der Reihenfolge der besten Randbeständigkeit der Füllungsänder wurde durch die Gruppen APB824, AKJ842, BKJ842, BPB842 (ormocerbasiertes Komposit, Haftvermittler Prime&Bond NT oder KJ-101-07) erreicht (Rangfolge 1, 2, 3 und 5). Mit dem Material APB842 (ormocerbasiertes Komposit, Prime & Bond NT) konnte der dichteste Randschluss im schmelzbegrenzten Kasten erreicht werden.

Dabei hatte die Gruppe BPB842 (Rangfolge 5) einen undichteren Randschluss als die Gruppe BKJ842. Analog zu dem morphologischen Test erwies sich auch hier, dass das ormocerbasierte Komposit B bessere Ergebnisse in der Kombination mit dem Haftvermittler KJ7-101-01 lieferte als mit dem Haftvermittler Prime & Bond NT.

Die Gruppe TSC842 (Tetric<sup>®</sup>Ceram, Syntac<sup>®</sup>Classic) erreichte die Rangfolge 4.

Den Gruppen der ersten Hälfte der Reihenfolge ist das klassische Verarbeitungskonzept (Lichtpolymerisationsintensität 800 mW/cm<sup>2</sup>, Bestrahlungszeit 40 Sekunden, Schichtdicke 2 mm) gemeinsam und Haftvermittlersysteme die auf der Total-etch-Technik basieren.

In den Gruppen QX814, QX812, QFX814, QX524 (Material Quixfil, selbstätzender Haftvermittler XenoIII, zeitsparender Applikationsmodus) konnten weniger dichte Restaurationen beobachtet werden (Rangfolgen 6, 7, 8, 10). Die Unterschiede innerhalb dieser Gruppen waren nicht signifikant.

Die unbefriedigenden Resultate der Gruppe SPB844 (Surefil, Prime&Bond NT) waren auch hier wahrscheinlich auf die ungünstige Lagerung des Komposits zurückzuführen (Rangfolge 9).

### **6.3.2 Dentinbegrenzter Kasten**

Die Ergebnisse der Gruppen APB824, BPB842, AKJ842, BKJ842 (ormocerbasiertes Komposit, Prime&bond NT oder KJ7-101-01, klassisches Verarbeitungskonzept) liegen auch im dentinbegrenztem Kasten innerhalb der ersten Hälfte der Reihenfolge (Rangfolge 2 - 5). Zwischen diesen Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden.

In den Gruppen QX814, QX812, QX524 (Quixfil, Xeno III, zeitsparendes Verarbeitungskonzept), konnten die Restaurationen einen weniger dichten Randschluss gewährleisten (Rangfolge 6, 7, 9). Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen diesen Gruppen.

Eine Ausnahme bei den Restaurationen aus dem Material Quixfil war die Gruppe QFX814 (Quixfil, X-flow, XenoIII), wo zusätzlich ein Liner aus fließfähigem Komposit appliziert worden ist (Rangfolge 1, signifikant besser im Vergleich zu anderen Restaurationen aus Quixfil und XenoIII). Diese Daten korrelieren nicht mit den Ergebnissen der rasterelektronmikroskopischen Untersuchung, wo sich durch den Liner keine signifikanten Unterschiede ergaben. Eine mögliche Erklärung liegt in der Reduzierung der Randspalttiefe durch den Liner.

In der Gruppe TSC842 (Tetric®Ceram, Syntac®Classic) konnte ein eher weniger dichter Füllungsrand erreicht werden (Rangfolge 8).

Die Ergebnisse der Gruppe SPB844(Surefil, Prime & Bond NT) waren den anderen Gruppen unterlegen und erreichten die Rangfolge 10.

Dass die Verfärbungen in der Farbstoffpenetrationsanalyse nicht unbedingt mit einem Randspalt assoziiert sein müssen, wurde schon vorher beschrieben. Um die Reaktion des Haftvermittlers mit dem Farbstoff bzw. einen „nanoleakage“-Effekt auszuschließen, wären weitere Untersuchungen notwendig.

### **6.4 Schlussfolgerung**

Bei der Beurteilung der Qualität der Füllungsmaterialien werden mehrere Kriterien herangezogen. In dieser Studie wurde mittels zweier Methoden die marginale Adaptation von Füllungsmaterialien getestet. Es wurden verschiedene Füllungsmaterialien und Haftvermittler in variierenden Verarbeitungskonzepten in insgesamt 10 Gruppen getestet.

Aus den Ergebnissen dieser In-vitro-Untersuchung lassen sich folgende Schlussfolgerungen ziehen:

- in keiner der untersuchten Gruppen konnte trotz optimaler Laborbedingungen ein absolut randdichter Verbund ohne Randspalt gewährleistet werden;
- in allen untersuchten Gruppen war im dentinbegrenzten Bereichen des Füllungsrandes ein höherer prozentualer Anteil an Randspalten als in schmelzbegrenzten Bereichen zu beobachten;
- in den Gruppen, in denen die Restaurationen aus ormocerbasierten Kompositen hergestellt wurden, mit Haftvermittlern, die auf Total-etch-Technik basierten, appliziert im klassischem Verarbeitungskonzept, konnten in beiden Untersuchungsmethoden zuverlässige Ergebnisse erreicht werden. Die beste Kompatibilität der untersuchten Gruppen erreichte dabei die Kombination aus ormocerbasiertem Komposit B und dem experimentellen Haftvermittler KJ7-101-07;
- die Applikation der Restaurationen aus dem Material Quixfil, mit dem selbststützenden Haftvermittler Xeno III, ist im Zusammenhang mit dem empfohlenem Verarbeitungskonzept sehr anwenderfreundlich und ermöglicht eine ökonomische Arbeitsweise. Jedoch erreichten hier die Restaurationen in der Farbstoffpenetrationsuntersuchung unabhängig vom Verarbeitungskonzept weniger gute Rangfolgen. Die Randdichtigkeit dieser Füllungen im Dentin ließ sich in dieser Studie durch einen Liner aus fließfähigem Komposit verbessern.

## **7. Zusammenfassung**

Die Entwicklung neuer Füllwerkstoffe und Haftvermittlersysteme mit konzeptionellen Unterschieden in der Applikation erschwert die Auswahl für den klinisch tätigen Zahnarzt. Erforderlich ist es, solche Materialien zu verwenden, die der täglichen Praxis gerecht sind und gleichzeitig dauerhaft gute Ergebnisse liefern.

Die marginale Adaptation der Restauration ist eines der wichtigsten Kriterien für die Qualitätsbeurteilung von Füllungsmaterialien und Haftvermittlersystemen [147]. Bei lighthärtenden Kompositen und ormocerbasierten lighthärtenden Kompositen wird dabei neben der Qualität des Füllwerkstoff und des Haftvermittlers auch die Kompatibilität der Kombination „Füllungsmaterial/Haftvermittler“ getestet.

Die vorliegende Studie untersuchte mit einem morphologischen und einem funktionellem Verfahren die Randqualität von 5 lighthärtenden Füllungsmaterialien mit 3 Haftvermittlersystemen in 10 experimentellen Gruppen mit jeweils 8 extrahierten menschlichen Molaren der bleibenden Dentition.

In allen Probenzähnen wurden standardisierte MOD-Inlay-Kavitäten präpariert. Die zervikale Präparationsgrenze lag bei einer approximalen Extension 1 - 1,5 koronal der Schmelz-Zement-Grenze und bei der anderen Extension 1 - 1,5 apikal der Schmelz-Zement-Grenze (Abb.4.1).

In den Gruppen APB842, AKJ842, BPB842, BKJ842 (Tab. 4.1) wurde die präparierte Zahnoberfläche im Sinne der Total-etch-Technik vorbehandelt und anschließend wurde ein azetonbasierter Einkomponentenhaftvermittler appliziert. Nach der Polymerisation des Haftvermittler erfolgte das Erstellen der Restaurationen aus ormocerbasierten Kompositmaterialien (experimentelles Material A und B) mittels konventioneller Inkrementtechnik (Schichtdicke 2 mm) und Polymerisationstechnik (Lichtintensität 800mW/cm<sup>2</sup>, Belichtungszeit 40 Sekunden pro Schicht).

In den Gruppen QX812, QX814, QX524 und QFX814 (Tab. 4.1) wurde ein selbstkonditionierender Haftvermittler auf die präparierte Zahnoberfläche aufgetragen. Der Lichtpolymerisation des Haftvermittlers folgte das Anfertigen der Restaurationen aus dem Material Quixfil. Das konventionelle Verarbeitungskonzept wurde nach den Angaben des Herstellers modifiziert. Die Polymerisationszeit wurde verkürzt und in den Gruppen QX814, QX524 und QFX814 wurde im dentinbegrenztem Kasten eine 4 mm Schicht appliziert um standardisierte Bedingungen bei allen Proben zu erreichen.

Die Gruppen TSC842 und SPB844 (Tab. 4.1) wurden als Referenzgruppen herangezogen.

Nach dem Ausarbeiten und der Politur der angefertigten Restaurationen wurden die Proben einer künstlichen Alterung unterzogen (Thermowechselbad 5/55 °C, 2000 Zyklen, Kausimulator – okklusale Belastung 50 N, 50000 Zyklen).

#### **Morphologische Untersuchung:**

Aus den Proben wurden Epoxy-Harz-Replika angefertigt, welche anschließend einer **quantitativen Randspaltanalyse im Rasterelektronenmikroskop** bei 200 - facher Vergrößerung unterzogen wurden. Der Füllungsrand im approximalen Bereich der Restaurationen wurde in der gesamten Länge untersucht (getrennt für Schmelz und Dentin) und segmentweise einem Qualitätskriterium zugeordnet (Tab. 4.2). Danach wurde die prozentuale Verteilung der Qualitätskriterien für jede Gruppe bestimmt.

#### **Funktionelle Untersuchung:**

Bei dem **Farbpenetrationstest** wurden die Originalproben in Methylenblaulösung (5%) für 15 Minuten eingetaucht. Aus den Proben wurden Schnittpräparate hergestellt. Der approximale Bereich der restaurierten Zähne wurde unter 40 - facher Vergrößerung im Auflichtmikroskop mit Hilfe von vier Qualitätskriterien bewertet (Abb. 4.13, 4.15).

Alle Ergebnisse wurden mit der Statistik-Software SPSS für Windows ausgewertet.

Unabhängig von dem Verarbeitungskonzept konnte keines der getesteten Restaurationssysteme einen absolut randspaltfreien Verbund zu Schmelz und Dentin der gesamten untersuchten Füllungsänder gewährleisten.

Der adhäsive Verbund zwischen Komposit und Dentin war anfälliger für das Auftreten von Randspalten als der Verbund zum Zahnschmelz.

Mit den ormocerbasierten Kompositmaterialien A und B, verarbeitet mittels konventioneller Inkrementtechnik und Polymerisationstechnik in Kombination mit Einkomponentenhaftvermittlern, die auf Total-etch-Technik basieren, konnten bessere Randqualitäten der Füllungen erreicht werden als in den Gruppen, in denen die Restaurationen aus dem Füllungsmaterial Quixfil in der Kombination mit dem selbstätzendem Haftvermittler XenoIII bestanden und die in einem Zeit sparendem Modus verarbeitet wurden. Das Variieren der Lichtpolymerisation und der Schichtstärke hat sich auf die Qualität der marginalen Adaptation nicht signifikant

ausgewirkt. Mit einem Liner aus fließfähigem Komposit wurde die Randdichtigkeit dentinbegrenzter Füllungsänder in dieser Studie erhöht.

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass sich in Restaurationen der Klasse II nach Black aus lichthärtenden kompositbasierten Füllwerkstoffen Randspalten und Randundichtigkeiten momentan noch nicht vollständig vermeiden lassen. Mit der Auswahl von geeigneten Materialien und dazu abgestimmten Verarbeitungskonzepten lässt sich die Qualität der marginalen Adaptation erheblich verbessern.

**8. Literaturverzeichnis**

1. Abbas G, Fleming GJ, Harrington E, Shortall AC, Burke FJ: Cuspal movement and microleakage in premolar teeth restored with a packable composite cured in bulk or in increments. *J Dent* 2003; 31:437-444
2. Aboushala A, Kugel G, Hurley E: Class II composite resin restorations using glass-ionomer liners: microleakage studies. *J Clin Pediatr Dent* 1996;21:67-70
3. Aguiar FH, Ajudarte KF, Lovadino JR: Effect of light curing modes and filling techniques on microleakage of posterior resin composite restorations. *Oper Dent* 2002;27:557-562
4. Aguiar FH, Santos AJ, Groppo FC, Lovadino JR: Quantitative evaluation of marginal leakage of two resin composite restorations using two filling techniques. *Oper Dent* 2002;27:475-479
5. Albert P, Dermann D: Polymerchemie und ausgewählte Kunststoffe. *Chemie in unserer Zeit* 2000;34:304
6. Albrecht A: Marginale Adaptation von stopfbaren Kompositen undOrmoceren in Klasse-II-Kavitäten. *Med. Diss.* 2003, LMU München.
7. Baghdadi ZD: Microleakage of a single-bottle adhesive system with 3 restorative materials: in vitro study and clinical considerations. *Compend Contin Educ Dent* 2003;24:755-8
8. Bausch JR, De Lange C, Davidson CL: The influence of temperature on some physical properties of dental composites. *J Oral Rehabil* 1981;309-317
9. Bayne SC, Thompson JY, Swift EJ, Jr., Stamatiades P, Wilkerson M: A characterization of first-generation flowable composites. *J Am Dent Assoc* 1998;129:567-577
10. Beznos C: Microleakage at the cervical margin of composite Class II cavities with different restorative techniques. *Oper Dent* 2001;26:60-69
11. Blunck U: Rasterelektronenmikroskopische Beurteilung von Kompositfüllungsrandern im Dentin in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 1988; 43:939-943

12. Burgess JO, Walker RS, Porche CJ, Rappold AJ: Light curing—an update. *Compend Contin Educ Dent* 2002;23:889-92, 894, 896
13. Chen HY, Manhart J, Hickel R, Kunzelmann KH: Polymerization contraction stress in light-cured packable composite resins. *Dent Mater* 2001;17:253-259
14. Cheung GSP: Reducing marginal leakage of posterior composite resin restorations: A review of clinical techniques. *J Prosthet Dent* 1990;63:286-288
15. Cho BH, Dickens SH, Bae JH, Chang CG, Son HH, Um CM: Effect of interfacial bond quality on the direction of polymerization shrinkage flow in resin composite restorations. *Oper Dent* 2002;27:297-304
16. Christensen RP, Palmer TM, Ploeger BJ, Yost MP: Resin polymerization problems—are they caused by resin curing lights, resin formulations, or both? *Compend Contin Educ Dent Suppl* 1999;42-54
17. Ciucchi B, Bouilloguet S, Holz J: Proximal adaptation and marginal seal of posterior composite resin restorations placed with direct and indirect techniques. *Quintessence Int* 1990;21:663-669
18. Civelek A, Ersoy M, L'Hotelier E, Soyman M, Say EC: Polymerization shrinkage and microleakage in Class II cavities of various resin composites. *Oper Dent* 2003;28:635-641
19. Crim GA: Effect of aging on microleakage of restorative systems. *Am J Dent* 1993;6:192-194
20. Davidson CL, Feilzer A: Polymerisation shrinkage and polymerisation shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 1996;25:435-440
21. de Almeida JB, Platt JA, Oshida Y, Moore BK, Cochran MA, Eckert GJ: Three different methods to evaluate microleakage of packable composites in Class II restorations. *Oper Dent* 2003;28:453-460
22. Deliperi S, Bardwell DN: An alternative method to reduce polymerization shrinkage in direct posterior composite restorations. *J Am Dent Assoc* 2002;133:1387-1398
23. Dickens SH: Morphology and bond strength of dentin conditioned with self-etching monomers. *J Res Dent* 1996;75:348
24. Dietrich T, Kraemer M, Losche GM, Roulet J: Marginal integrity of large

- compomer Class II restorations with cervical margins in dentine. *J Dent* 2000;28:399-405
25. Dietschi D, De Siebenthal G, Neveu-Rosenstand L, Holz J: Influence of the restorative technique and new adhesives on the dentin marginal seal and adaptation of resin composite Class II restorations: an in vitro evaluation. *Quintessence Int* 1995;26:717-727
26. Dietschi D, Herzfeld D: In vitro evaluation of marginal and internal adaptation of class II resin composite restorations after thermal and occlusal stressing. *Eur J Oral Sci* 1998;106:1033-1042
27. Douglas WH: Clinical status of dentine bonding agents. *J Dent* 1989;17:209
28. Eakle WS, Ito RK: Effect of insertion technique on microleakage in mesioocclusodistal composite resin restorations. *Quintessence Int* 1990;21:369-374
29. Eick JD, Welch FH: Polymerisation shrinkage of posterior composite resins and its possible influence on postoperative sensitivity. *Quintessence Int* 1986;17:103-111
30. Ernst CP, Heimeier I, Stender E, Willershausen B: Härtemessungen zur Ermittlung der maximalen Kompositschichtstärke von Klasse-II-Füllungen bei Polymerisation von okklusal. *Dtsch Zahnärztl Z* 2002; 55:139-144
31. Ernst CP, Willershausen B: Eine aktuelle Standortbestimmung zahnärztlicher Füllungskomposite. *zm* 2003;7:30-40
32. Fabianelli A, Goracci C, Ferrari M: Sealing ability of packable resin composites in class II restorations. *J Adhes Dent* 2003;5:217-223
33. Fabianelli A, Kugel G, Ferrari M: Efficacy of self-etching primer on sealing margins of Class II restorations. *Am J Dent* 2003;16:37-41
34. Fang H, Kunzelmann KH, Hickel R, Petschelt A: Standardisierung des Antagonisten bei 2-Körper Abriebsimulatoren. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993;48:481-483
35. Federlin M, Thonemann B, Hiller KA, Klischke, Schmalz G: Evaluation of dye penetration on transparent teeth - an alternative method to determine microleakage. *J Dent Res Abstract* 2000;79:182

36. Feilzer A, De Gee AJ, Davidson CL: Relaxation of polymerisation contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 1990; 69:36-39
37. Ferracane JL, Mitchem JC: Relationship between composite contraction stress and leakage in Class V cavities. *Am J Dent* 2003;16:239-243
38. Ferrari M, Davidson CL: In vivo resin-dentin interdiffusion and tag formation with lateral branches of two adhesive systems. *J Prosth Dent* 1996;76:250
39. Ferrari M, Cagidiaco MC, Kugel G, Davidson CL: Dentin infiltration by three adhesive systems in clinical and laboratory conditions. *Am J Dent* 1996;9:240-244
40. Ferrari M, Mannocci F, Kugel G, Garcia-Godoy F: Standardized microscopic evaluation of the bonding mechanism of NRC/Prime & Bond NT. *Am J Dent* 1999;12:77-83
41. Frankenberger R, Kramer N, Pelka M, Petschelt A: Internal adaptation and overhang formation of direct Class II resin composite restorations 13. *Clin Oral Investig* 1999;3:208-215
42. Frankenberger R, Kramer N, Petschelt A: Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. *Oper Dent* 2000;25:324-330
43. Frankenberger R, Lopes M, Perdigao J, Ambrose WW, Rosa BT: The use of flowable composites as filled adhesives. *Dent Mater* 2002;18:227-238
44. Frankenberger R, Roth S, Kramer N, Pelka M, Petschelt A: Effect of preparation mode on Class II resin composite repair. *J Oral Rehabil* 2003;30:559-564
45. Friedl KH, Hiller KA, Schmalz G: Placement and replacement of composite restorations in Germany. *Oper Dent* 2003;20:34-38
46. Geurtsen W: *Klinik der Kompositfüllungen*, Hanser, München, 1989, 6. Auflage, 54-55.
47. Geurtsen W. *Kunststofffüllung. Praxis der Zahnheilkunde II*, Urban & Schwarzenberg, München, 1999, 179-217.

48. Glenn JF: Composition and properties of unfilled and composite resin restorative materials. *Biocompatibility of Dental Materials* 1982;Bd III: 97.
49. Glomb C. Einfluss verschiedener Dentinadhäsive und Fülltechniken auf die Randqualität von Klasse II Kompositrestaurationen, 2002, Med Diss., LMU München.
50. Gohring TN, Schonenberger KA, Lutz F: Potential of restorative systems with simplified adhesives: quantitative analysis of wear and marginal adaptation in vitro. *Am J Dent* 2003;16:275-282
51. Guelmann M, Bonnin S, Primosch RE, Soderholm KJ: Microleakage and wall adaptation of conservative restorations. *Am J Dent* 2002;15:407-411
52. Guzman-Armstrong S, Mitchell RJ: Surface coating and leakage of dentin-bonded resin composite restorations. *J Dent* 2002;30:113-118
53. Gwinnet A, Kanca J: Micromorphological relationship between resin and dentin in-vivo and in-vitro. *Am J Dent* 2002;5:19-23
54. Haak R, Wicht MJ, Noack MJ: Marginal and internal adaptation of extended class I restorations lined with flowable composites. *J Dent* 2003;31:231-239
55. Haller B, Klaiber B, Dürneer N, Hofmann N: Dentinpermeabilität nach Behandlung mit Cleanern und Primern. *Dtsch Zahnärztl Z* 1992;47:171
56. Haller B, Blunck: Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme. *zm* 2002;1:48-58
57. Haller B, Hofmann N, Klaiber B, Bloching U: Effect of storage media on microleakage of five dentin bonding agents. *Dent Mater* 1993;9:191-197
58. Hallet KB, Garcia-Godoy F: Mikroleakage of resin-modified glass ionomer cement restorations: an in-vitro study. *Dent Mater* 1993;9:306-311
59. Hannig M, Reinhardt KJ, Bott B: Self-etching primer vs phosphoric acid: An alternative concept for composite to enamel bonding. *Oper Dent* 1999;24:172
60. Hannig M, Bott B, Emmermann A: Randschlussverhalten von Klasse II Kompositfüllungen nach Schmelzkonditionierung mit selbstätzenden Primern. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:133

61. Hannig M, Bott B: Randschlussverhalten von plastischen zahnfarbenen Füllungen in dentinbegrenzten Klasse II Kavitäten. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000;5:134-138
62. Hasan K, Mante F, List G, Dhuru V: A modified incremental filling technique for class II composite restorations. *J Prosth Dent* 1987;58:153-156
63. Hashimoto M, Ohno H, Yoshida E, Hori M, Sano H, Kaga M, Oguchi H: Resin-enamel bonds made with self-etching primers on ground enamel. *Eur J Oral Sci* 2003;111:447-453
64. Heidemann D, Hellwig E, Hickel R, Klaiber B, Staehle HJ: Direkte Kompositrestaurationen - Erweiterte Anwendung im Front- und Seitenzahngebiet. *Stellungnahme der DGZ. zm* 2003;14:38
65. Hellwig E, Klimek J, Achenbach K: Auswirkung der Schichttechnik auf die Polymerisation von zwei lighthärtenden Kompositfüllungsmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991;46:270-273
66. Hellwig E, Klimek J, and Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. *Urban & Schwarzenberg Verlag, München*, 1995, 133-170.
67. Hickel R, Kunzelmann KH, Schreyger D: Die Kompositfüllung im Seitenzahnbereich -Teil II. *Zahnärztl Welt* 1994;103:690
68. Hickel R, Kunzelmann KH, Obermeier T: Die Kompositfüllung im Seitenzahnbereich - Teil I. *ZWR* 1994;103:610-618
69. Hickel R: Moderne Füllungswerkstoffe. *Dtsch Zahnärztl Z* 1997;52:572-585
70. Hickel R, Klaiber B, Ott K, Roulet JF, Schmalz G: Kompositkunststoffe im Seitenzahnbereich. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:596-597
71. Hickel R, Dasch W, Janda R, Tyas M, Anusavice K: New direct restorative materials. *FDI Commission Project. Int Dent J* 1998;48:3-16
72. Hickel R, Manhart J: Longevity of restorations in posterior teeth and reasons for failure. *J Adhes Dent* 2001;3:45-64
73. Hilton TJ, Ferracane CL: Cavity preparation factors and microleakage of class II composite restorations filled at intraoral temperatures. *Am J Dent* 1998;11:123-130

74. Hilton TJ: Can modern restorative procedures and materials reliably seal cavities? In vitro investigations. Part 2. *Am J Dent* 2002;15:279-289
75. Hilton TJ: Can modern restorative procedures and materials reliably seal cavities? In vitro investigations. Part 1. *Am J Dent* 2002;15:198-210
76. Hofmann N, Siebrecht C, Hugo B, Klaiber B: Influence of curing methods and materials on the marginal seal of class V composite restorations in vitro. *Oper Dent* 2003;28:160-167
77. Hugo B, Stassinakis A, Hotz P, Klaiber B: Reproduzierbare Präparation standardisierter Klasse-II-Kavitäten. *Dtsch Zahnärztl Z* 1996;51:746
78. Idriss S, Habib C, Abduljabbar T, Omar R: Marginal adaptation of class II resin composite restorations using incremental and bulk placement techniques: an ESEM study. *J Oral Rehabil* 2003;30:1000-1007
79. Ikemi T, Nemoto K: Effects of lining materials on the composite resins shrinkage stress. *Dent Mater* 1994;13:1-8
80. Janda R: Stand der Entwicklung der zahnärztlichen Füllungsmaterialien. *Quintessenz* 1988;39:1067-1073
81. Janda R: Preparation of extracted natural human teeth for SEM investigations. *Biomaterials* 1995;16:209-217
82. Jendrychowski JR, Bleier RG, Caputo AA: Shrinkage stress associated with incremental filling techniques. *ASDC J Dent Child* 1998;65:111-115
83. Kimmel KH: Optimale Arbeitstechnik als Grundlage der Qualitätssicherung. *zm* 2003;2:36-38
84. Koenigsberg S, Fuks A: The effect of filling techniques on marginal leakage around Class II Composite resin restorations in vivo. *Quintessence Int* 1989;20:117-121
85. Krejci I, Reich T, Lutz F, Albertoni M: In-vitro Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssysteme. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1990;100:953-960
86. Kugel G: Direct and indirect adhesive restorative materials: a review. *Am J Dent* 2000;13:35D-40D

87. Kugel G, Ferrari M: The science of bonding: from first to sixth generation. *J Am Dent Assoc* 2000;131 Suppl:20S-25S
88. Kugel G, Perry R: Direct composite resins: an update. *Compend Contin Educ Dent* 2002;23:593-6, 598, 600
89. Kunzelmann KH, Krause F, Hickel R: Dentinhaftung von Kompositfüllungen und Keramikinlays in Klasse II Füllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1993;48:724-727
90. Kunzelmann KH, Hickel R: Entwicklung des computergesteuerten Münchner Kausimulators. (Poster) Jahrestagung DGZ, 1995.
91. Kunzelmann KH, Chen HY, Manhart J, Mehl A, Hickel R: Schrumpfkraft von Kompositen bei unterschiedlichen Polymerisationskonzepten. 13 DGZ-Jahrestagung, 66,2003.
92. Kunzelmann KH, Frankenberger R et al: Klinische Aspekte der Adhäsivtechnik mit plastischen Werkstoffen. *Die Adhäsivtechnologie. Ein Leitfaden für Theorie und Praxis.* 2001.3M-Espe.
93. Leevailoj C, Cochran MA, Matis BA, Moore BK, Platt JA: Microleakage of posterior packable resin composites with and without flowable liners. *Oper Dent* 2001;26:302-307
94. Leinfelder KF, Kurdziolek SM: Self-etching bonding agents. *Compend Contin Educ Dent* 2003;24:447-54, 456
95. Loesche AC, Loesche GM, Roulet JF: Die Auswirkung erhöhter Lichtintensität auf das Randverhalten von Klasse-II-Kompositfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49:590
96. Loguercio AD, Bauer JR, Reis A, Rodrigues F ilho LE, Busato AL: Microleakage of a packable composite associated with different materials. *J Clin Dent* 2002;13:111-115
97. Loguercio AD, Alessandra R, Mazzocco KC, Dias AL, Busato AL, Singer JM, Rosa P: Microleakage in class II composite resin restorations: total bonding and open sandwich technique. *J Adhes Dent* 2002;4:137-144
98. Lutz F, Phillips RW: A classification and evaluation of composite resin systems. *J Prosthet Dent* 1983;50:480-488

99. Lutz F, Krejci I, Luescher B, Oldenburg TR: Improved proximal margin adaptation of Class II composite resin restorations by use of light-reflecting wedges. *Quintessence Int* 1986;17:659-664
100. Lutz F, Krejci I, Schupbach P: Adhäsive Systeme für zahnfarbene Restaurationen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1993;103:537-549
101. Lutz F, Krejci I: Resin composites in the post-amalgam age. *Compend Contin Educ Dent* 1999;20:1138-44, 1146, 1148
102. Malmstrom HS, Schlueter M, Roach T, Moss ME: Effect of thickness of flowable resins on marginal leakage in class II composite restorations. *Oper Dent* 2002;27:373-380
103. Manhart J, Hollwich B, Mehl A, Kunzelmann KH, Hickel R: Marginal adaptation of ormocer- and composite-fillings in class II cavities. *J Dent Res* 1997;76:1122-223
104. Manhart J: Marginale adaptation von Klasse II Kompositfüllungen in Abhängigkeit von Kavitätengröße, okklusaler Belastung und verschiedener Dentinadhäsiven. *Med Diss.* 1997. LMU München.
105. Manhart J: Werkstoffkundliche Charakterisierung eines Füllungsmaterials auf Ormocer-Basis. *ZMK* 1999;12:807-812
106. Manhart J: Lichtpolymerisation: Gerätetypen und deren Wirkungsweise. *BZB* 2003;3:41-43
107. Manhart J, Chen HY, Hickel R: The suitability of packable resin-based composites for posterior restorations. *J Am Dent Assoc* 2001;132:639-645
108. Manhart J, Schmidt M, Chen HY, Kunzelmann KH, Hickel R: Marginal quality of tooth-colored restorations in class II cavities after artificial aging. *Oper Dent* 2001;26:357-366
109. Manhart J, Chen HY, Neuerer P, Scheibenbogen-Fuchsbrunner A, Hickel R: Three-year clinical evaluation of composite and ceramic inlays. *Am J Dent* 2001;14:95-99
110. Mehl A, Hickel R, Kunzelmann KH: Physical properties and gap formation of light-cured composites with and without softstart-polymerisation. *J Dent* 1997;25:321

111. Meiers JC, Kazemi RB, Meier CD: Microleakage of packable composite resins. *Oper Dent* 2002;26:113-126
112. Molla K, Park HJ, Haller B: Bond strength of adhesive/composite combinations to dentin involving total- and self-etch adhesives. *J Adhes Dent* 2002;4:171-180
113. Moodley D, Grobler SR: Dentin bonding agents - a review of adhesion to dentine. *SADJ* 2002;57:234-238
114. Nakabayashi N, Kojima K: *Hybridization of Dental Hard Tissues*. Quintessence Publishing Co.,Ltd., 1998.
115. Nakabayashi N: The hybrid layer: a resin-dentin composite. *Proc Finn Dent Soc* 1992;88 Suppl 1:321-329
116. Nakajima M, Ogata M, Okuda M, Tagami J, Sano H, Pashley DH: Bonding to caries-affected dentin using self-etching primers. *Am J Dent* 1999;12:309-314
117. Nakajima M, Kanemura N, Pereira PN, Tagami J, Pashley DH: Comparative microtensile bond strength and SEM analysis of bonding to wet and dry dentin. *Am J Dent* 2000;13:324-328
118. Nakaoki Y, Nikaido T, Burrow MF, Tagami J: Effect of residual water on dentin bond strength and hybridization of a one -bottle adhesive system. *Oper Dent* 2002;27:542
119. Neiva IF, Andrada de MA: An in vitro study of the effect of restorative technique on marginal leakage in posterior composites. *Oper Dent* 1998;23:282-289
120. Neme AM, Maxson BB, Pink FE, Aksu MN: Microleakage of Class II packable resin composites lined with flowables: an in vitro study. *Oper Dent* 2002;27:600-605
121. Nichols JJ: *Polymerisation lights - Light energy and wavelength*. Quintessence Int 31:688-698
122. Nolden R: *Zahnerhaltungskunde*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1994.
123. Oberholzer TG, Pameijer CH, Grobler SR, Rossouw RJ: Effect of power

- density on shrinkage of dental resin materials. *Oper Dent* 2003;28:622-627
124. Oberholzer TG, Pameijer CH, Grobler SR, Rossouw RJ: The effect of different power densities and method of exposure on the marginal adaptation of four light-cured dental restorative materials. *Biomaterials* 2003;24:3593-3598
125. Oberholzer TG, Grobler SR, Rossouw RJ, Kotze TJ: The effect of an additional flowable compomer layer on microleakage of Class V compomer restorations. *SADJ* 2003;58:48-53
126. Oberholzer TG, Grobler SR, Pameijer CH, Hudson AP: The effects of light intensity and method of exposure on the hardness of four light-cured dental restorative materials. *Int Dent J* 2003;53:211-215
127. Obici AC, Sinhoreti MA, de Goes MF, Consani S, Sobrinho LC: Effect of the photo-activation method on polymerization shrinkage of restorative composites. *Oper Dent* 2002;27:192-198
128. Ott G: Aufbau und Entwicklung der Composite-Füllungsmaterialien. Ivoclar-Vivadent-Report. 1990, 3-20.
129. Park SH, Krejci I, Lutz F: Consistency in the amount of linear polymerization shrinkage in syringe-type composites. *Dent Mater* 1999;15:442-446
130. Pashley DH, Ciucchi H, Sano H: Dentin as a bonding substrate. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49:760-763
131. Pashley DH, Pashley EL: Dentinpermeability and restorative dentistry. *Am J Dent* 1999;4:5-9
132. Perdigao J et al: Ultramorphology of the Hybrid Layer - a TEM study of Non-decalcified Interfaces. *J Dent Res* 2000;79:76-81.
133. Perdigao J, Lopes L, Lambrechts P, Leitao J, Van Meerbeek B, Vanherle G: Effects of a self-etching primer on enamel shear bond strengths and SEM morphology. *Am J Dent* 1997;10:141-146
134. Peris AR, Duarte S Jr, de Andrade MF: Evaluation of marginal microleakage in class II cavities: effect of microhybrid, flowable, and compactable resins. *Quintessence Int* 2003;34:93-98

135. Perry R, Kugel G: Two-year clinical evaluation of a high-density posterior restorative material. *Compend Contin Educ Dent* 2000;21:1067-72, 1074, 1076
136. Perry R, Kugel G, Leinfelder K: One-year clinical evaluation of SureFil packable composite. *Compend Contin Educ Dent* 1999;20:544-3
137. Peutzfeldt A, Asmussen E: Composite restorations: influence of flowable and self-curing resin composite linings on microleakage in vitro. *Oper Dent* 2002;27:569-575
138. Pires JA, Cvitko E, Denehy GE, Swift EJ, Jr.: Effects of curing tip distance on light intensity and composite resin microhardness. *Quintessence Int* 1993;24:517-521
139. Reinhardt KJ: Einfluss der Lichtquelle auf die Randständigkeit von Kompositfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1991;132.
140. Rossin M, Urban AD, Gartner C, Bernhardt O, Splieth C, Meyer G: Polymerisation shrinkage-strain and microleakage in dentin-bonded cavities of chemically and light-cured restorative materials. *Dent Mater* 2002;18:521-528
141. Rossin M, Steffen H, Konschake C, Greese U, Teichmann D, Hartmann A, Meyer G: One-year evaluation of an Ormocer restorative - a multipractice clinical trial. *Clin Oral Invest* 2003;7:20-26
142. Roulet JF, Hirt T, Lutz F: Surface roughness and marginal behaviour of experimental and commercial composites: an in vitro study. *J Oral Rehabil* 1984;11:499-509
143. Roulet JF. Degradation of dental polymers. Karger Verlag. Basel. 1987.
144. Roulet JF: A materials scientist's view : assesment of wear and marginal integrity. *Quintessence Int* 1987;18:543-552
145. Roulet JF: Werkstoffkundliche Parameter und ihre Auswirkungen auf die Klinik. *Dtsch Zahnärztl Z* 1988;43:887-892
146. Roulet JF, DeGrange M: Adhesion:The silent revolution. *Journal of Dentistry* 2000;22 Suppl 1:9-12

147. Roulet JF: Marginal integrity:clinical significance. *J Dent* 22 1994;Suppl 1:S9-12
148. Schaller HG, Götze W, Bertrams U: Prüfung der Randständigkeit verschiedener Kompositkunststoffe im Seitenzahnbereich. *Dtsch Zahnärztl Z* 1988;43:914-918
149. Schoch M, Kramer N, Frankenberger R, Petschelt A: Direct posterior composite restorations with a new adhesive system: one-year results. *J Adhes Dent* 1999;1:167-173
150. Schuckar M, Geurtsen W: Die approximal-zervikale Randdichte von Klasse-II-Komposit-füllungen nach Temperaturwechselbelastung. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:164-166
151. Steinbrenner H, Eickholz P, Staehle HJ: Zur Reproduzierbarkeit der qualitativen und quantitativen Randanalyse. *Dtsch Zahnärztl Z* 1995;50:920-923
152. Strassler HE: Applications of total-etch adhesive bonding. *Compend Contin Educ Dent* 2003;24:427-6
153. Strydom C: Curing lights—the effects of clinical factors on intensity and polymerisation. *SADJ* 2002;57:181-186
154. Swift EJ, Jr., Cloe BC: Shear bond strengths of new enamel etchants. *Am J Dent* 1993;6:162-164
155. Tay FR, Pashley DH: Dental adhesives of the future. *J Adhes Dent* 2002;4:91-103
156. Tjan AHL, Bergh BH, Lidner C: Effect of various incremental techniques on the marginal adaptation of class II composite resin restorations. *J Prosth Dent* 1992;67:62-66
157. Tripi TR, Bonaccorso A, Tripi V, Rapisarda E: A comparison of the adhesion of three restorative materials. *J Clin Dent* 2002;13:234-239
158. Tung FF, Hsieh WW, Estafan D: In vitro microleakage study of a condensable and flowable composite resin. *Gen Dent* 2000;48:711-715
159. Tyas MJ: Dental amalgam - what are the alternatives?. *Internat Dental Journal* 1994;44:303-308

160. Uno S, Finger WJ: Funktion of the hybrid zone as a stress-absorbing layer in resin-dentin bonding. *Quintessence Int* 1999;30:249-257
161. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G: Morphological characterisation of the interface between resin and sclerotic dentin. *J Dent Res* 1992;71:1530-1540
162. Van Meerbeek B, Perdigao J, Lambrechts P: The clinical performance of adhesive. *J Dent* 1998;26:1-20
163. Van Meerbeek G, et al: Dentinhaftung. Mechanismen und klinische Resultate. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994;49:977-984
164. Versluis A, Douglas WH, Cross M, Sakaguchi RL: Does an incremental filling technique reduce polymerisation shrinkage stress?. *J Dent Res* 1996;75:871-878
165. Versluis A, Tantbirojn D, Douglas WH: Do dental composites always shrink toward the light?. *J Dent Res* 1998;77:1435-1445
166. Versluis A, Tantbirojn D: Theoretical considerations of contraction stress. *Compend Contin Educ Dent* 1999:SupplS24-S32
167. Vogel K: Schnelle Polymerisation und gute Füllungsqualität sind kein Widerspruch. *ZMK* 2002;10:710-711
168. Watts D, Al Hindi A: Preliminary measurements of polymerisation shrinkage strain in Definite, 23. *IADR Abstract* 2169: 1998.
169. Wet de FA, Exner HV, Preez du IC, Niekerk JP: The effect of placement technique on marginal adaptation of posterior resins. *J Dent Assoc* 1991;46:171-174
170. Wibowo G, Stockton L: Microleakage of Class II composite restorations. *Am J Dent* 2001;14:177-185
171. Williams PT, Schramke D, Stockton L: Comparison of two methods of measuring dye penetration in restoration microleakage studies. *Oper Dent* 2002;27:628-635
172. Wiseman M: *SPSS für Windows Special Topics: Einige Grundbegriffe der Statistik*. Leibniz-Rechenzentrum, 2000.

173. Wolter H, Storch W: The influence of molecular structure on the properties of inorganic-organic copolymers. *Polymer Adv Tech Abstract* 216: 1993.
174. Wolter H, Storch W, Ott H: New inorganic/organic copolymers (ORMOCER) for dental application. *Mat Res Soc Symp* 1994;346:143-149
175. Xu HH, Kelly JR, Jahanmir S, Thompson VP, Rekow ED: Enamel subsurface damage due to tooth preparation with diamonds. *J Dent Res* 1997;76:1698-1706
176. Yap AU: Effectiveness of polymerization in composite restoratives claiming bulk placement: impact of cavity depth and exposure time. *Oper Dent* 2000;25:113-120
177. Yap AU, Seneviratne C: Influence of light energy density on effectiveness of composite cure. *Oper Dent* 2001;26:460-466
178. Yazici AR, Ozgunaltay G, Dayangac B: The effect of different types of flowable restorative resins on microleakage of Class V cavities. *Oper Dent* 2003;28:773-778
179. Yoshiyama M, Carvalho R, Sano H, Horner J, Brewer PD, Pashley DH: Interfacial morphology and strength of bonds made to superficial versus deep dentin. *Am J Dent* 1995;8:297-302
180. Yoshiyama M, Tay FR, Torii Y, Nishitani Y, Doi J, Itou K, Ciucchi B, Pashley DH: Resin adhesion to carious dentin. *Am J Dent* 2003;16:47-52

## 9. Materialliste

<b>Material</b>	<b>Hersteller</b>
Anmischgerät für Abformmasse, Pentamix <sup>®</sup>	3M ESPE AG, Seefeld
Abformmasse, Impregum <sup>®</sup> Penta	3M ESPE AG, Seefeld
Ätzel, Total etch	Vivadent, Ellwangen
Antagonistenmaterial, Steatitkugeln	Ceram Tec, Marktredwitz
Komposit, Quixfil	Dentsply, Konstanz
Komposit, Tetric <sup>®</sup> Ceram	Vivadent, Ellwangen
Komposit, Quixfil	Dentsply, Konstanz
Komposit, Surefil	Dentsply, Konstanz
ormocerbasiertes Komposit, Material A	Dentsply, Konstanz
ormocerbasiertes Komposit, Material B	Dentsply, Konstanz
fließfähiges Komposit. X Flow	Dentsply, Konstanz
Haftvermittler, Prime & Bond NT	Dentsply, Konstanz
Haftvermittler, KJ7-101-07	Dentsply, Konstanz
Haftvermittler, XenoIII	Dentsply, Konstanz
Haftvermittler, Syntac <sup>®</sup> Primer	Vivadent, Ellwangen
Haftvermittler, Syntac <sup>®</sup> Adhesive	Vivadent, Ellwangen
Haftvermittler, Heliobond	Vivadent, Ellwangen

<b>Materialname</b>	<b>Hersteller</b>
Halogenpolymerisationslampe, Astralis 5	Vivadent, Ellwangen
Halogenpolymerisationslampe, Elipar Highlight	3M ESPE AG, Seefeld
Modellkunststoff für Replika, Epoxy-Die	Ivoclar, Schaan, Liechtenstein
Kausimulator, Münchner Modell	Willytec, München
Thermowechselbad, WEDC1V	Willytec, München
Sputteranlage, SEM Autocoating Unit E5200	Polaron Equipment Ltd
Rasterelektronenmikroskop, Leitz AMR 1200	Leitz, Wetzlar
Auflichtstereomikroskop, StemiSV11	Zeiss, Oberkochen
Karbonkleber, LEIT-C-PLAST	Neubauer Chemikalien, Münster
Sof-Lex-Disks, Sof-Lex	3M Dental, St. Paul, USA
PA-Sonde, PCP12	HuFriedy, Leimen
Heidemannspatel, Aesculap DE420	Aesculap AG, Tuttlingen
Software für Statistik, SPSS for Windows 10.1	SPSS Inc. Chicago, USA
Software für quantitative Randanalyse, Quanti-Gap <sup>®</sup>	Steffan Küppers, Erlangen
Doppelsonde EXD5	HuFriedy, Leimen
Präparierdiamanten FG414,FG8225, FG 4025, FG5274	Intensiv, Viganello-Lugano, Schweiz
Nikon,Fotoapparat, AC UNIT LA-2, FOR MEDIKAL NIKKOR	Nikon, Japan

## **10. Lebenslauf**

Name: Marta Thum, geb. Urbánková

Geboren: 11.4.1972 in Trenčín, Slowakei

Eltern: Ing. Anton Urbánek  
Ing. Marta Urbánková, geb. Čížiková

Geschwister: Anton Urbánek  
Ing. Michal Urbánek

Familienstand: seit 1996 verheiratet mit Dipl.Ing. Xaver Thum, 3 Kinder

Schulbildung: 1978-1986 Grundschule in Trenčín, Slowakei.

1986-1889 Gymnasium L.Štúra in Trenčín, Slowakei.

1989-1990 Abiturjahr, Gymnasium in Banská Štiavnica,  
Slowakei.

Studium: 1990-1997 Studium der Zahnmedizin an der Universita  
Palackého in Olomouc (LF UP), Tschechien.

1992-1993 Stipendiumjahr (TEMPUS Projekt), School of  
Computing an der Staffordshire University, England.

Juni 1997 Staatsexamen, Promotion an der LF UP in Olomouc,  
Tschechien.

Seit 2001 Tätigkeit als Gastzahnärztin an der LMU München,  
Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie,  
Deutschland.

## **11. Danksagung**

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. R. Hickel, Direktor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, für die Möglichkeit die Ressourcen der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie zu nutzen.

Bei Herrn OA PD Dr. J. Manhart möchte ich mich für die Themenstellung und kompetente Betreuung dieser Studie bedanken.

Herrn Dipl. Ing.T. Obermeier bedanke ich mich für seine Hilfsbereitschaft bei dem Betrieb des Rasterelektronenmikroskopes.

Ganz besonders bedanke ich mich bei meinen Eltern, die mir eine fundierte Ausbildung ermöglichten und zusammen mit meiner Schwiegermutter, Frau Elisabeth Thum, eine große Unterstützung bei der Erziehung meiner Kinder sind.

Meinen Töchtern Anna, Katharina und Barbara danke ich auch, weil Sie für eine abwechslungsreiche und fordernde Arbeitsatmosphäre sorgten.

Letzter Dank gilt meinem Mann, für seine aufheiternde Mithilfe und unermüdliche Unterstützung.