

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie  
der Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der  
Universität Würzburg  
Direktor: Professor Dr. med. dent. B. Klaiber

**Qualitative und quantitative Randspaltanalyse von Klasse-V-Kavitäten  
in Abhängigkeit von Adhäsiv und Schichttechnik**

**Inaugural - Dissertation**

zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der

Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von

**Tina Lydia Selbert**

aus Würzburg

Würzburg, Dezember 2010

Referent: Prof. Dr. med. dent. B. Klaiber

Koreferent: Prof. Dr. med. dent. Th. Holste

Dekan: Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 15. 03. 2011

Die Promovendin ist Zahnärztin.

*Das Gefährlichste an den Halbwahrheiten ist,  
dass fast immer die falsche Hälfte geglaubt wird.*

Hans Krailsheimer (1888-1958)



# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemstellung	1
1.1	Komposit	2
1.1.1	Verschiedene Viskositäten	2
1.1.2	Das Nanokomposit Filtek <sup>TM</sup> Supreme XT	3
1.2	Haftung am Schmelz	3
1.3	Haftung am Dentin	4
1.3.1	Die Adhäsivtechnik	4
1.3.2	Einteilung der Adhäsivsysteme	5
1.4	Die Klasse-V-Kavität	6
1.5	Problemstellung	7
2	Material und Methode	8
2.1	Übersicht	8
2.2	Vorbereitung	14
2.3	Herstellung	15
2.3.1	Präparation der Kavität	15
2.3.2	Auftrag des Adhäsivsystems	16
2.3.2.1	Das Ein-Schritt-Adhäsiv Adper <sup>TM</sup> Prompt <sup>TM</sup> L-Pop <sup>TM</sup>	16
2.3.2.2	Das Mehr-Schritt-Adhäsiv OptiBond <sup>TM</sup> FL	17
2.3.3	Einbringen des Komposites	18
2.3.3.1	Einschicht-Füllungen	18
2.3.3.2	Mehrschicht-Füllungen	18
2.3.4	Politur der Kompositfüllung	20
2.4	Weiterverarbeitung	21
2.4.1	Wasserlagerung	21
2.4.2	Thermische Wechselbadbelastung	21
2.4.3	Replikaherstellung	21
2.4.4	Farbstoffpenetration	22
2.5	Randanalyse	24
2.5.1	Auswertung durch das Rasterelektronenmikroskop (REM)	24
2.5.2	Auswertung durch das Auflichtmikroskop	28
2.6	Statistische Auswertung	30
3	Ergebnisse	33
3.1	Füllungsverfahren	33
3.2	Penetration (Ergebnisse der Auflichtmikroskopie)	33
3.2.1	Überprüfung auf statistische Signifikanz	33
3.2.2	Füllungsverfahren und Penetration	33
3.3	Randqualität (Ergebnisse der Rasterelektronenmikroskopie)	34
3.3.1	Überprüfung auf statistische Signifikanz	34
3.3.2	Füllungsverfahren und Randqualität	35
3.3.2.1	Die 14 Versuche	35
3.3.2.2	Die Einflussparameter	37
3.4	Randqualität Schmelz	38
3.4.1	Füllungsverfahren und Randqualität Schmelz	38
3.4.1.1	Die 14 Versuche	38
3.4.1.2	Die Einflussparameter	40
3.4.2	Penetration und Randqualität Schmelz	40
3.4.3	Gesamte Randqualität und Randqualität Schmelz	40

3.5 Randqualität Dentin .....	40
3.5.1 Füllungsverfahren und Randqualität Dentin.....	41
3.5.1.1 Die 14 Versuche .....	41
3.5.1.2 Die Einflussparameter .....	43
3.5.2 Penetration und Randqualität Dentin.....	43
3.5.3 Gesamte Randqualität und Randqualität Dentin.....	44
3.6 Randqualität Schmelz und Randqualität Dentin.....	44
3.7 Zusammenfassung der Ergebnisse .....	44
4 Diskussion.....	45
4.1 Bewertung der Methoden .....	45
4.1.1 Zahnmaterial, Herstellung und Alterung der Proben.....	45
4.1.2 Auswertung und Beurteilung der Proben .....	52
4.2 Beurteilung der Ergebnisse .....	56
4.2.1 Einfluss des Adhäsivsystems auf die Randqualität.....	56
4.2.2 Einfluss der Schichttechnik auf die Randqualität .....	70
4.2.3 Einfluss weiterer Faktoren.....	76
4.3 Schlußfolgerung .....	82
5 Zusammenfassung.....	85
Anhang.....	88
Literaturverzeichnis .....	88
Tabellen und Abbildungen.....	127
Danksagung .....	155
Lebenslauf.....	156







## 1 Einleitung und Problemstellung

In der Zahnmedizin spielt die Ästhetik in der heutigen Zeit eine immer wichtigere Rolle. So äußern Patienten vermehrt den Wunsch nach „zahnfarbenen“ Restaurationen (HICKEL und KLAIBER 1992, PERDIGAO et al. 2000a). Die Angst vor Unverträglichkeiten sowie ein enormer Fortschritt während der letzten Jahrzehnte im Bereich der Adhäsivtechnik, verdrängen immer mehr den Werkstoff Amalgam (BROWN 1991, MANHART 2010). Spätestens seit Ende der 1980er Jahre lässt sich eine starke Ablehnung seitens der Patienten nicht mehr verleugnen (FÉDERATION DENTAIRE INTERNATIONALE 1991). Mittlerweile ist Amalgam als Füllstoff fast vollständig durch die zahnfarbenen Komposite verdrängt worden. Seit der Einführung der Komposite durch BOWEN (1962) und einer steten Weiterentwicklung im Bereich der Materialien erweitert sich das Indikationsspektrum von kleineren okklusalen und zervikalen Versorgungen, Aufbaufüllungen, kosmetischen Zahnformveränderungen, Fissurenversiegelungen bis hin zu größeren, mehrflächigen direkten und indirekten Füllungen im Front- und Seitenzahnbereich (LEHMANN und HELLWIG 1998, KLAIBER 2006, HELLWIG et al. 2009). Die Haltbarkeit ist unter anderem auch vom gewählten Adhäsivsystem abhängig (FRANKENBERGER et al. 1999a, YOSHIYAMA et al. 2000, FRANKENBERGER et al. 2001a, KLEBER et al. 2002, BLUNCK und ZASLANSKY 2007). Klinische Studien zeigen, dass sich Komposite bei sorgfältiger Indikationsstellung und einer Beschränkung des Einsatzbereiches durchaus bewähren können (KAMANN und GÄNGLER 2000). Um die Langlebigkeit solch adhäsiv verankerter Restaurationen gewährleisten zu können, bedarf es neben einer sorgfältigen Verarbeitung auch einer fundierten Kenntnis der Eigenschaften verwendeter Materialien. Polymerisationsschrumpfung, ein zu feuchtes Arbeitsfeld, Verarbeitungsfehler oder gar ein nicht kompatibles Adhäsivsystem wirken sich negativ auf die Haltbarkeit solcher Restaurationen aus (FRANKENBERGER et al. 2000b, PASHLEY und TAY 2001, SANARES et al. 2001, TAY et al. 2001, MARQUEZINI et al. 2002, HALLER und BLUNCK 2003, WITZEL et al. 2003, VAN MEERBEEK et al. 2004, PEUMANS et al. 2005a, b, BLUNCK und ZASLANSKY 2007, FRANKENBERGER et al. 2008, BLUNCK et al. 2009).

### 1.1 Komposit

Komposite sind aus einer Vielzahl unterschiedlicher Komponenten zusammengesetzte Werkstoffe, deren Hauptbestandteile die organische Matrix, die disperse Phase (Füller) und die Verbundphase (Silane, Kopolymere) sind. Während LUTZ et al. (1983) die Komposite noch aufgrund ihrer Füllergöße (Makro-, Mikro- und Hybridkomposite) klassifizierten, hält ERNST (2010) eine Einteilung hinsichtlich ihrer Konsistenz, der enthaltenen Füllpartikel und nach der Basischemie (Matrix) für sinnvoll.

#### 1.1.1 Verschiedene Viskositäten

Ein gutes Anfließen des verwendeten Restaurationsmaterials hat klinisch eine große Bedeutung. Dies wird gerade bei der Versorgung der Klasse-V-Kavität deutlich, da hier häufig aufgrund einer schwierig durchzuführenden Trockenlegung der Zeitfaktor eine wichtige Rolle spielt.

Durch eine Veränderung der Matrix wurden stopfbare (modellierbare) Komposite erzielt. Hierdurch erhöhte sich die Viskosität, wodurch ein Befüllen kleiner Kavitäten nicht mehr möglich wurde (ERNST 2010). Zusätzlich sind fließfähige Komposite entwickelt worden, welche neben einem geringeren Füllkörperanteil auch verdünnende Matrixbestandteile, wie z. B. TEGDMA, enthalten, und zur Restauration kleinerer Kavitäten, schwer zugänglicher Randbereiche und für erweiterte Fissurenversiegelungen geeignet sind (ERNST 2010). Sehr hilfreich ist der Einsatz eines fließfähigen Komposites, wenn es als dünne Schicht (Unterlage) zwischen Adhäsiv und der ersten modellierten Kompositenschicht zu liegen kommt, was sich positiv auf die Randadaptation auswirken kann (CBF-Technik = composite-bonded-to-flowable). Ferner stellt das Flowable häufig das alleinige Restaurationsmaterial bei kleinen zervikalen Läsionen dar (ERNST 2006). Fließfähige Komposite besitzen eine höhere Polymerisationsschrumpfung, ein geringeres E-Modul, sind weniger verschleißfest und weisen niedrigere Werte bei der Vickershärte, der Röntgenopazität und der mechanischen Festigkeit auf. Das modellierbare Kompositmaterial zeichnet sich durch eine geringere Schrumpfung bei gleichzeitig größerem E-Modul aus. Diese Eigenschaften

spielen im Randspaltverhalten eine bedeutende Rolle, werden jedoch gegenseitig nicht ausgeglichen.

Ein vor kurzem auf dem Markt erschienenenes fließfähiges Kompositmaterial (SDR™, Fa. Dentsply/Caulk, York, USA) kann aufgrund einer veränderten Matrixchemie eine um wenige Sekunden verzögerte Polymerisation erreichen und somit eine – im Vergleich zu herkömmlichen Flowables – deutliche Reduktion der Schrumpfkraft erzielen, wie diese bei stopfbaren Materialien vorliegt (ERNST 2010). Trotz eines relativ hohen Füllkörpergehaltes (68 Gew.-%) erweist es sich angenehm fließfähig in der Anwendung (KLUSCHKE 2010). Eine weitere Innovation ist die maximal zu verwendende Schichtdicke. So kann das Material pro Lage bis zu vier mm dick aufgetragen und lichtgehärtet werden, was sich klinisch als Vorteil erweist. Abschließend muss es mit einem herkömmlichen Komposit abgedeckt werden (ERNST 2010).

### **1.1.2 Das Nanokomposit Filtek™ Supreme XT**

Das in dieser Dissertation verwendete Komposit Filtek™ Supreme XT gehört in die Gruppe der Nanohybridkomposite (CHEN 2010). Diesen sind Nanofüller als Cluster oder in disperser Form zugefügt. Man bezeichnet ein Komposit, dessen anorganische Bestandteile sich in einem Bereich von 0,1 und 100 nm befinden, als Nanokomposit. Die kommerziellen Nanokomposite weisen Unterschiede in ihrer Zusammensetzung und Füllergöße auf. Filtek™ Supreme XT enthält Nanocluster mit einer durchschnittlichen Cluster-Partikelgröße von 0,6-1,4µm (primäre Partikelgröße 5-20nm), der Füllergehalt beträgt beim modellierbaren Komposit 59,5 Vol.-% bzw. 78,5 Gew.-%, beim Flowable 55 Vol.-% bzw. 65 Gew.-% (PRODUKTINFORMATION 3M ESPE 2005).

## **1.2 Haftung am Schmelz**

Die Schmelzadhäsion wird heute als erfolgreiches Standardverfahren bei adhäsiv verankerten Dentalfüllungen beschrieben (JAIN und STEWART 2000). Da Komposit keinen chemischen Verbund mit den Zahnhartsubstanzen eingeht, bedarf es vor Einbringung des Füllmaterials der Konditionierung des Zahnschmelzes mittels 37%iger Phosphorsäure für

mindestens 30 Sekunden (sog. Schmelz-Ätz-Technik). Durch vorheriges Ätzen gelang es BUONOCORE (1955), einen niedrigviskösen Fissurenversiegler am Zahnschmelz dauerhaft und randdicht zu verankern. Die Ätzung des Schmelzes dient der Reinigung und Oberflächenvergrößerung (RETIEF 1973, CRIM und SHAY 1987, LEGLER et al. 1990). Die Oberflächenenergie des Schmelzes wird erhöht, was eine bessere Benetzbarkeit der vorbehandelten und getrockneten Schmelzoberfläche zur Folge hat (JENDRESEN et al. 1981, RUYTER 1995). Hat man vorher eine Anströmung des Kavitätenrandes vorgenommen, erzielt man eine bessere Ätzwirkung als dies bei lateral getroffenen Prismen der Fall ist (HALLER und BLUNCK 2003). Die Art des vorliegenden Ätzmusters ist sehr variabel und abhängig von Verlauf und Anordnung der Prismenstäbe und ihrer Kristallite, der Kristalldichte, sowie der Konzentration der Säure und der Länge der Einwirkzeit (SCHROEDER 2000). Um die nun bis zu 400% verbesserte Benetzbarkeit des Schmelzes nutzen zu können, wird die Kavität mit einem niedrigviskösen Füllstoff bzw. mit einem Bonding (Schmelzhaftvermittler) benetzt, um für eine ausreichende Verzahnung zwischen Hybridkomposit und Zahnhartsubstanz zu sorgen (GEURTSSEN et al. 1990).

### **1.3 Haftung am Dentin**

#### **1.3.1 Die Adhäsivtechnik**

Da bei der Polymerisation moderner Komposite eine Schrumpfung im Bereich von 1-3 Vol.-% auftritt, ist eine stabile und dichte Verankerung des Restaurationsmaterials an Schmelz und Dentin erforderlich, um Spaltbildungen an Füllungsrand und Kavitätenboden zu verhindern (HALLER und BLUNCK 2003). Aufgrund der hydrophilen Eigenschaft des Dentins lässt sich eine Restauration aus hydrophobem Komposit nicht ausreichend an ihm befestigen. Wieder war es BUONOCORE (1955), der mit dem Vorschlag, das Dentin vor Einbringen des Komposits mit Säure zu behandeln, die Adhäsivtechnik vorantrieb. Für einen verlässlichen Komposit-Dentin-Verbund sind somit folgende Schritte nötig: Konditionierung (bewirkt retentive Oberfläche), Priming (schafft benetzbare Oberfläche) und Adhäsiv bzw. Bonding (Versiegelung des Dentins, Verankerung im Dentin, Verbindung zum Komposit). Die Applikationszeit einer 30- bis 40%igen Phosphorsäure sollte im Bereich des Dentins nicht länger als 20 Sekunden betragen (HALLER und BLUNCK 2003). In Abhängigkeit von Konzentration und Einwirkdauer werden

verschiedene Demineralisationstiefen (0,5-7,5 µm) des Oberflächendentins beobachtet (VAN MEERBEEK et al. 1992a, PERDIGAO et al. 1996). Das retentive Ätzmuster wird jedoch nicht einzig durch eine partielle oder vollständige Freilegung der Dentintubuli erzeugt. Vielmehr spielen mikroretentive Räume, welche aufgrund einer teilweisen Entkalkung des inter- und peritubulären Dentins entstehen, am Übergang zum unveränderten Dentin eine entscheidende Rolle (NIKAIDO 1989, HALLER et al. 1991). Hier kommen Dentinhaftvermittler zum Einsatz, welche durch eine Methacrylatgruppe, einem Distanzhalter und einer funktionellen Gruppe, eine chemische Bindung mit dem organischen bzw. anorganischen Anteil des Dentins eingehen und somit für eine verbesserte Retention der Füllung und ferner für eine Stabilisierung von Restauration und Restzahnsubstanz sorgen. Erkennbar ist eine mikromechanische Verankerung mit dem zuvor demineralisierten Dentin, wodurch das Kollagen freigelegt wird. Der nun aufgetragene Primer dringt in dieses ein, während das Dentinadhäsiv es anschließend stabilisiert. Es entsteht eine Hybridschicht aus hydrophilen Monomeren und Kollagen. In den Dentintubuli sind sog. „Tags“ zu erkennen (HELLWIG et al. 2009).

### 1.3.2 Einteilung der Adhäsivsysteme

Eine Vielzahl verschiedener Adhäsivsysteme erschwert dem Behandler zunehmend die Auswahl. VAN MEERBEEK (1994) nimmt eine Klassifikation der zur Verfügung stehenden Systeme im Bezug auf den Umgang mit der Schmierschicht vor (Imprägnierung/ Entfernung/ Modifikation), während bis vor kurzem (in den USA noch immer) eine Einteilung der Adhäsive chronologisch in Generationen (SCHÄFER 1999a, b, c) erfolgte. Diese Einteilung nach Generationen bezeichnet FRANKENBERGER (2008) als nicht mehr zeitgemäß und bevorzugt deshalb eine funktionelle Einteilung nach Arbeitsschritten (State of the Art). Generell lassen sich die aktuell auf dem Markt erhältlichen Systeme in Drei-Schritt-, Zwei-Schritt- und Ein-Schritt-Systeme unterteilen. Während bei den Drei-Schritt-Systemen die Konditionierung und das Auftragen von Primer und Adhäsiv in getrennten Schritten verlaufen, vereinen moderne Ein-Schritt-Systeme die genannten Arbeitsschritte in nur einem Auftrag. Bei Zwei-Schritt-Systemen findet man sowohl Produkte, welche vor dem Auftrag der in einem Fläschchen kombinierten Primer-Adhäsiv-Lösung eine Konditionierung durch Säure verlangen, als auch die Vereinigung von Säure und Primer in einem Gefäß, die Adhäsiv-Flüssigkeit in einem weiteren. Ferner unterscheidet man Bonding-

systeme mit Totalätztechnik (Drei- und Zwei-Schritt-Applikation), selektiver Schmelzätzung (Drei-Schritt-Applikation) und Bondingsysteme ohne Phosphorsäureätzung (Zwei- und Ein-Schritt-Applikation).

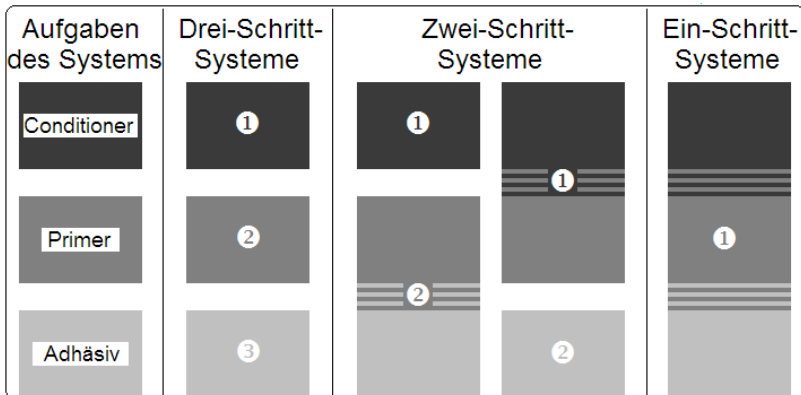


Abbildung 1. Einteilung der Adhäsivsysteme .

#### 1.4 Die Klasse-V-Kavität

Der Grund für Defekte im Bereich des Zahnhalses ist nicht nur die Karies. Der vermehrte Genuss zahlreicher zahnschädigender Lebensmittel (säurebedingte Erosionen), ungenügende oder falsche Mundhygiene, Parafunktionen (Pressen, Knirschen), eine längere Erhaltung einzelner Zähne durch verbesserte Behandlungsmöglichkeiten im Bereich der Parodontologie und Endodontie und eine immer älter werdende Gesellschaft stellen ebenfalls Indikationen für Zahnhalsfüllungen dar (HICKEL 1994, REES 1998, PALAMARA et al. 2000, RENGGLI 2000). Häufig findet man mehrere Ursachen kombiniert (HOLBROOK et al. 1999). So weisen 18% aller bleibenden Zähne zervikale Defekte auf (VANDEWALLE und VIGIL 1997). Die Wurzelkariesprävalenz ist sowohl bei Erwachsenen als auch bei Senioren seit 1997 stark angestiegen (MICHEELIS 2006). Die VIERTE DEUTSCHE MUNDGESUNDHEITSSTUDIE (DMS IV) zeigt, dass 21,5% der Erwachsenen und 45,0% der Senioren mindestens eine kariöse oder gefüllte Wurzelfläche besitzen (MICHEELIS 2006). Seit der DRITTEN DEUTSCHEN MUNDGESUNDHEITSSTUDIE

(DMS III) von 1997 hat sich die Zahl der noch vorhandenen Zähne erstmals bei den Erwachsenen und Senioren erhöht. Dadurch nehmen Paro-Rezessionen immer stärker zu und dementsprechend auch das Risiko für die Wurzelkaries. Ferner bestätigt sie einen Rückgang kariesbedingt extrahierter Zähne (MICHEELIS 2006) und somit die Notwendigkeit verlässlicher Restaurationstechniken.

Verglichen mit den übrigen Kavitätenformen muss die Klasse-V-Füllung gewissen zusätzlichen Ansprüchen genügen. Aufgrund ihrer Entstehung (u. a. falsche Mundhygiene) und Lage (Nähe zum Sulkus), einer meist nicht vorhandenen Retentionsform (keilförmiger oder planer Putzdefekt) und ihrer Größe (kleine punktförmige bis hin zur zervikal umgreifenden Ausdehnung) ist eine notwendige Sorgfalt bei der Durchführung ebenso unverzichtbar wie fundierte Kenntnisse im Bereich der zur Anwendung kommenden Materialien. Da Zahnhalsfüllungen häufig in ästhetisch relevanten Bereichen liegen, erwarten die Patienten zusätzlich ein gut aussehendes und ansprechendes Restaurationsergebnis. Das klassische Füllmaterial für die Klasse-V-Kavität war früher die Goldhämmerfüllung. Bei korrekter Fülltechnik entstanden randdichte und langlebige Restaurationen, jedoch finden sie kaum noch Verwendung (LEHMANN und HELLWIG 1998). Mittel der Wahl für den Zahnhalsbereich heute ist die adhäsiv verankerte, zahnfarbene Restauration mit Kompositen, Kompomeren oder Glasionomer-Zementen.

### **1.5 Problemstellung**

In dieser Studie werden folgende Fragen untersucht:

- Gibt es einen signifikanten Unterschied im Randschlussverhalten bei Verwendung eines Einschrittheadhäsives verglichen mit einem Mehrschrittssystem?
- Wirken sich verschiedene Schichtungen des Komposites auf die Randdichte aus?
- Gibt es qualitative Unterschiede im Randschlussverhalten zwischen einem fließfähigen und einem modellierbaren Komposit? Verbessert sich der Randschluss, wenn man nach dem Adhäsiv als erste Schicht ein fließfähiges (=flowable) Komposit aufträgt?

## 2 Material und Methode

### 2.1 Übersicht

In 140 extrahierte kariesfreie menschliche Weisheitszähne wurden nach Präparation von Klasse-V-Kavitäten Kompositfüllungen gelegt, welche sich jeweils durch das verwendete Adhäsivsystem und die Fülltechnik unterschieden.

Als Adhäsivsysteme wurden Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) und OptiBond<sup>TM</sup> FL (Fa. Kerr GmbH, Karlsruhe, Deutschland) verwendet. Die Füllungen wurden aus dem Kompositmaterial Filtek<sup>TM</sup> Supreme XT Body Shade und Filtek<sup>TM</sup> Supreme XT Flowable Restorative (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) hergestellt.

Alle Polymerisationsvorgänge wurden mit der Lampe Elipar<sup>TM</sup> Free Light 2 (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) durchgeführt. Die Leistung der Lampe beträgt  $850 \text{ mW/cm}^2$  und wurde vor jeder Testreihe mit einem Messgerät (Model 100 Curing Radiometer, Fa. Demetron Research Corp., Danbury, USA) überprüft. Während der verschiedenen Arbeitsschritte wurde mit einer Lupenbrille bei 2,5facher Vergrößerung (Fa. Carl Zeiss West Germany, Oberkochen, Deutschland) gearbeitet, um den Qualitätsstandard zu gewährleisten.

Nach Probenherstellung wurden die Zähne einer thermischen Wechselbadbelastung (Thermocycling) unterzogen. Im Anschluss daran wurde von jeder Füllung ein Silikon-Abdruck genommen, welcher mit Harz ausgegossen, mit Gold bedampft und anschließend zur Beurteilung durch das REM herangezogen wurde.

Eine alternative Auswertung des Randspaltes erfolgte mit dem Auflichtmikroskop. Hierfür wurden die Proben in ein Färbebad (Silbernitratlösung) gegeben und anschließend senkrecht zersägt.



Die folgende Übersicht (Abbildung 2) verdeutlicht die einzelnen Schritte.

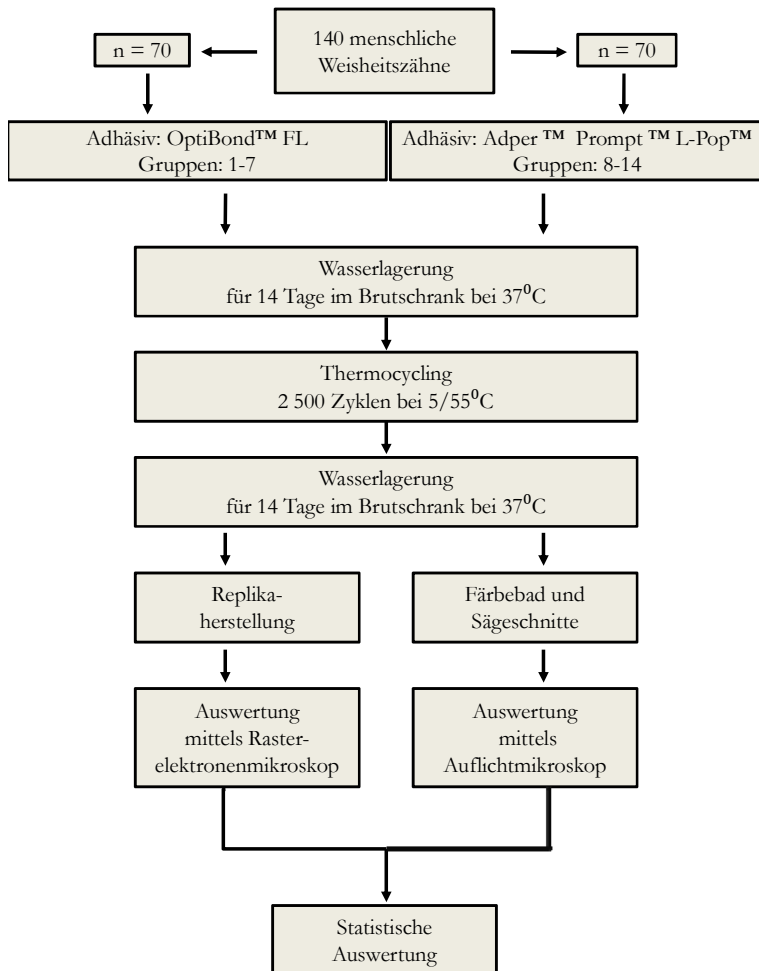


Abbildung 2. Das Vorgehen in einzelnen Schritten.

Als Kompositmaterial wurde Filtek™ Supreme XT Body Shade und Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) verwendet. Das Body-Material ist in herkömmlichen Spritzen und Kapseln zur Einmaldosierung verpackt. Das Flowable ist in Spritzen erhältlich. Filtek™ Supreme XT fällt unter die Gruppe der Nanokomposite und zeichnet sich durch ein einzigartiges Verbundmuster von Partikeln im Nanobereich aus. Diese Nanocluster zeigen bei der Abrasion das gleiche Scherverhalten, wie es beim Verschleiß der umgebenden Hartmatrix auftritt und weist dadurch eine glattere Oberfläche und einen länger anhaltenden Glanz auf (PRODUKTINFORMATION 3M ESPE 2010).



Abbildung 3. Das Komposit Filtek™ Supreme XT Body Shade und Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative (3M ESPE).

**Zusammensetzung der verwendeten Komposite Filtek™ Supreme XT Body Shade (3M ESPE) und Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative (3M ESPE):**

<b>Produkt</b>	<b>Inhaltsstoffe</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Eigenschaft</b>
Filtek™ Supreme XT Body Shade	Bis-GMA, UDMA, TEGDMA, Bis-EMA  <i>Füller:</i> aggregierte Zirkonium-/Silikafüller-Cluster, durchschnittliche Cluster-Partikelgröße 0,6-1,4µm, primäre Partikelgröße 5-20nm und nicht-agglomerierte/ nicht-aggregierte Silikafüller 20nm  Anorganischer Füllergehalt: 78,5 Gew.-% (59,5 Vol.-%)  <i>Chargen-Nr. 20071216</i>	3 M ESPE	modellierbar
Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative	Bis-GMA, TEGDMA, Bis-EMA  <i>Füller:</i> nicht-agglomerierte/nicht-aggregierte 75nm-Siliziumdioxid-Nanopartikel, nicht-agglomerierte/nicht-aggregierte 15-20nm-Zirkoniumoxid-Nanopartikel, locker gebundene agglomerierte Zirkoniumoxid/Siliziumdioxid-Nanocluster aus Agglomeraten von primären 5-20nm-Zirkoniumoxid/Siliziumdioxid-Partikel Cluster-Partikelgröße 0,6-1,4µm  Anorganischer Füllergehalt: 65 Gew.-% (55 Vol.-%)  <i>Chargen-Nr. 20071213</i>	3 M ESPE	fließfähig

*Tabelle 1. Zusammensetzung der verwendeten Komposite laut Herstellerangaben.*

*Bis-GMA: Bisphenolglycidylmethacrylat, UDMA: Urethandimethacrylat, TEGDMA: Triethylenglycoldimethacrylat, Bis-EMA: Bisphenolethylmethacrylat*

Inhaltsstoffe laut Herstellerangaben (PRODUKTINFORMATION 3M ESPE 2005).

Als Adhäsivsysteme wurden Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) und OptiBond<sup>TM</sup> FL (Fa. Kerr GmbH, Karlsruhe, Deutschland) verwendet. Das Ein-Schritt-Adhäsiv Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) ist im Lollipop-Design (L-Pop<sup>TM</sup>-Blister) erhältlich. Das Mehr-Schritt-Adhäsiv OptiBond<sup>TM</sup> FL (Fa. Kerr GmbH, Karlsruhe, Deutschland) verlangt vor dem Auftrag eine Konditionierung der Zahnoberfläche mit Ätzgel (Ultra-Etch<sup>R</sup>, Ultradent Products Inc., South Jordan, USA).



Abbildung 4. Das Ein-Schritt-Adhäsiv Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> (3M ESPE) und das Mehr-Schritt-Adhäsiv OptiBond<sup>TM</sup> FL (Kerr).

**Zusammensetzung der verwendeten Adhäsive Adper™ Prompt™ L-Pop™ (3M ESPE) und OptiBond™ FL (Kerr):**

<b>Produkt</b>	<b>Inhaltsstoffe</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Generation</b>
Adper™ Prompt™ L-Pop™	<i>gelbe Kammer:</i> Wasser, HEMA, Polyalkensäure, Stabilisatoren, Fluorid	3 M ESPE	Ein-Schritt- Adhäsiv
	<i>rote Kammer:</i> Methacrylierte Phosphate, Bis-GMA, Initiatoren, Stabilisatoren		sechste Generation
	<i>Chargen-Nr. 316619</i>		
OptiBond™ FL	<i>Primer:</i> 30% HEMA, 10% GPDM, 15% PAMA, 1% KC, 22% Ethanol, 22% Wasser	Kerr	Mehr-Schritt- Adhäsiv
	<i>Chargen-Nr. 2910065</i> <i>Adhäsiv:</i> 25,7% Bis-GMA, 19,2% HEMA, 0,3% KC 6,5% GDMA, 2,6% Silikatglas, 42,2% Ba-Al-Boro-Silikatglas, 1,9% Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub>		vierte Generation
	<i>Chargen-Nr. 2788093</i>		

Tabelle 2. Zusammensetzung der verwendeten Adhäsive laut Herstellerangaben.  
 HEMA: 2-Hydroxyethylmethacrylat, Bis-GMA: Bisphenolglycidylmethacrylat,  
 UDMA: Urethandimethacrylat, 4-META: 4-Methacryloxyethyltrimellitanhydrid,  
 GPDM: Glycerophosphatdimethacrylat, PAMA: Phtalsäure-monomethacrylat,  
 KC: Kampferchinon, GDMA: Glycerol-dimethacrylat, BHT: Butylhydroxytoluol,  
 Pyro-EMA: Phosphorsäuremethacrylat, PEM-F: Monofluorphosphatmethacrylat

Inhaltsstoffe laut Herstellerangaben (PRODUKTINFORMATION 2006).

**Zusammensetzung des verwendeten Ätzzels Ultra-Etch® (Omnident):**

<b>Ätzzel</b>	<b>Inhaltsstoff</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Verwendung</b>
Ultra-Etch <sup>R</sup>	37%ige Phosphorsäure	Ultradent Products Inc.	Schmelz- und Dentin- konditionierung

Tabelle 3. Zusammensetzung der verwendeten Phosphorsäure laut Herstellerangaben.

Inhaltsstoffe laut Herstellerangaben (PRODUKTINFORMATION 2006).

### 2.2 Vorbereitung

Bis zur Probenvorbereitung lagerten die 140 frisch extrahierten Weisheitszähne in einer 0,1%igen Chloramin-T-Lösung (Klinikapotheke der Universität, Würzburg, Deutschland). Nach sorgfältiger Reinigung mittels Zahnbürste, Scaler (SH6/79, Fa. Hu-Friedy, Leimen, Deutschland) und Skalpell (Klinge 12D, Fa. Aesculap AG & Co. KG, Tuttlingen, Deutschland) wurden die Zähne zufällig auf 14 mit NaCl-Lösung (Fa. Fresenius AG, Bad Homburg, Deutschland) gefüllte Gefäße verteilt. Im Anschluss wurde jeder Zahn mit Hilfe einer geeigneten Form (1 cm x 2 cm) und dem Kunststoff Paladur (Fa. Heraeus Kulzer GmbH, Hanau, Deutschland) gesockelt, jeder Kunststoffsockel anschließend mit einer Kunststofffräse nachgearbeitet und geglättet. Um die einzelnen Proben unterscheiden zu können, wurden in die Sockel Zahlen von 1 bis 140 graviert.



Abbildung 5. Gesockelte Zähne.

## 2.3 Herstellung

Mit einem walzenförmigen Diamanten (Körnung 80  $\mu\text{m}$ ) wurde an jedem Zahn mit Hilfe des roten Winkelstückes (80.000 Umdrehungen) zervikal eine Kavität angebracht, welche anschließend mit einem Finierdiamanten (Körnung 46  $\mu\text{m}$ ) nachgearbeitet wurde. Die Ränder verliefen je zur Hälfte in Schmelz und Dentin. Im Bereich des Schmelzes erfolgte eine Ansträgung. Nach Auftragen von Ätzelgel (nur Proben der Gruppen 1 bis 7), Adhäsivsystem und dem Einbringen von Kompositmaterial beendete die Politur mittels Gummipolierer (OpraPol Small flame, Fa. Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) das Legen der Zahnhalsfüllung.

### 2.3.1 Präparation der Kavität

Die Präparation der bohnenförmigen Kavität erfolgte mit einem abgerundeten walzenförmigen Diamanten der Körnung 80  $\mu\text{m}$  (ISO 835KR016, Fa. Komet, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland). Im Anschluss wurde die 6 mm lange, 3 mm tiefe und 3 mm breite Kavität mit einem feinen Diamanten der Körnung 46  $\mu\text{m}$  nachfiniert (ISO 8835KR016, Fa. Komet, Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo, Deutschland). Die Schmelzanschrägung erfolgte ebenfalls mit dem Diamanten.

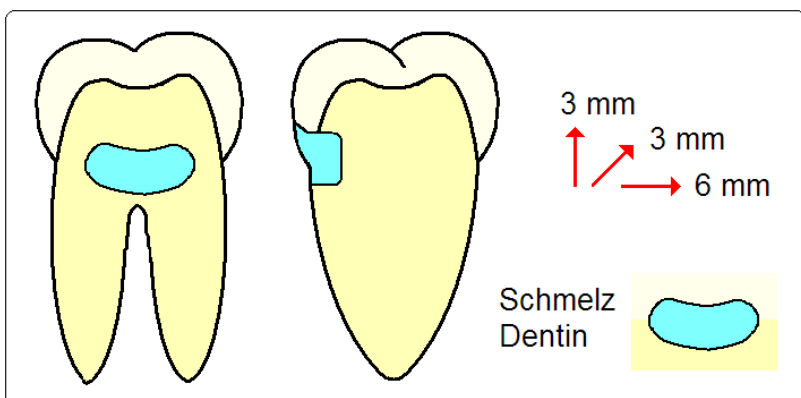


Abbildung 6. Lage der Kavität. Ansicht von frontal und im sagittalen Schnitt.

### 2.3.2 Auftrag des Adhäsivsystems

#### 2.3.2.1 Das Ein-Schritt-Adhäsiv Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>

Das selbstätzende Adhäsivsystem im L-Pop<sup>TM</sup>-Blister übernimmt in einem Schritt das Ätzen, Primern und Bonden der Kavität. Mit Hilfe des beigegefügteten Einmalapplikators wurde es 15 Sekunden lang unter Druck einmassiert und anschließend mit sanftem Luftstrom vollständig zu einem dünnen Film verblasen. Anschließend erfolgte ein zweiter Auftrag. Diese zusätzliche Adhäsivschicht musste laut Herstellerangaben nicht einmassiert werden. Nachdem diese behutsam verblasen wurde, konnte ein dünner Film auf der Zahnoberfläche erkannt werden. Die Aushärtung erfolgte zehn Sekunden lang mit der Polymerisationslampe (Gruppen 8-14).

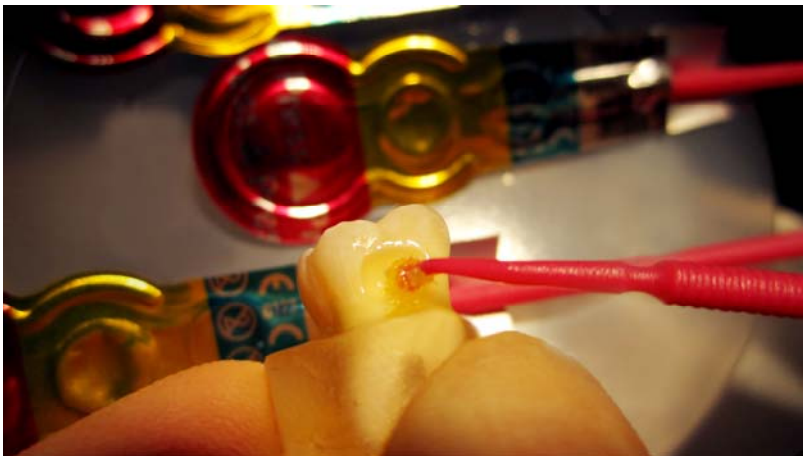


Abbildung 7. Auftrag des Ein-Schritt-Adhäsives Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> (3 M ESPE).



### 2.3.2.2 Das Mehr-Schritt-Adhäsiv OptiBond™ FL

Das aus zwei Komponenten bestehende Primer-Adhäsivsystem verlangt vor dem Auftrag ein Total-Etching mittels Phosphorsäure (Ultra-Etch<sup>®</sup>, Fa. Ultradent Products Inc., South Jordan, USA). Diese wirkte 30 Sekunden lang auf den Schmelz und 15 Sekunden auf das Dentin ein. Anschließend wurde die Phosphorsäure 15 Sekunden lang mit dem Wasserspray entfernt und die Kavität für wenige Sekunden sanft luftgetrocknet; das Dentin durfte dabei nicht austrocknen.



Abbildung 8. Auftrag des Mehr-Schritt-Adhäsives OptiBond™ FL (Kerr).

Der Primer wurde 15 Sekunden mit leichten Bürstbewegungen in Schmelz und Dentin einmassiert, anschließend fünf Sekunden luftgetrocknet bis die Oberfläche glänzte. Nun wurde in dünner Schicht das Adhäsiv aufgetragen, zu den Rändern hin mit leichtem Luftstrom verblasen und anschließend 20 Sekunden lichtgehärtet (Gruppen 1-7).

### **2.3.3 Einbringen des Komposites**

Das modellierbare Komposit wurde mit Hilfe eines kleinen Heidemann-Spatels (ISO 1054/158, Fa. Karl Martin, Solingen, Deutschland) und eines Kugelstopfers (BB 26/27S, Fa. Hu-Friedy, Leimen, Deutschland), das fließfähige Komposit mit der beigefügten Kanüle eingebracht und mit der 3 A-Sonde (EXS3A, J8 CE, Fa. Hu-Friedy, Leimen, Deutschland) in der Kavität verteilt. Jede Schicht wurde 20 Sekunden lang ausgehärtet.

#### **2.3.3.1 Einschicht-Füllungen**

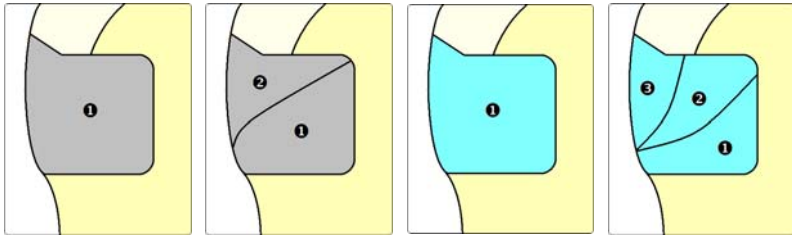
Hierbei handelt es sich um Bulk-Füllungen, d. h. das verwendete Material wurde in Form einer einzigen Schicht in die gesamte Kavität gegeben, ausgehärtet und finiert. Als Materialien verwendet wurden für die Gruppen 3 und 10 das fließfähige Komposite Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland), sowie für die Gruppen 1 und 8 das modellierbare Kompositmaterial Filtek™ Supreme XT Body Shade (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland).

#### **2.3.3.2 Mehrschicht-Füllungen**

Hierbei wurde die Kavität in mehreren Schichten gefüllt, welche jeweils getrennt polymerisiert wurden. Unterschieden wurde dabei eine Schichtung von apikal beginnend und coronal endend (Gruppen 2, 4, 6, 9, 11 und 13) oder umgekehrt von coronal nach apikal verlaufend (Gruppen 5, 7, 12 und 14).

Als Materialien verwendet wurden hierfür das fließfähige Komposit Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) bei den Gruppen 4, 5, 11 und 12, sowie das modellierbare Kompositmaterial Filtek™ Supreme XT Body Shade (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) bei den Gruppen 2 und 9. Ob sich das Verwenden des fließfähigen Komposites unter der ersten Schicht des stopfbaren Materials positiv auf den Randspalt auswirkt, wird ebenfalls untersucht (Gruppen 6, 7, 13 und 14).

Die Übersicht (Abbildung 9) gibt einen Hinweis auf die einzelnen Schritte und die unterschiedlichen Gruppen.

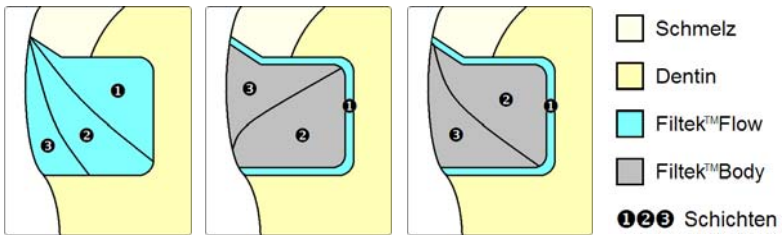


Gruppen 1 und 8

Gruppen 2 und 9

Gruppen 3 und 10

Gruppen 4 und 11



Gruppen 5 und 12

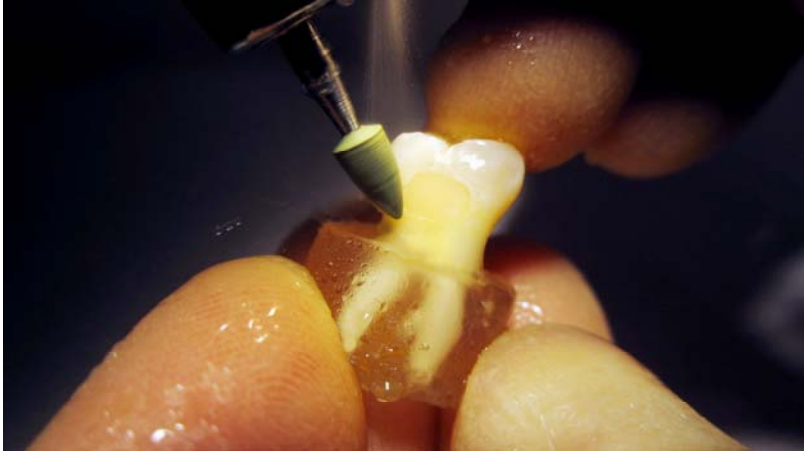
Gruppen 6 und 13

Gruppen 7 und 14

Abbildung 9. Die verschiedenen Schichttechniken.

### 2.3.4 Politur der Kompositfüllung

Nach Abschluss der Polymerisation wurde die Kompositoberfläche mit einer braunen und grünen Polierspitze (OpraPol Small flame, Fa. Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein) unter Wasserkühlung sorgfältig poliert.



*Abbildung 10. Politur der Füllung mit einer OpraPol Small flame (Ivoclar Vivadent AG).*



*Abbildung 11. Die fertige Restauration.*

## **2.4 Weiterverarbeitung**

### **2.4.1 Wasserlagerung**

Nach Beendigung der Kavitätenrestauration erfolgte die Wasserlagerung für 14 Tage. Diese fand bei konstanten 37°C im Brutschrank (Fa. Memmert GmbH & Co.KG, Schwabach, Deutschland) statt.

### **2.4.2 Thermische Wechselbadbelastung**

Im anschließenden 52stündigen Thermocycling wurden die Proben abwechselnd in 5°C kaltes (UKT 600, Lauda Dr. Wobster GmbH & Co KG, Lauda-Königshofen, Deutschland) und 55°C heißes (MT, Lauda Dr. Wobster GmbH & Co KG, Lauda-Königshofen, Deutschland) Wasser getaucht. Jeder Tauchvorgang hatte eine Dauer von 30 Sekunden. Nach 2500 Zyklen endete die Wechselbadbelastung. Anschließend lagerten die Proben noch einmal für weitere 14 Tage im Brutschrank (Fa. Memmert GmbH & Co.KG, Schwabach, Deutschland) bei 37°C.

### **2.4.3 Replikaherstellung**

Nach gründlicher Reinigung mit einer Zahnbürste und anschließendem Spülen des Zahnes mit destilliertem Wasser erfolgte die Abdrucknahme mittels Honigum<sup>R</sup> Light (Fa. DMG, Chemisch Pharmazeutische Fabrik GmbH, Hamburg, Deutschland).

Nach dem Aushärten (4 Minuten) wurden die Abdrücke von den Präparaten entfernt und auf Blasenfreiheit und Vollständigkeit überprüft. Bis zum Ausgießen (frühestens nach 30 Minuten) wurden die nummerierten Abdrücke in einem staubfreien Behälter aufbewahrt.

Anschließend erfolgte das blasenfreie Ausgießen der Silikonabdrücke mit Epoxidharz (Araldit, Fa. Ciba-Geigy, Basel, Schweiz), welches zuvor blasenfrei mit einem Spatel von Hand im Verhältnis 5:1 (Harz:Härter) durch langsames und sorgfältiges Ausstreichen gleichmässig und homogen angemischt worden war. Die weitere Aushärtung fand während der folgenden 24 Stunden bei 37°C im Brutschrank (Fa. Memmert GmbH & Co.KG,

Schwabach, Deutschland) statt. Nun konnten die Harzmodelle aus den Silikonformen entnommen und getrimmt werden. Im Anschluss mussten sie leitend mittels Kohlenstoffkleber (Leit C, Conductive Carbon Cement, Fa. Neubauer Chemikalien, Walluf, Deutschland) auf den REM-Probentellern (Fa. Agar Scientific Ltd, Stansted, England) befestigt werden. Nach sorgfältigem Entfetten mit einem mit Aceton befeuchteten Wattestäbchen wurden die Proben im Vakuum unter einer Xenonschutzwolke mit Gold bedampft (K 550, Fa. Emitech GmbH, Taunusstein, Deutschland).

### 2.4.4 Farbstoffpenetration

Im Anschluss an das Thermocycling erfolgte die Farbstoffpenetration. Hierzu wurden die gesockelten Zähne mit einer Zahnbürste gründlich gereinigt und anschließend komplett mit einem handelsüblichen Nagellack (Basic Nagellack, Fa. Interco Cosmetics, Wiesbaden, Deutschland) überzogen.



Abbildung 12. Abdichten der Präparate durch Nagellack-Applikation.

Nach kurzer Lagerung in physiologischer NaCl-Lösung wurden die Zähne mit destilliertem Wasser abgespült. Nun erfolgte die Lagerung in 50 Gew.-% AgNO<sub>3</sub>-Lösung für zwei Stunden bei 37°C und Dunkelheit. Hierzu wurden die Proben in den Memmert-Schrank (Fa. Memmert GmbH & Co.KG, Schwabach, Deutschland) gegeben. Nach Abspülen mit destilliertem Wasser wurden die Zähne anschließend in Filmentwicklerlösung (Perimat Intra, Fa. Dürr Dental AG, Bietigheim-Bissingen, Deutschland; im Verhältnis 1:1 mit Wasser gemischt) gegeben und für sechs Stunden auf den Diabetrachter gestellt. Nach erneutem Reinigen der Proben mit destilliertem Wasser verblieben die Zähne bis zum Sägen in einem Behälter mit 100% Luftfeuchtigkeit.

Die Zersägung der Zähne erfolgte mit Hilfe einer Trennschleifmaschine (WOCO 50/Med, Fa. Conrad GmbH, Clausthal Zellerfeld, Deutschland). Nachdem die Proben in der dafür vorgesehene Halterung befestigt wurden, halbierte eine diamantierte Trennscheibe (WOCO 93/6, Fa. Conrad GmbH, Clausthal Zellerfeld, Deutschland) unter Wasserkühlung die Zähne samt Füllung in sagittaler Richtung, was eine zweifache Auswertung je Probe ermöglichte.

Die Bestimmung der Penetrationstiefe erfolgte mit dem Auflichtmikroskop (Leica EZ4, Fa. Leica Mikrosysteme Vertrieb GmbH, Wetzlar, Deutschland).

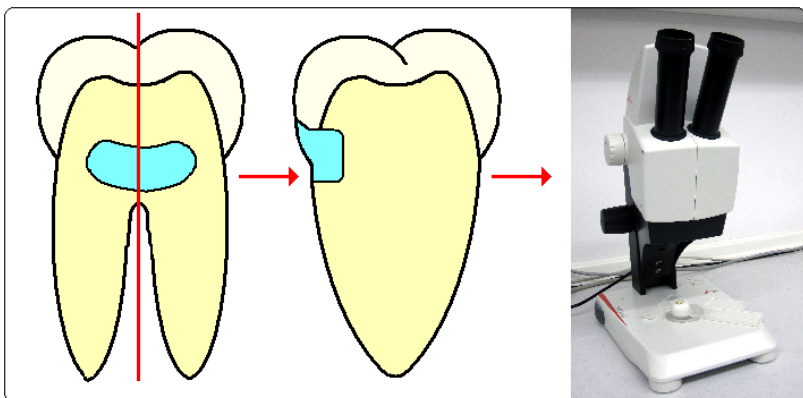


Abbildung 13. Die Zersägung und Bewertung der Präparate durch das Auflichtmikroskop.

## 2.5 Randanalyse

### 2.5.1 Auswertung durch das Rasterelektronenmikroskop (REM)

Um die Randqualität und deren qualitativen und quantitativen Anteil an der Gesamtlänge des Füllungsrandes beurteilen zu können, wurden die Replika nun mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops (DSM 940, Fa. Carl Zeiss, Oberkochen, Deutschland) betrachtet (Arbeitsabstand ca. 15 mm, Beschleunigungsspannung 5 kV).

Dabei erfolgte die Bewertung des Randspaltes anhand mehrerer einzelner Aufnahmen, die jeweils abschnittsweise den gesamten Restaurationsrand abbildeten. Die Auswertung fand für die Bereiche Schmelz und Dentin getrennt statt.

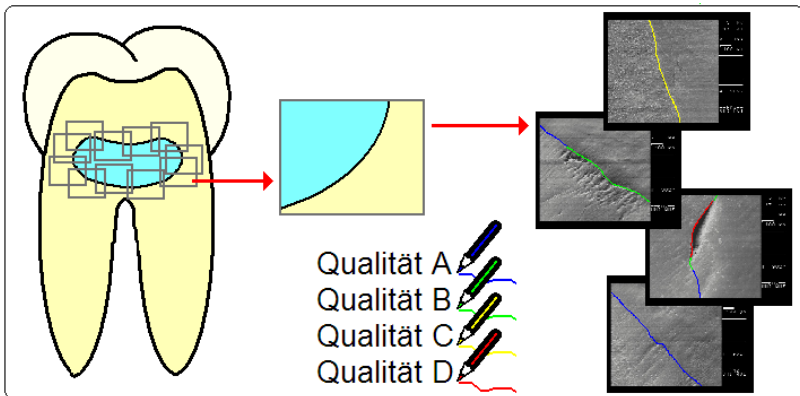


Abbildung 14. Die Beurteilung und Bewertung des Füllungsrandes anhand von Einzelbildern durch das Rasterelektronenmikroskop.



Die Qualität des Randes wurde bei 100facher Vergrößerung untersucht und den folgenden Kriterien (angelehnt an BLUNCK, 2007) zugeordnet:

<b>Randqualität</b>	<b>Definition</b>
A	Rand nicht oder kaum erkennbar („kontinuierlicher Rand“) Keine oder geringe Randunregelmäßigkeiten Kein Randspalt
B	Kein Randspalt Massive Randunregelmäßigkeiten
C	Randspalt erkennbar (als „Haarriss“, bis 2 $\mu\text{m}$ ) Keine Randunregelmäßigkeiten
D	Massiver Randspalt (über 2 $\mu\text{m}$ ) Geringe und/oder massive Randunregelmäßigkeiten

*Tabelle 4. Die verschiedenen REM-Qualitäten.*

Unter dem Begriff „Randunregelmäßigkeiten“ faßt BLUNCK Porositäten, Füllungsmaterialfrakturen und Aufwölbungen des Füllungsmaterials zusammen.

Die folgenden Abbildungen (Abbildungen 15-18) geben ein Beispiel für die oben genannten Qualitäten:

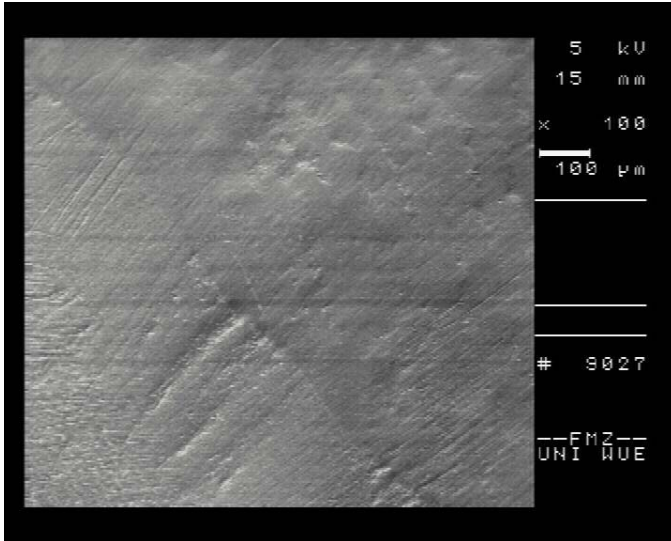


Abbildung 15. Beispiel für „Randqualität A“.

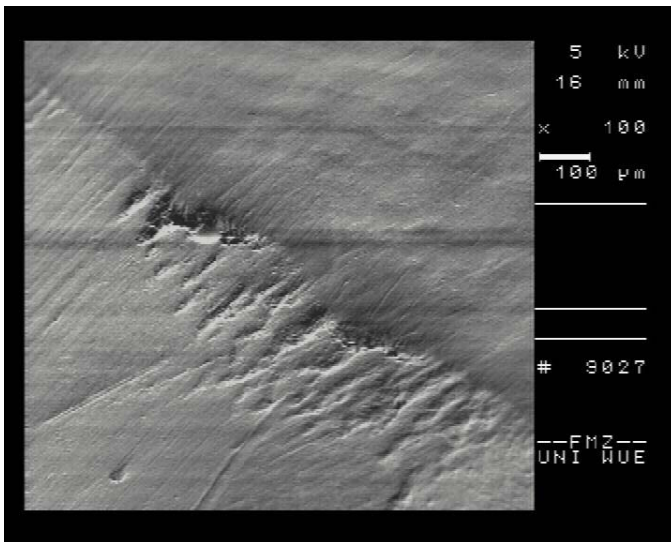


Abbildung 16. Beispiel für „Randqualität B“.

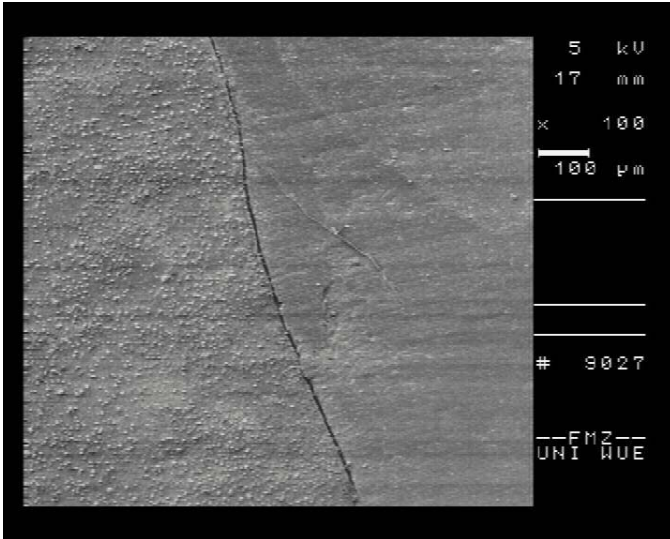


Abbildung 17. Beispiel für „Randqualität C“.



Abbildung 18. Beispiel für „Randqualität D“.

### 2.5.2 Auswertung durch das Auflichtmikroskop

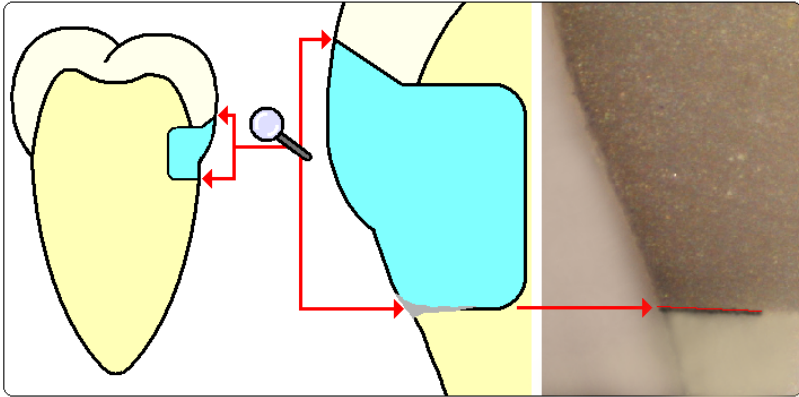
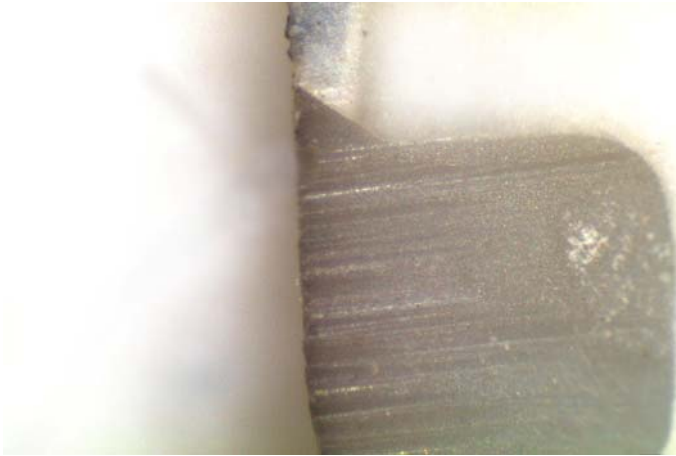


Abbildung 19. Bewertung der Penetration durch das Auflichtmikroskop.

Die Bestimmung der Penetrationstiefe erfolgte mit dem Auflichtmikroskop (Leica EZ4, Fa. Leica Mikrosysteme Vertrieb GmbH, Wetzlar, Deutschland), welches mit einem PC verbunden war, um die Farbstoffpenetration mit einer Bildbearbeitungssoftware (LAS EZ, Leica; Sigma Scan Image, Jandel Scientific) vermessen zu können. Ausschlaggebend war jeweils die Eindringtiefe des Farbstoffes an den Rändern der Füllung, also je Schnittpräparat (zwei pro Probe) einmal im Schmelz, sowie einmal im Dentin, wodurch sich je zwei Werte der jeweiligen Region ergaben, deren Durchschnitt sowohl in mm als auch prozentual zur gesamten Kavitätentiefe herangezogen wurde.

Die Abbildungen 20-22 geben Beispiele für die untersuchte Penetration.



*Abbildung 20. Beispiel für keine erkennbare Penetration im Bereich des Schmelzes.*



*Abbildung 21. Beispiel für kaum erkennbare Penetration im Bereich des Dentins.*



Abbildung 22. Beispiel für deutliche Penetration im Bereich des Dentins.

### 2.6 Statistische Auswertung

Dieser Dissertation lagen 14 Untersuchungsgruppen mit einer Gruppengröße von  $n=10$  zugrunde. Die Zuteilung der Zähne zu den einzelnen Gruppen erfolgte blind und zufällig. Für die einzelnen Gruppen wurden jeweils Mittelwert und Standardabweichung der Ergebnisse aus der REM-Analyse und der Farbstoffpenetrationsuntersuchung berechnet und mit Hilfe verschiedener Verfahren (Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis, U-Test nach Mann und Whitney) auf statistische Signifikanz untersucht. Hierzu wurde das Statistikprogramm MEDAS (Grund EDV-Systeme, Margetshöchheim, Deutschland) verwendet.

Zur Beschreibung der Ergebnisse dieser Studie wurden folgende Tests angewendet:

Mit dem *U-Test nach Mann und Whitney* wird ein Messwert zwischen zwei Gruppen verglichen, da keine Gaußsche Normalverteilung der Messwerte angenommen werden kann.

Die einfaktorielle *Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis* ersetzt den U-Test, wenn drei oder mehr Gruppen zu vergleichen sind.

Eine Korrelation beschreibt die Abhängigkeit zweier Messungen. Die Werte müssen mindestens eine Rangreihenfolge haben. Das Ergebnis einer Korrelation besteht aus zwei Zahlen. Die eine ist der Korrelationskoeffizient, eine Zahl zwischen  $-1$  und  $+1$ .  $+1$  bedeutet eine ideale Korrelation. Je näher der Korrelationskoeffizient an  $1$  oder  $-1$  ist, desto enger ist die Abhängigkeit der beiden Messungen. Ein Wert von  $0$  besagt, dass keinerlei Abhängigkeit besteht. Wenn der Korrelationskoeffizient negativ ist, dann handelt es sich um eine gegensinnige Abhängigkeit.  $-1$  ist eine ideale gegensinnige Korrelation.

Die zweite Zahl ist der p-Wert. Dieser besagt, ob überhaupt eine Beziehung vorhanden ist, ob sich der Koeffizient also signifikant von Null unterscheidet. Je größer die Probenzahl ist, desto kleiner darf der Koeffizient ausfallen, um noch signifikant zu sein.

Die *Rangkorrelation nach Kendall* beschreibt die Abhängigkeit zwischen zwei Messwerten und setzt keine Gaußsche Normalverteilung voraus. Der Korrelationskoeffizient wird als  $\tau$  (tau) bezeichnet. Wegen der Unempfindlichkeit gegenüber Rangbindungen kann man diese Korrelation auch verwenden, wenn sehr oft der gleiche Wert vorkommt.

Ein *Konfidenzintervall* wird berechnet, um die Güte eines Schätzwertes zu beurteilen. Der aus der Stichprobe ermittelte Schätzwert repräsentiert vermutlich nicht den tatsächlichen Wert der Grundgesamtheit, und es ist kaum zu erwarten, dass dieser Schätzwert mit dem wahren Wert der Grundgesamtheit exakt übereinstimmt. Man darf aber vermuten, dass die wahre Sensitivität in der näheren Umgebung des Schätzwertes liegt. Durch ein Konfidenzintervall (oder: Vertrauensbereich, CI=confidence interval) wird dieser unscharfe Ausdruck „nähere Umgebung“ präzisiert. Ein 68%-Konfidenzintervall gibt den Bereich an, der mit 68%-iger Wahrscheinlichkeit den ermittelten Parameter überdeckt. Hier wurde nicht das sonst in der Medizin übliche 95%-Intervall (95% entspricht dem Normbereich) gewählt, sondern analog zum Mittelwert das 68%-Konfidenzintervall (Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung=68%).

Zur Überprüfung auf eine *Gaußsche Normalverteilung* wurde die *Probitdarstellung* mit den Grenzen nach *Lillefors* verwendet.

Um die Testergebnisse quantitativ vergleichen zu können, wurden *p*-Werte berechnet. Ein *p*-Wert unter 0,05 wird als signifikant bezeichnet und das Ergebnis wird als wesentlich interpretiert. Die *p*-Werte (der eigenen Ergebnisse dieser Studie) werden mit Stern-Symbolen gekennzeichnet:

$p < 0,05$  mit \*,  $p < 0,01$  mit \*\* und  $p < 0,001$  mit \*\*\*.

(Angaben laut Statistikfachbücher SCHUMACHER und SCHULGEN 2007, WEISS 2008).



## 3 Ergebnisse

### 3.1 Füllungsverfahren

Unterschieden wurde zwischen Adhäsiv (Ein- und Mehr-Schritt-Adhäsivsystem), Schichtung (Einschicht- und Mehrschicht-Füllung, sowie Mehrschicht-Füllung mit Flowable-Lining), Reihenfolge (von apikal nach coronal oder coronal nach apikal) und dem Material (Body, Flowable, sowie Body mit Flowable-Lining).

### 3.2 Penetration (Ergebnisse der Auflichtmikroskopie)

#### 3.2.1 Überprüfung auf statistische Signifikanz

Die Messwerte der Penetration lagen zwischen 0,08 und 2,12 mm. Diese beiden Werte stellen jedoch Ausreißer dar, die nächsten Werte waren 0,17 bis 1,14 mm. Die Messwerte wichen signifikant von einer Gaußschen Normalverteilung ab. Um eine Normalverteilung der Werte zu erhalten, kommt der Logarithmus zur Anwendung. Bis auf den größten und den kleinsten Wert lagen die logarithmierten Penetrationswerte gut in Bereich einer Normalverteilung. Nach dem Kriterium nach Lilliefors wichen auch die Extremwerte nicht signifikant von einer Gaußschen Normalverteilung ab. Die Überprüfung auf statistische Signifikanz erfolgte und konnte nachgewiesen werden.

#### 3.2.2 Füllungsverfahren und Penetration

Die statistische Signifikanz ( $p=0,00003^{***}$ ) zwischen den 14 Füllungsverfahren und der Penetration im Schmelz (immer 0 mm) und Dentin konnte bestätigt werden.

Das Ein-Schritt-Adhäsivsystem Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> bewirkte eine signifikant tiefere Penetration ( $p=0,029$ ) als das Mehr-Schritt-Adhäsivsystem OptiBond<sup>TM</sup> FL. Das stopfbare Material (Body) ergab die tiefsten Penetrationen, das gleiche Material unter Verwendung eines Flowables als erste Schicht die geringste.

Nicht signifikant dagegen war die Reihenfolge. So spielte es keine Rolle, ob man von apikal nach coronal schichtete, oder in umgekehrter Reihenfolge begann.

Untersucht man nur die Faktoren Einschicht/Mehrschicht, erhält man  $p=0,66$ . Bei strenger Trennung apikal nach coronal bzw. coronal nach apikal ist  $p=0,98$ . Beim Material Flowable/Body (modellierbar) ist  $p=0,0012^{**}$  und somit signifikant (jeweils im U-Test nach Mann und Whitney).

Zusätzlich erfolgte eine weitere Möglichkeit der Aufteilung nach einzelnen Parametern. Bei dieser Trennung sind unter der Einteilung „Schichten 2“ auch jene mit der Flowable-Unterschicht enthalten, was vermutlich das gute Ergebnis ( $p=0,00013^{***}$ ) erklärt. Auch hier zeigt sich ein hochsignifikanter Unterschied im Bereich der Materialien. So weist das Flowable (MW 0,521; ST 0,203) mit einer Signifikanz von  $p=0,00008^{****}$  deutlich schlechtere Penetrationswerte auf als das modellierbare Body-Material (MW 0,410; ST 0,236). Wird zusätzlich unter die stopfbaren Schichten zuvor ein Flowable aufgetragen, verbessert sich das Ergebnis. Mit einer Signifikanz von  $p=0,023^*$  zeigt das Auftragen eines dünnfließenden Komposites als erste Schicht deutlich geringere Eindringwerte (MW 0,391; ST 0,136) verglichen zu den Proben, bei denen darauf verzichtet wurde (MW 0,484; ST 0,252).

### **3.3 Randqualität (Ergebnisse der Rasterelektronenmikroskopie)**

#### **3.3.1 Überprüfung auf statistische Signifikanz**

Es konnte keine Gaußverteilung angenommen werden. Abbildung 23 ist zu entnehmen, dass unter den 140 Probekörpern am häufigsten die Randqualität A bezogen auf den gesamten Füllungsrand vertreten war.

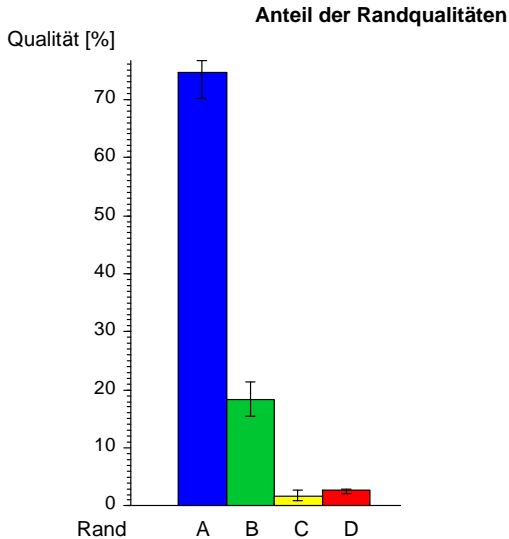


Abbildung 23. Prozentualer Anteil der vier genannten Randqualitäten am gesamten Füllungsrand. Median mit dem 68%-CI des Medians.

### 3.3.2 Füllungsverfahren und Randqualität

#### 3.3.2.1 Die 14 Versuche

Nach dem Verfahren der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis zeigte sich eine Signifikanz im Bereich Schichttechnik und Randqualitäten.

Abbildung 24 ist der prozentuale Anteil der vier genannten Randqualitäten am gesamten Füllungsrand, getrennt nach Füllungsverfahren, zu entnehmen.

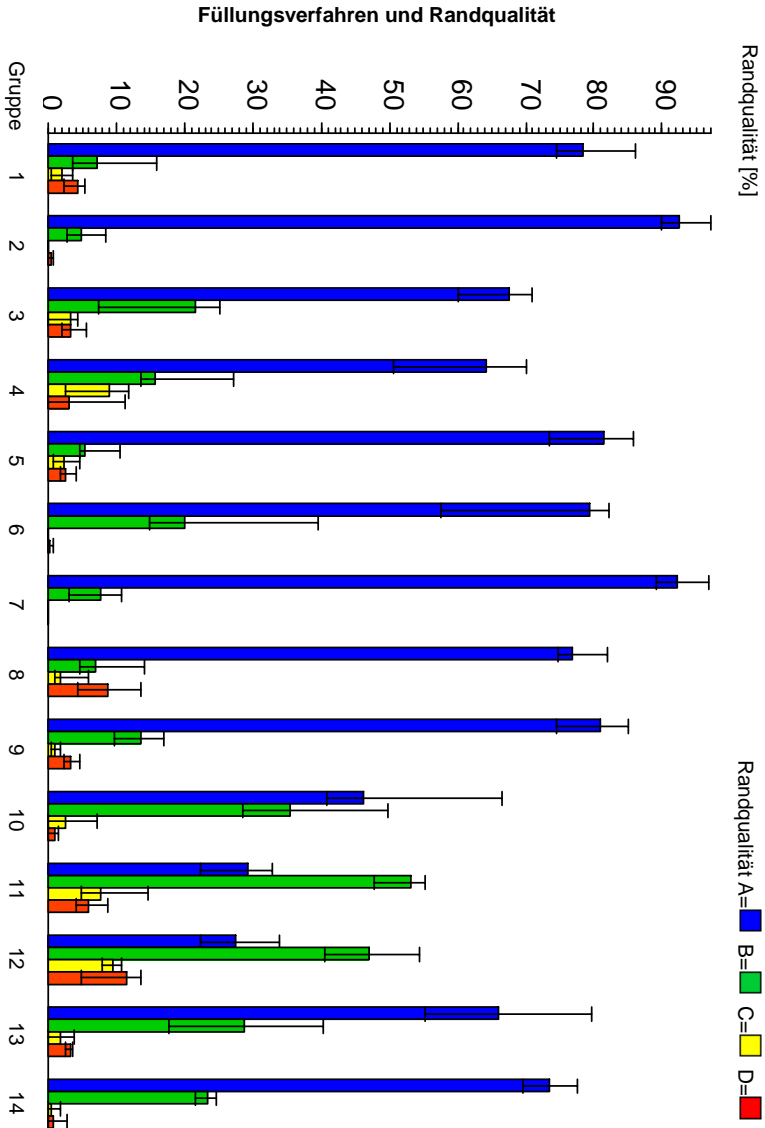


Abbildung 24. Prozentualer Anteil der vier genannten Randqualitäten am gesamten Füllungsrand, getrennt nach Füllungsverfahren. Median mit dem 68%-CI des Medians. Gruppen 1-7 Adhäsiv OptiBond™ FL, Gruppen 8-14 Adhäsiv Adper™ Prompt™ L-Pop™.

### 3.3.2.2 Die Einflussparameter

Eine Korrelation zwischen den Einflussgrößen und den verschiedenen Randqualitäten konnte erkannt werden. Hier wird deutlich, wie groß der Einfluss des Adhäsivsystems auf die Randschlussqualität ist. So lässt sich mit einer Wahrscheinlichkeit von  $p=0,00001^{***}$  unter Verwendung des Mehr-Schritt-Adhäsives häufiger (MW 75,996; ST 19,736) ein kontinuierlicher Rand erzeugen, als durch das Ein-Schritt-Adhäsivsystem (MW 57,016; ST 27,013). Dies wird noch einmal deutlich, wenn man die Werte für Qualität D betrachtet. Bei einer Wahrscheinlichkeit von  $p=0,00054^{***}$  wirkt sich auch hier die Verwendung von OptiBond™ FL deutlich besser auf den Randspalt aus (MW 3,968; ST 8,072), bei Verwendung von Adper™ Prompt™ L-Pop™ erhöht sich der prozentuale Anteil an Qualität D deutlich (MW 6,853; ST 8,344).

Der Einfluss der Schichtung zeigt sich bei den schlechteren Randschlussqualitäten C und D (mit einer Signifikanz von  $p=0,00001^{***}$  bzw.  $p=0,0013^{**}$ ). So wirkt sich die Verwendung des Flowables als erste Schicht unter Body deutlich zu Gunsten eines geringeren Randspaltes aus, während ein prozentual höheres Vorkommen der Qualitäten C und D im Bereich der Mehrschicht-Füllungen zu sehen ist. Etwas besser schneiden die Bulk-Füllungen ab.

Sehr deutlich zeigt sich eine Abhängigkeit zwischen Randqualität und des verwendeten Materials. Im Bereich der Qualität A zeichnet sich das Material Body als das dichteste aus (MW 81,7965; ST 13,8109). Wurde zuvor ein Flowable Komposit als erste Schicht aufgetragen, verringern sich die Werte nur gering (MW 72,7754; ST 19,8981). Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Werten der Randqualität D, zeigt sich, dass hier die Bodyfüllungen mit der Flow-Unterschicht am Besten abschließen (MW 2,58484; ST 4,9030). Die alleinige Verwendung von Flow (im Vergleich zu Body oder gemischt) zeigt jeweils die schlechtesten Werte (Qualität A und D).

Dies erkennt man auch, wenn man streng nach modellierbarem oder fließfähigem Material trennt. Mit einer Wahrscheinlichkeit von  $p<0,000005^{***}$  erreicht man einen signifikant höheren Anteil im Bereich Qualität A (MW 81,797; ST 13,811), wenn man sich für das Material Body und gegen das Flowable (MW 52,132; ST 27,194) entscheidet.

### 3.4 Randqualität Schmelz

Qualität A war bei allen Proben vorhanden, Qualität B war bei 6 Proben (4%) nicht vorhanden. Qualität C war bei 52 Proben (37%) und Qualität D bei 38 Proben (27%) nicht vorhanden.

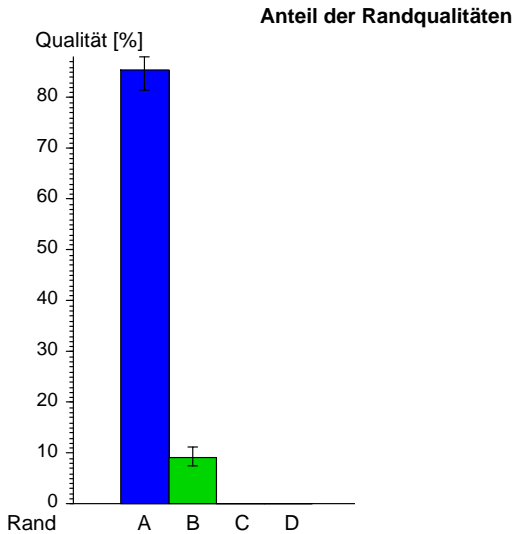


Abbildung 25. Prozentualer Anteil der vier genannten Randqualitäten am Schmelz. Median mit dem 68%-CI des Medians.

Abbildung 25 zeigt die Verteilung der einzelnen Qualitäten im Bereich des Schmelzes. Der Median für die Qualitäten C und D ist Null.

#### 3.4.1 Füllungsverfahren und Randqualität Schmelz

##### 3.4.1.1 Die 14 Versuche

Eine Signifikanz im Bereich der Schichttechnik und der Randqualitäten konnte nach dem Verfahren der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis für den Bereich Schmelz nachgewiesen werden.

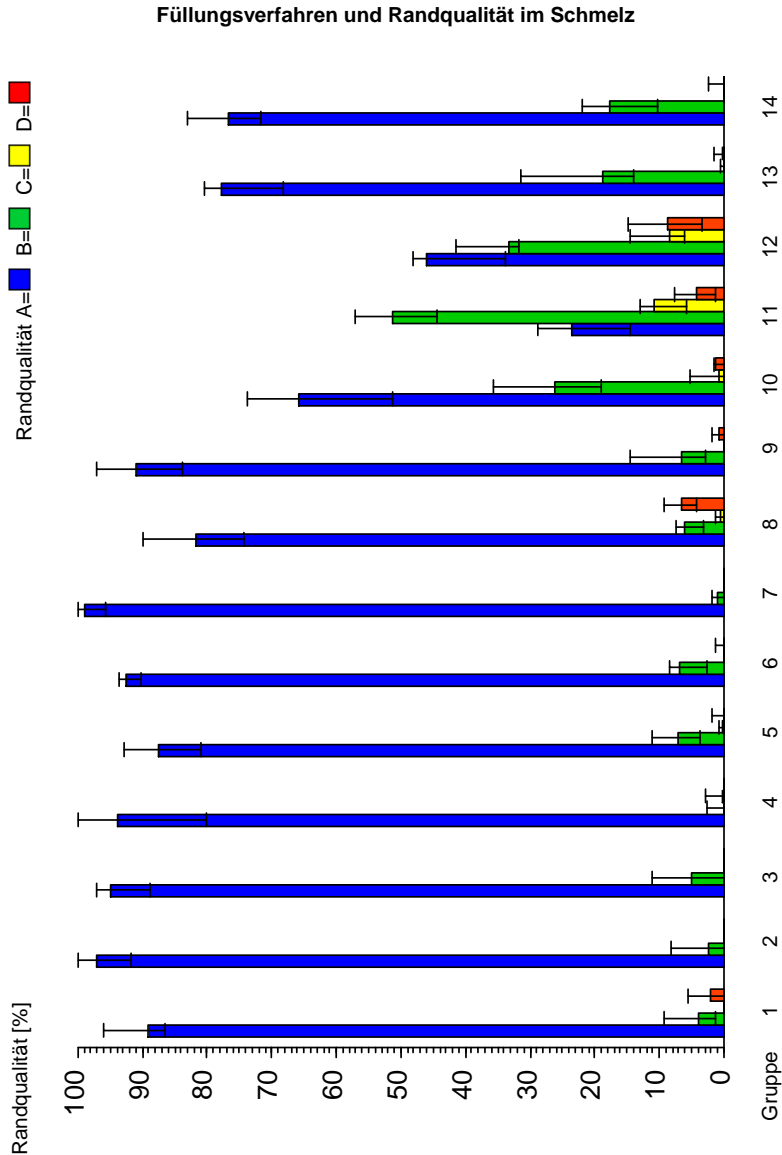


Abbildung 26. Prozentualer Anteil der vier genannten Randqualitäten am Schmelz, getrennt nach Füllungsverfahren. Median mit dem 68%-CI des Medians. Gruppen 1-7 Adhäsiv OptiBond™ FL, Gruppen 8-14 Adhäsiv Adper™ Prompt™ L-Pop™.

#### **3.4.1.2 Die Einflussparameter**

Eine deutliche Signifikanz zeigt sich auch hier im Bereich des Adhäsivsystems. OptiBond™ FL wirkt sich im Bereich der Randqualität A deutlich zu Gunsten eines dichten Verbundes aus ( $p < 0,000005^{***}$ ). Im Bereich der Schichtung erhält man nur für Qualität C signifikante Ergebnisse. Hier scheint sich die Verwendung des Flowables als erste Schicht unter der Body-Restauration als Vorteil zu erweisen. So zeigt diese Technik den geringsten Anteil bei den Qualitäten C und D und den größten im Bereich der Qualität A ( $p = 0,096$ ). Trennt man streng nach Schicht- oder Bulktechnik, scheint sich die Verwendung der Ein-Schicht-Technik vorteilhaft auszuwirken (allerdings nicht statistisch signifikant). Bei der Reihenfolge (apikal oder coronal beginnend) zeigt sich keine statistisch signifikante Abhängigkeit. Das Material wirkte sich im Bereich der Qualitäten A, B und C hingegen deutlich signifikant aus. Bei der Kombination aus modellierbarem und fließfähigem Material schnitt die Restaurationstechnik mit ausschließlich stopfbarem Material signifikant ( $p = 0,00055^{***}$ ) besser ab (MW 86,1175; ST 14,267) als die mit Flowable-Lining (MW 83,7974; ST 15,942). Verändert sich die Randqualität bezüglich einer Zunahme an Spalten und Unregelmäßigkeiten, überwiegen Restaurationen, welche nur aus Flowable bestehen. Auch die strenge Trennung nach niedrig- oder hochviskösem Material zeigt ein signifikantes Resultat. Während im Bereich der Qualität A das modellierbare Material signifikant ( $p = 0,00062^{***}$ ) überwiegt, wirkt sich der Gebrauch des fließfähigen Komposites deutlich negativ auf die Randqualität aus ( $p = 0,00006^{***}$  im Bereich der Qualität C).

#### **3.4.2 Penetration und Randqualität Schmelz**

Da die Penetration im Bereich des Schmelzes ausschließlich 0 mm betrug, ist statistisch keine Abhängigkeit zu erwarten.

#### **3.4.3 Gesamte Randqualität und Randqualität Schmelz**

Die Randqualität des Gesamtrandes muss mit der des Schmelzes korrelieren, da sie Teil des Gesamten ist.



### 3.5 Randqualität Dentin

Qualität A war bei 13 Proben (9%) nicht vorhanden, Qualität B bei 21 Proben (15%), Qualität C bei 67 Proben (48%) und Qualität D bei 56 Proben (40%).

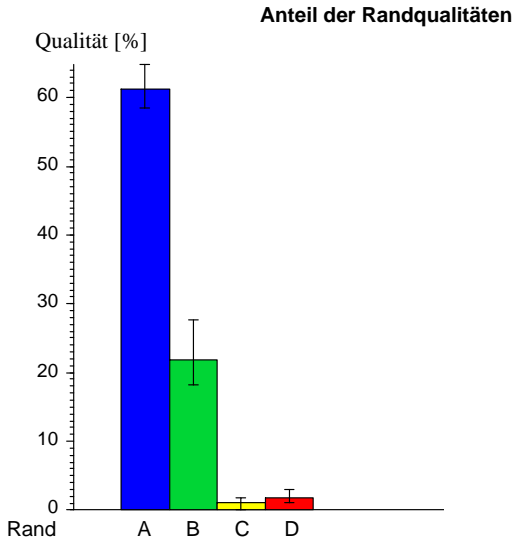


Abbildung 27. Prozentualer Anteil der vier genannten Randqualitäten am Dentin. Median mit dem 68%-CI des Medians.

#### 3.5.1 Füllungsverfahren und Randqualität Dentin

##### 3.5.1.1 Die 14 Versuche

Eine Signifikanz im Bereich Schichttechnik und Randqualitäten konnte nach dem Verfahren der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis nachgewiesen werden.

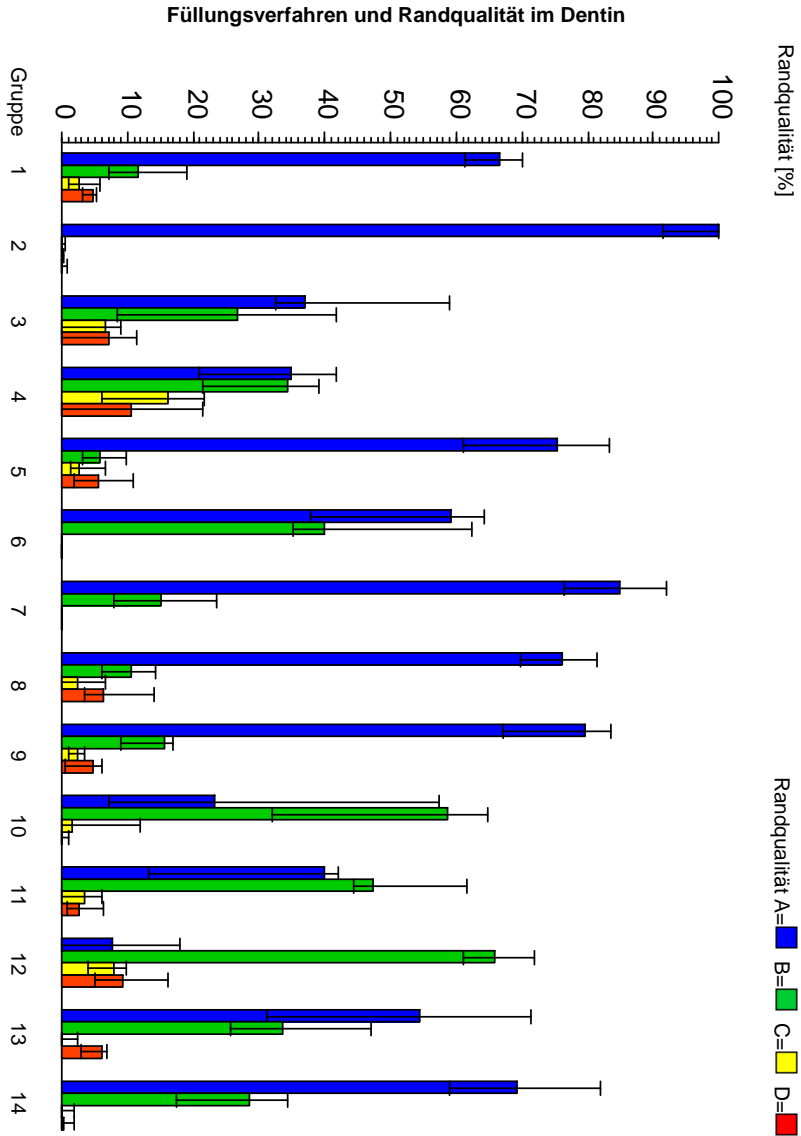


Abbildung 28. Prozentualer Anteil der vier genannten Randqualitäten am Dentin, getrennt nach Füllungsverfahren. Median mit dem 68%-CI des Medians. Gruppen 1-7 Adhäsiv OptiBond™ FL, Gruppen 8-14 Adhäsiv Adper™ Prompt™ L-Pop™.

### 3.5.1.2 Die Einflussparameter

Eine Korrelation zwischen den Einflussgrößen und den verschiedenen Randqualitäten war den Ergebnissen zu entnehmen. Im Bereich des Dentins wirkt sich das gewählte Adhäsivsystem nur in den Bereichen der Randqualität A und B aus. Während das Mehr-Schritt-System einen signifikanten Einfluss ( $p=0,015^*$ ) auf dichte Verbundwerte hat (MW 62,703; ST 30,222 bei Qualität A), lässt sich eine leichte Korrelation zwischen dem Ein-Schritt-Adhäsiv und einer Verschlechterung des Randes vermuten ( $p=0,067$  für Qualität D). Eine Kombination der beiden Kompositmaterialien scheint im Bereich der Qualitäten A und B kaum Einfluss auf die Randqualität zu haben (statistisch nicht signifikant überwiegen hier die Füllungen mit Flowable-Lining), während sich die Kombination beider Komposite (Flowable als erste Schicht) deutlich verbessernd auf den Randspalt auswirkte ( $p=0,00016^{***}$  für Qualität C und  $p=0,0054^{**}$  für Qualität D). Auch im Dentin nimmt eine bestimmte Reihenfolge innerhalb der Schichten keinen Einfluss auf die Randqualität. Hinsichtlich des Kompositmaterials erhält man signifikant ( $p<0,000005^{***}$ ) beste Werte für Body-Füllungen im Bereich der Qualität A (MW 76,2403; ST 22,085). Etwas geringer fällt der Anteil für die Restaurationen aus, welche als erste Schicht den Flowable-Auftrag erhielten (MW 60,1454; ST 31,500). Jedoch hat diese Kombination einen (statistisch signifikant) positiven Einfluss auf den Randspalt im Bereich der Qualitäten C ( $p=0,00005^{***}$ ) und D ( $p=0,0044^{**}$ ). Wird getrennt zwischen dem Flowable und dem Bodymaterial, überwiegt bei Qualität A signifikant ( $p<0,000005^{***}$ ) das modellierbare Komposit (MW 76,240, ST 22,085). Auch hier scheint sich das fließfähige Komposit als alleiniges Füllungsmaterial eher schlecht auf den Haftverbund auszuwirken.

### 3.5.2 Penetration und Randqualität Dentin

Die Randqualität im Dentin und die Penetration korrelierten signifikant miteinander. Die Korrelation ist zwar sehr sicher, aber nicht sehr stark. Eine gute Korrelation hätte ein tau von 0,6 oder mehr.

### 3.5.3 Gesamte Randqualität und Randqualität Dentin

Die Randqualität des Gesamttrandes muss mit der des Dentins korrelieren, da sie Teil des Gesamten ist.

### 3.6 Randqualität Schmelz und Randqualität Dentin

Bei Proben mit einem hohen Anteil an Qualität A im Schmelz gab es auch einen hohen Anteil von Qualität A im Dentin. Analoges gilt für die Qualitäten B, C und D.

### 3.7 Zusammenfassung der Ergebnisse

Beide Untersuchungsverfahren (Auflicht- und Rasterelektronenmikroskopie) zeigten eine statistische Signifikanz im Bereich der 14 Füllungsverfahren und der Penetration bzw. den vier Randqualitäten. Beide Methoden bestätigten signifikant bessere Werte für das Mehr-Schritt-Adhäsiv OptiBond™ FL, sowohl im Bereich des Schmelzes als auch im Bereich des Dentins. Die Auflichtmikroskopie zeigte, dass ein vorheriger Flowable-Auftrag unterhalb von Body-Füllungen signifikant weniger Penetration nach sich zog ( $p=0,023^*$ ). Auch die qualitative Randspaltanalyse (Rasterelektronenmikroskopie) bestätigte eine positive Auswirkung einer Flow-Unterfüllung. Wurden die beiden Materialien getrennt angewendet, zeigten sich für das modellierbare Material im Bereich des Schmelzes und des Dentins mit einer statistischen Signifikanz deutlich bessere Werte als für das Flowable ( $p=0,00008^{***}$  in der Auflichtmikroskopie).

## 4 Diskussion

### 4.1 Bewertung der Methoden

#### 4.1.1 Zahnmaterial, Herstellung und Alterung der Proben

Das Design dieser Dissertation fand in Anlehnung an wissenschaftliche Voruntersuchungen statt (AIROLDI et al. 1992, HALLER et al. 1993b, HOFMANN et al. 2003c).

Ein wichtiger Faktor ist der Zahn, welcher die Kompositprobe aufnimmt. Die vorliegenden Versuche wurden mit Hilfe von 140 menschlichen Weisheitszähnen durchgeführt. FINGER (1988) sieht den Gebrauch von Rinderzähnen eher als nachteilig an, da hierbei im Vergleich zu menschlichen Zähnen deutlich mit Nachteilen in der Haftung zu rechnen ist. Auch STEWART et al. (1990) befürwortet die Verwendung menschlicher Zähne. Da sich nach Extraktion Schmelz und Dentin verändern und zudem eine durch das Lagermedium gewährleistete bakterio-statische bzw. bakterizide Wirkung erwünscht ist (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 1991), wurden die Zähne bis zur Weiterverarbeitung in Chloraminlösung gelagert, was eine größtmögliche Keimfreiheit garantiert (MITCHEM und GRONAS 1986, TAY et al. 1995) und im Anschluss eine stattfindende adhäsive Weiterverarbeitung nicht behindert (FINGER 1988). Andere Autoren bevorzugen als Lagermedium Thymol (OLSEN et al. 1997), alkoholische Lösungen (GWINNETT 1994) oder Formalinlösungen (PANTKE et al. 1985). MITCHEM und GRONAS (1986) konnten nachweisen, dass mit keiner signifikanten Verschlechterung der Haftkraft des Bondings bei zunehmender Lagerdauer der zu verwendenden Zähne zu rechnen ist, was ebenso von BLUNCK et al. (1990) durch Untersuchungen zur marginalen Adaptation von Kompositen in Abhängigkeit zur Lagerzeit bestätigt wurde.

Auch FINGER unterstützt diese These. Er fand bei der Auswertung von Zähnen, welche sofort nach Extraktion weiterverarbeitet wurden, keine signifikanten Unterschiede im Bezug auf die Haftwerte im Vergleich zu solchen, welche bis zu drei Monaten gelagert wurden. Die INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (2001) hält

eine Lagerung bis zu sechs Monaten für unbedenklich, da während dieser Zeit keine bedeutenden degenerativen Veränderungen stattfinden. Da das Lagermedium, welches zwischen den einzelnen Versuchsreihen verwendet wird, keine bakterio-statische bzw. bakterizide Wirkung aufweisen muss, wird neben Aqua dest. (MONTES et al. 2001; SANARES et al. 2001) und Leitungswasser (PRÉVOST et al. 1982, INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 1991, XIE et al. 1993) auch physiologische Kochsalzlösung empfohlen (STRICKLAND et al. 1992, ART-SMART et al. 1993). Nach SÖDERHOLM (1991) spielt die Zusammensetzung der Flüssigkeit jedoch keine wichtige Rolle.

Restaurationen sind in der Mundhöhle verschiedenen Einflüssen ausgesetzt. Wechselnde Umgebungstemperatur, wie sie beim Genuss von unterschiedlich temperierten Speisen und Getränken vorkommt, hat nicht nur Einfluss auf die Zahnschicht, sondern wirkt sich auch auf den Verbund zur Restauration aus (FEILZER et al. 1990a, JANDA 1990). Um diese Temperaturwechsel nachzuahmen, ist das Thermowechselbad das Mittel der Wahl, welches auch in der vorliegenden Studie zur Anwendung kam. Während der 2500 Zyklen zwischen 5°C und 55°C gibt es Veränderungen im Verhalten des Adhäsivsystems und des Kompositmaterials, da die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten des Füllungsmaterials und der Zahnhartsubstanz zu einer mechanischen Belastung und somit zu Veränderungen der Verbundschicht (Dentin/Restaurationsmaterial) führen (JONES et al. 1979). Die hier gewählte Zyklenanzahl von 2500 liegt zwischen den Werten anderer Studien, in welchen Untersuchungen zu Klasse-V-Kavitäten durchgeführt wurden (HEINTZE et al. 2005 und FRANCA et al. 2005 wählten 3000 Zyklen; BLUNCK und ZASLANSKY 2007 verwendeten 2000 Zyklen). MIYAZAKI et al. (2000) fanden heraus, dass eine Zyklenzahl bis zu 3000 das Ergebnis nur gering beeinflusst. Die Temperatur der beiden Tauchbecken entspricht den Werten in der Literatur (YAZICI et al. 2003, SENSI et al. 2004 und 2005, FRANCA et al. 2005, HEINTZE et al. 2005, GUEDERS et al. 2006, SALIM et al. 2006, BLUNCK und ZASLANSKY 2007, LÖCHELT 2008). KIRK et al. (2010) entschieden sich bei der Temperaturwechselbelastung für 100 Zyklen bei 4°C bzw. 58°C, MÜLLEJANS et al. (2003) führten 2000 Zyklen zwischen 4°C und 55°C durch, FRANCA et al. (2005) gaben bei einer Zyklenzahl von 3000 Werte von 5 +/- 2°C und 55 +/- 2°C an. Generell gelingt durch das Thermocycling eine einfach zu realisierende Stresseinwirkung (aufgrund unterschiedlicher Expansionskoeffizienten von Zahnhartsubstanz und Komposit) auf den adhäsiven Verbund (JANDA 1988, FEILZER et al. 1990a, b, MOMOI und MCCABE 1994), die ansatzweise ver-

gleichbar ist mit der oralen Situation (Temperaturschwankungen) einer Restauration, was sich in einem unterschiedlichen Kontraktions- bzw. Expansionsverhalten äußert. JANDA (1990) beobachtete starke Zugspannungen im Bereich der adhäsiven Zone während des Abkühlungsprozesses. So kommt es während der Temperaturwechselbelastung zu Hydrolyseprozessen der Hybridschicht. ROSALES-LEAL (2007) konnte in einer Studie feststellen, dass die Temperaturwechsellast (in Abhängigkeit des verwendeten Adhäsives) keinen Einfluss auf die Schmelzränder von Klasse-V-Kavitäten hat, jedoch im Bereich des Dentins Einfluss auf den Haftverbund nimmt und diesen herabsetzt.

Die Wasserlagerung vor bzw. nach Thermocycling empfindet die feuchte Mundhöhle nach Hygroskopische Expansion führt hierbei zum Abbau polymerisationsbedingter Kontraktionsspannungen. Zudem kommt es zu einer Auflockerung der Polymerstruktur (FEILZER et al. 1990a, JANDA 1990). Werden die Probekörper über einen länger anhaltenden Zeitraum in Wasser gelagert, kommt es zu einer Quellung des Komposits durch Wasseraufnahme. Zugleich hat eine ungenügende Infiltration des Kollagenfasergeflechts durch hydrophile Monomere ein Ablösen von Arealen unbehandelten Dentins zur Folge (HALLER et al. 1993b, PASHLEY et al. 1994), was die Wichtigkeit der Ausbildung einer fehlerfreien Hybridschicht unterstreicht. In Untersuchungen von BLUNCK und ZASLANSKY (2007) ermittelte man die Einwirkung verschieden langanhaltender Wasserlagerung auf die Randschlussqualität bei Verwendung von all-in-one-Adhäsiven (darunter auch Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>) bei Klasse-V-Füllungen. Als Vergleichsgruppe diente unter anderem OptiBond<sup>TM</sup> FL. Die Probekörper wurden nach einer Wasserlagerung von 21 Tagen, 24 Monaten und noch einmal drei Jahre später dem Thermocycling (2000 Zyklen, 5/55°C) unterzogen. Replika wurden jeweils vor und nach Wechselbadbelastung hergestellt. Untersuchungen durch das Rasterelektronenmikroskop zeigten im Dentin keinen signifikanten Unterschied der einzelnen Gruppen nach einer Wasserlagerung von 21 Tagen und anschließendem Thermocycling. Nach einer Lagedauer von einem Jahr und Thermocycling zeigte Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> bereits eine signifikante Verringerung von „Randqualität 1“ im Vergleich zur Referenzgruppe. Insgesamt kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass es einen deutlichen Unterschied der Randqualitäten in Abhängigkeit von der Dauer der Wasserlagerung gibt. BORTOLOTTI et al. (2007) untersuchten den Einfluss einer 18monatigen Wasserlagerung (37°C) auf verschiedene Adhäsivsysteme bei Klasse-V-Kavitäten. Sie fanden heraus, dass keines der getesteten Adhäsive den hydrolytischen Einflüssen stand-

halten konnte. So lagen die prozentualen Anteile für das Kriterium „Kontinuierlicher Rand“ nach 18monatiger Wassereinwirkung zwischen 62,9 und 18,5%, wobei es signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen gab. Im Schmelz lag der Anteil zwischen 71,8 und 8,9%, im Dentin zwischen 94,3 und 0,0%.

Einige Autoren halten die Verwendung einer feuchten Kammer für sinnvoll bzw. relevant, während sie die Probezähne mit Restaurationsmaterial füllen. Diese Behältnisse ahmen die Bedingungen der Mundhöhle nach. PLASMANS et al. (1994) fanden heraus, dass die relative Luftfeuchtigkeit in der Mundhöhle bei 78% liegt. Untersuchungen von BESNAULT und ATTAL (2002) zeigten, dass äußere Bedingungen einen Einfluss auf das Randspaltverhalten haben können. So wiesen sie eine Zunahme der Penetration nach, wenn die untersuchten Präparate zuvor unter simulierten oralen Gegebenheiten (35°C, 95% relative Luftfeuchtigkeit) hergestellt wurden.

Die Penetration von Silbernitrat ( $\text{AgNO}_3$ ) wird in der Literatur als vorteilhaft bewertet (KANCA 1989, BARKHORDAR und STARK 1990, BARKHORDAR et al. 1992, PRATI et al. 1994), da bei anderen Penetrationslösungen (basische Fuchsinlösung oder Methylenblau) die in den Randspalt eingelagerten Silberkristalle beim Sägen der Testzähne häufig unkontrollierbar ausgewaschen werden, was die anschließende Untersuchung und Bewertung zusätzlich erschwert oder auch verfälschen kann. Alternative Penetrationsmedien untersuchten MENTE et al. (2010) in Wurzelkanälen, die zuvor bis ISO 50 erweitert wurden. Anschließend befüllten sie die Kanallumina jeweils mit einer der folgenden Flüssigkeiten komplett auf: blaue Tinte, schwarze Tinte, Methylenblau (0,5% und 5%), Eosin (5%), basische Fuchsinlösung (0,5%) und Zeichentusche. Am wenigsten Penetration fand deutlich signifikant bei der Tusche statt, welche mit einer Partikelgröße von 0,1-2  $\mu\text{m}$  am besten der Größe von pathologischen Bakterien im Wurzelkanal entspricht und aus diesem Grund von den Autoren als Färbemedium empfohlen wird (MENTE et al. 2010). Die übrigen Lösungen penetrierten tiefer aufgrund ihres im Vergleich zur Tusche niedrigeren Molekulargewichtes, was zu Fehlinterpretationen führen könnte (MENTE et al. 2010). In dieser Studie wurde berücksichtigt, dass die Anzahl und der Durchschnitt der Dentintubuli pro  $\text{mm}^2$  vom Lebensalter und dem Abstand zur Pulpa abhängig sind. Ferner spielt das Vorhandensein einer Füllung (nach zervikal ausgedehnt) oder Karies eine entscheidende Rolle (GARBEROGLIO



und BRÄNNSTRÖM 1976, MJÖR et al. 2001, TRONSTAD 2008), weshalb innerhalb dieser Studie auf solche Zähne verzichtet wurde (MENTE et al. 2010).

SAURO et al. (2008) stellten in einer Studie, bei der sie Silbernitrat und vergleichend dazu eine Rhodamin-B-Lösung als Färbemedien einsetzten, ein sehr ähnliches Diffusionsverhalten fest.

Die Penetrationseigenschaft der Silbernitratlösung sollte jedoch nur bedingt auf klinische Verhältnisse (Speichel, Bakterieninvasion) übertragen werden, da in der Literatur bislang kein direkter Zusammenhang zwischen Eindringtiefe und Länge bzw. Breite des Randspaltes nachgewiesen wurde (ROULET 1987, SÖDERHOLM 1991).

In der Literatur finden sich Hinweise, dass eine Farbstoffpenetration bei Zahnhalsfüllungen im Bereich des Verbundes (Restauration mit der Zahnschmelze) stattfindet und (bislang noch) nicht verhindert werden konnte (BLUNCK und ROULET 1989, KREJCI und LUTZ 1991), wobei sich keine eindeutigen Hinweise finden lassen, ab welchem qualitativen bzw. quantitativen Ausmaß dieser Schwachstelle es zusätzlich zum Eindringen von Toxinen und Bakterien kommt, was zur Bildung von Sekundärkaries und somit zusätzlich zur Pulpa-schädigung führen kann (JANDA 1990, HALLER 1992).

In dieser Arbeit wird ein Adhäsivsystem der *vierten Generation* (OptiBond<sup>TM</sup> FL) verglichen mit einem der *sechsten Generation* (Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>). Man findet hierbei nicht nur verschiedene Komponenten (Einflaschen-/Mehrflaschenadhäsiv), sondern auch Unterschiede im chemischen Verhalten. Untersuchungen zeigen, dass durch Mehr-Schritt-Adhäsivsysteme höhere Haftwerte an den Zahnschmelzen erzielt werden können als dies bei Adhäsiven der *fünften* oder *sechsten Generation* der Fall ist (FRANKENBERGER et al. 1999a und 2001b, ROSA und PERDIGAO 2000, INOUE et al. 2001b, SPOHR et al. 2001, KAADEN et al. 2002, MOLL et al. 2002b, GUEDERS et al. 2006, SALIM et al. 2006, ROSALES-LEAL 2007, ARISU et al. 2008, MONTICELLI et al., 2008, BLUNCK et al. 2009). Die Erzielung einer Hybridschicht spielt hierbei eine bedeutende Rolle, zugleich auch ihre Dicke. So bilden sehr dünne Adhäsivschichten (1-2 µm) zwar häufig auch eine stabil am Dentin verankerte Hybridschicht aus, jedoch kommt es hierbei schneller zur

Entstehung gewisser Schwachstellen im Verbundsystem, was eine Randundichtigkeit nach sich zieht. Diese wichtige Eigenschaft, den Polymerisationskräften als „Puffer“ entgegen zu wirken, kann in Studien, welche sich mit Einflaschenadhäsiven befassen, häufig nicht nachgewiesen werden, was durch (zum Teil eindeutig signifikante) Ergebnisse im Bereich sehr niedriger Haftwerte bestätigt wird (FRANKENBERGER et al. 1999a und 2001b, INOUE et al. 2001b). Selbstkonditionierende Systeme bilden eine saure Inhibitionsschicht aus, welche sich negativ auf die Kompositpolymerisation auswirken kann, was wiederum geringere Haftung zur Folge hat. Zudem konnten Präzipitate im Hybridlayer nachgewiesen werden. Durch diese Heterogenität entstehen zusätzliche Schwachstellen innerhalb dieser Schicht, sowie im Verbund generell (HALLER und BLUNCK 2003).

Die möglicherweise auf der Zahnoberfläche zurückbleibende Restfeuchtigkeit bei wasser-gelösten Systemen hat eine negative Auswirkung auf die Polymerisation und den Haftverbund. FRANKENBERGER et al. (2001a) untersuchten die vom Hersteller empfohlenen Penetrationszeiten konventioneller Systeme und verglichen diese mit den Ergebnissen selbstätzender Adhäsive (Adper™ Prompt™ L-Pop™). Sie wiesen bei Halbierung der Einwirkzeit eine Verschlechterung bei den Haftwerten bis zu 50% nach. Adhäsivsystemen der *dritten Generation* bestätigen FRANKENBERGER et al. (2001a) eine geringere Anfälligkeit für Verarbeitungsfehler. Generell haben Applikationsfehler eines Dentin-Bondings dramatische Auswirkungen auf die Haftwerte (FRANKENBERGER et al. 2000b).

Auch dem Probenhersteller bzw. Untersucher kommt eine entscheidende Rolle zu, was die Wichtigkeit, auf einen einheitlichen Versuchsaufbau zu achten, nur unterstreicht. GIACHETTI et al. (2008) ließen 50 Zahnhalsfüllungen unter Verwendung eines total-etch- bzw. self-etch-Systems (Adper™ Prompt™ L-Pop™) durch eine Studentengruppe füllen und im Vergleich dazu noch einmal die gleiche Anzahl an Füllungen durch erfahrene Behandler durchführen. Sie fanden im Bereich des Schmelzes bei Anwendung von Adper™ Prompt™ L-Pop™ innerhalb der Studentengruppe signifikant weniger Randspaltbildung als bei der Vergleichsgruppe der Erfahrenen, während diese wiederum bessere Werte durch das total-etch-System erreichen konnten ( $p=0,0037$ ). In einer früheren Studie mit vergleichbarem Versuchsaufbau, jedoch anderen Produkten, führten die Füllungen in der Gruppe der Experten Zahnärzte mit 20jähriger Berufserfahrung durch. Auch hier erwies sich das total-

etch-System wesentlich techniksensibler als das self-etch-Adhäsiv (GIACHETTI et al. 2007). Ebenso fanden MIYAZAKI et al. (2000) signifikante Unterschiede verschiedener Behandler trotz identischer Versuchsbedingungen heraus. Zusätzlich untersuchten sie das Verhalten der Proben durch Thermocycling. Sie fanden signifikante Unterschiede bei Proben mit Temperaturwechselbadbelastung im Vergleich zu Gruppen, bei denen man sich dagegen entschieden hatte. Gleichzeitig stellten sie heraus, dass eine Zyklenzahl von bis zu 3000 das Ergebnis nur sehr gering beeinflusst, während sich der Unterschied deutlich verändert, wenn man die Zahl erhöht. So kam es bei Anwendung eines selbstätzenden Primers zu einer signifikanten Verschlechterung der Haftkraft bei einem Anstieg der Zyklenzahl. Bei selbstprimenden Adhäsiven verringerte sich die Haftkraft nach Thermocycling ebenfalls, jedoch unabhängig von der Zyklenzahl (MIYAZAKI et al. 2000). SHUFEN et al. (2001) konnten keine Auswirkungen auf die Randqualität feststellen, wenn die zu untersuchenden Proben von Experten oder Personen mit wenig praktischer Erfahrung hergestellt wurden.

Nach Herstellung einer Kompositfüllung kommt es innerhalb der folgenden Stunden zu Nachpolymerisationsabläufen und sog. Entspannungsprozessen. BUI et al. (2001) erkannten Unterschiede im Haftverhalten eines Kompositkörpers in Abhängigkeit der Wasserlagerungszeit. Hierbei untersuchten sie Prüfkörper, welche mit Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> adhäsiv an Schmelz und Dentin befestigt wurden jeweils nach 10min. Wartezeit (also direkt nach Kompositapplikation) bzw. nach 16 Stunden Wasserlagerung. Diese hatte einen deutlichen Anstieg der Haftung zur Folge (Schmelz von 17,4 MPa auf 28,7 MPa, Dentin von 17,8 MPa auf 27,8 MPa). Gleiche Ergebnisse konnten sie für Bondingsysteme der *fünften Generation* gewinnen.

In einer *Ex-vivo*-Studie beschrieben SAURO et al. (2008) ein – im Vergleich zu den oben aufgeführten Methoden – eher seltenes Versuchsdesign. So entfernten sie von den Molaren, welche später als Probenkörper dienen sollten, zuerst die Wurzel und das Pulpagewebe, kürzten anschließend die Krone okklusal bis zu einer Restdentinstärke von 0,7-0,8 mm im Bereich der Pulpahörner ein, und verbanden die entstandenen Präparate dann zervikal mit einer Apparatur, welche den pulpalen Druck (20 cm Wassersäule) simulierte. Mit diesem Druck erfolgte nun die Perfusion einer Silbernitrat- und anschließend einer Rhodamin-B-

Lösung. Nachdem die Präparate in je 1 mm dünne vertikale Scheiben zersägt wurden, erfolgte anhand von vier Bewertungsgraden die Beurteilung der Mikropermeabilität unter dem Mikroskop.

### 4.1.2 Auswertung und Beurteilung der Proben

*In-vitro*-Testverfahren müssen gewissen Qualitäten entsprechen. Die Probenkörper sollten untereinander vergleichbar sein. Dies wird bei der Probengröße (=n) wichtig, aber auch beim Herstellen und Auswerten der Testkörper. In der vorliegenden Studie betrug die Gruppengröße n=10. Aufgrund der Fragestellungen wurden häufig einzelne Gruppen zusammengefasst, was eine Vergrößerung der Probengröße n bedeutete. Häufig findet man eine Gruppengröße von n=10 bei Untersuchungen zu Klasse-V-Kavitäten auch in der Literatur (MÜLLEJANS et al. 2003, FRANCA et al. 2004 und 2005, GUEDERS et al. 2006, SALIM et al. 2006, ROSALES-LEAL 2007, KIRK et al. 2010). Gelegentlich fanden Untersuchungen mit einer geringeren Anzahl von Probenzähnen innerhalb einer Gruppe statt. So kamen SENSI et al. (2004 und 2005) lediglich mit acht Zähnen pro Gruppe aus, ebenso YAZICI et al. (2003), HEINTZE et al. (2005) und BLUNCK und ZASLANSKY (2007), erhielten aber dennoch statistisch signifikante Ergebnisse (YAZICI et al. 2003; SENSI et al. 2004, BLUNCK und ZASLANSKY 2007). MAGNI et al. (2008) kamen mit fünf Präparaten pro Gruppe aus.

Zwar lässt sich die *In-vitro*-Situation nicht auf klinische Gegebenheiten anwenden und übertragen (PERDIGAO und LOPEZ 1999), dennoch sind *In-vitro*-Studien weit verbreitet und zur Beurteilung und zum Vergleich von zu untersuchenden Materialien geeignet (ERNST et al. 2000, LI et al. 2000, MANHART et al. 2000). Zudem stellen solche Tests eine gute Möglichkeit dar, durch geeignete Methoden ein relativ schnelles „Screening“ eines neuen Materials durchzuführen (SANTINI et al. 2000, VAN MEERBEEK et al. 2000). Jedoch sollten die dadurch erhaltenen Ergebnisse auch in klinischen Studien überprüft werden (PERDIGAO et al. 2000, HASHIMOTO et al. 2001). Vergleicht man *In-vitro*-Tests mit klinischen Untersuchungen, scheidert man häufig aufgrund großer Schwankungen seitens der klinischen Ergebnisse, selbst wenn diese Füllungen mit denselben Adhäsiv- oder Kompositmaterialien hergestellt wurden wie die Laborpräparate (HAHN et al. 2008, HEINTZE et al. 2009). *In vitro* angefertigte Proben und ihre sich anschließenden Randspalt-

untersuchungen haben nur eine mittelmäßige Vorhersagekraft für die klinische Situation (HEINTZE et al. 2009). Die in dieser Dissertation gewählte Klasse-V-Kavität bietet eine gute Möglichkeit, *In-vitro*-Versuche und erhaltene Ergebnisse auch klinisch zu überprüfen, da sie aufgrund der mittelgroßen Kavität und übersichtlichen Position vom Behandler ohne großen Aufwand und spezielle Hilfsmittel versorgt werden kann (HEINTZE et al. 2009). Zudem verlaufen die Ränder meist in Schmelz und Dentin, die Kavitätenform weist keine untersichgehende Retention auf und ist leicht zu restaurieren, was auch einen möglichen Einfluss durch den jeweiligen Behandler verringert (DE MUNCK et al. 2005).

Während man sich klinisch auf eine visuelle Beurteilung (Oberflächenbeschaffenheit, Füllungsrandverfärbungen, Spaltbildung, Sekundärkaries, Füllungsverlust) berufen muss, bietet das *In-vitro*-Verfahren aussagekräftigere Möglichkeiten im Bereich der Randbewertung. Häufig wird diese durch Penetrationsversuche und Untersuchungen mittels Rasterelektronenmikroskopie durchgeführt (HEINTZE et al. 2009). Vergleiche dieser Methoden, welche gewissen Richtlinien entsprechen müssen (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION 2003) haben gezeigt, dass die durch verschiedene Untersuchungsmethoden erhaltene Ergebnisse häufig keine gegenseitige Korrelation zeigen, gerade Penetrations- und rasterelektronische Untersuchungen (HEINTZE 2007, SCHUCKAR und GEURTSSEN 1997, DIETRICH et al. 2000, ERNST et al. 2008, HEINTZE et al. 2008).

Sowohl klinische als auch *In-vitro*-Studien zeigen die Schwierigkeit, dichte Ränder bei Kompositfüllungen zu erhalten (HILTON 2002).

Der Randbereich der Zahnhalsfüllungen in dieser Studie wurde mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskopes und durch Auflichtmikroskopie nach Farbstoffpenetration untersucht.

Die Penetrationsuntersuchung zählt zu den Standardverfahren. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist sein geringer Aufwand (PASHLEY und PASHLEY 1991), ein Nachteil die hierfür nötige Zerstörung der Testzähne. Da bei der Auswertung der Sägeschnitte jeweils nur die getroffene Ebene ausgewertet werden kann, wird diese Untersuchungsmethode zu Recht in

der Literatur als unzureichend eingestuft (GALE et al. 1994, GWINNETT et al. 1995, GALE und DARVELL 1997), da die Erfassung des vollen Ausmaßes der Randspaltbildung über den gesamten Füllungsrandverlauf nicht möglich ist. Einige Autoren raten zur Vorsicht bei der Anwendung und Auswertung der Penetrationstests (RASKIN et al. 2001, SOUSA NETO und CONSANI 2006), da diese häufig nicht ausreichende Ergebnisse liefern.

Um Randspalten räumlich, also dreidimensional, zu erfassen, untersuchten GALE et al. (1994) anhand digitalisierter Serienschritte computergestützt die Restaurationsspalten. MARINELLI und EICHMILLER (1993) gelang es mittels chemikalischer Vorbehandlung die Probenzähne vollständig transparent zu machen, was eine Auswertung der Farbstoffpenetration mit Hilfe eines Stereomikroskops ermöglichte. GWINNETT et al. (1995) verglichen die beiden dreidimensionalen Verfahren und konnten diese nicht nur als gleich effektiv bewerten, sondern stellten diese qualitativ zusätzlich über die zweidimensionale Methode. MARINELLI und EICHMILLER (1993) bewerten die zweidimensionale Methode als genauso aussagekräftig wie die Dreidimensionale.

Bei der Randanalyse mittels REM erfolgte die Beurteilung in dieser Studie anhand vier festgelegter Qualitäten (angelehnt an BLUNCK 2007), wobei hierbei nur die Oberfläche betrachtet wurde, und die Information über die Verbundqualität Richtung Zahninneres fehlt, da eine ausreichende dreidimensionale Darstellung der Spalttiefe durch rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen nicht möglich ist.

Die Zuweisung zu einer der vier Kategorien erfolgte jeweils in Relation zur Gesamtlänge des Füllungsrandes, was sich an vielen Stellen in der Literatur wiederfinden lässt (SEICHTER 1986, BLUNCK 1987, HALLER et al. 1987, BLUNCK und ROULET 1989, KREJCI und LUTZ 1991, AIROLDI et al. 1992, KREJCI et al. 1993). Während einige Autoren die Untersuchung der maximalen Randspaltbreite beschreiben (HANSEN, 1984 und 1986a, b, FINGER und OHSAWA 1987), bevorzugen TORSTENSON und ODEN (1989) die mittlere Randspaltbreite.

In einer Studie von HEINTZE et al. (2005) wurde zusätzlich zur rasterelektronischen Auswertung von Klasse-V-Kavitäten noch eine zusätzliche Beurteilung der Präparate durch

Fluoreszenzmikroskopie vorgenommen. Ein Vergleich der Ergebnisse zeigte eine gute Korrelation beider Methoden für die Auswertung im Dentin und eine moderate Korrelation für Bereiche des Schmelzes. Die Autoren sehen in der Fluoreszenzmikroskopie eine sinnvolle Untersuchungsmethode bei Klasse-V-Kavitäten.

Häufig findet man innerhalb gleicher Studien eine Auswertung sowohl mittels Farbstoffpenetration als auch durch zusätzliche Untersuchung durch das Rasterelektronenmikroskop. ERNST et al. (2008) untersuchten die Vereinbarkeit beider Methoden, indem sie (u. a.) die Adhäsive OptiBond™ FL und Adper™ Prompt™ L-Pop™ bei Klasse-V-Füllungen anwendeten, diese mit drei Schichten Komposit füllten, durch anschließendes Thermocycling (5000 Zyklen, 5/55°C) belasteten und durch 2%ige Methylenblau-Lösung zehn Sekunden bzw. 30 Minuten färbten. Im Anschluss verglichen sie die Ergebnisse der Penetration mit denen des Rasterelektronenmikroskopes. Die REM-Werte korrelierten dabei nicht mit den Ergebnissen der 10sek. Farbstoffpenetration (statistische Signifikanz gegeben). Die Schmelzwerte nach 30min. Penetration entsprachen denen der REM-Untersuchung, im Dentin erkannte man differierende Werte. ERNST et al. (2008) raten zu einer Verweildauer von 30 Minuten im Färbebad. MOLL et al. (2004) untersuchte die Vereinbarkeit der Ergebnisse verschiedener Adhäsivsysteme durch unterschiedliche *In-vitro*-Tests anhand von Zug-, Scher- und Ausstoßversuch an 180 Präparaten, wobei beim Ausstoßversuch zwei verschiedene Personen die Tests durchführten. Die Ergebnisse wurden durch Penetrationsuntersuchungen und Rasterelektronenmikroskopie gewonnen. Neben eines Einflusses der durchführenden Person erkannten die Autoren ferner eine signifikante Auswirkung auf die Verbundstärke in Hinblick auf das Adhäsivsystem und die verwendeten Tests. Die Ergebnisse des Ausstoßversuchs glichen dabei nicht denen der übrigen Tests. Keine Korrelation konnte zwischen den Haftwerten und der Randadaptation festgestellt werden. Eine schwache Korrelation zeigten die Ergebnisse, welche durch Penetrationsuntersuchungen und Rasterelektronenmikroskopie gewonnen wurden. So warnen die Autoren vor einer möglichen Fehlinterpretation verschiedener Ergebnisse, die aufgrund unterschiedlicher *In-vitro*-Tests erhalten wurden.

Zug- und Scherversuche sind gängige Verfahren, die zur Untersuchung der Verbundfestigkeit einer adhäsiv verankerten Restauration dienen. VAN NOORT et al. (1989)

beurteilen diese eher als nachteilig, da aufgrund der durchgeführten Krafteinleitung häufig verfälschte Ergebnisse die Folge sind. FRANKENBERGER (1999a und 2001a, b) nennt zudem den Mikrozugversuch und den Ausstoßversuch.

Generell findet man in der Literatur zahlreiche Auswertungsverfahren. Die Auswahl der verwendeten Untersuchungsmethoden innerhalb dieser *In-vitro*-Studie beschränkt sich auf die dem Labor der Universität Würzburg zur Verfügung stehenden Mittel.

### **4.2 Beurteilung der Ergebnisse**

#### **4.2.1 Einfluss des Adhäsivsystems auf die Randqualität**

Die Verbindung zwischen Restaurationsmaterial und Dentin ist die große Schwierigkeit der täglichen Zahnheilkunde und benötigt in den nächsten Jahren noch weitere *In-vitro*-Testreihen und klinische Studien (PURK et al. 2007). Ein weiteres Problem besteht in der Tatsache, dass die *In-vitro*-Situation nicht ohne Weiteres auf die klinischen Gegebenheiten übertragbar ist (HANNIG und FRIEDRICHS 2001). Die Hersteller reagieren auf diese Problematik mit ständigen Verbesserungen im Bereich der Dentinhaftvermittler (SABOIA et al. 2002, PEUMANS et al. 2005a, b, SOARES 2005). Trotzdem bleibt der Randspalt das Problem, besonders bei one-step-Adhäsiven (DA SILVA TERRES et al. 2001, PEUMANS et al. 2005b, EDEN et al. 2006). Zudem hat das Problem der Techniksensitivität eher zu- als abgenommen (FRANKENBERGER und TAY 2005, FRANKENBERGER et al. 2005 und 2007). Generell bestätigen die Ergebnisse von *In-vitro*-Studien mit einer statistischen Signifikanz ein unterschiedliches Verhalten von Schmelz und Dentin im Verbund mit der Restauration, was sich durch das Auftreten unterschiedlich stark ausgeprägter Randspalten zeigt (MONTICELLI et al. 2008, KIRK et al. 2010). Der Einfluss des Adhäsivsystems im Bereich des Dentins ist häufig statistisch signifikant vom verwendeten Material abhängig (SILVEIRA DE ARAUJO et al. 2006).

Selbsttänzende Adhäsivsysteme sind im Vergleich zu etch-and-rinse-Adhäsivsystemen weniger techniksensibel und zeitsparender bei der Anwendung (BLUNCK 2010). Die zeitgleich stattfindende Demineralisation der Zahnschmelzoberfläche und ihre Durchdringung



durch die in der Adhäsivflüssigkeit befindlichen Monomere sollen eine optimal infiltrierte Hybridschicht gewährleisten und zudem zu einer geringeren postoperativen Sensibilität führen (BLUNCK 2010). Jedoch zeigen moderne selbstkonditionierende Adhäsive häufig ausgeprägte Farbstoffpenetrationen (SAURO et al. 2008). Um die Haftung am feuchten Dentin zu verbessern, müssen die verwendeten Monomere eine immer stärkere Hydrophilie aufweisen. Der somit erhöhte Wasseranteil in der Hybridschicht kann die Stabilität des Polymernetzwerkes gefährden (SAURO et al. 2008). Hydrolytische und enzymatische Zerstörungsprozesse im Bereich des Dentins sind der Grund für auftretende Defekte in der Verbundschicht. SAURO et al. (2008) empfehlen deshalb für den klinischen Alltag, dass ein möglichst großer Füllungsrandanteil im Bereich des Schmelzes zu liegen kommen sollte, wenn anschließend selbstkonditionierende Adhäsivsysteme verwendet werden.

KLEBER et al. (2002) untersuchten die Spaltwerte an Zahnhalsfüllungen (der Rand verlief je zur Hälfte im Dentin bzw. Schmelz). Nach 21-tägiger Wasserlagerung wurden jeweils vor und nach Thermocycling entsprechende Replika hergestellt, um mit Hilfe der Untersuchung mittels REM eine Veränderung der Randadaptation nachzuweisen. Das Kriterium „kontinuierlicher Rand“ im Dentin konnte bei dem Mehrflaschenadhäsiv OptiBond™ FL vor und nach Wechselbadbelastung jeweils mit 100% angegeben werden, beim Adhäsiv Adper™ Prompt™ L-Pop™ sanken die Werte auf 57,1% vor, bzw. 28,9% nach Thermocycling. Somit lässt sich mit dem Mehrflaschenadhäsiv in Kombination mit der total-etch-Technik eine bessere Randadaptation erreichen als beim selbststützenden Einflaschenadhäsiv.

Untersuchungen von FRANKENBERGER et al. (1999a) ergaben, dass Zwei-Schritt-Adhäsivsysteme geringere Verbundwerte zwischen Komposit und Dentin erreichen als Drei-Schritt-Systeme (total-etch-Technik). So zeigen Ergebnisse von Studien, bei denen verschiedene Testverfahren eingesetzt wurden (Scherhaftwerte, Mikro-Zugfestigkeitstests und Randanalysen), eine hohe Zuverlässigkeit für diese Gruppe. Es fallen dabei vor allem für das Präparat OptiBond™ FL geringe Schwankungen der Messwerte auf, die dazu geführt haben, dass dieses Produkt international in Studien häufig als Referenzprodukt eingesetzt wird (TJAN et al. 1996, FRANKENBERGER et al. 1999a, INOUE et al. 2001b, MOLL et al. 2002, BLUNCK und ZASLANSKY 2007, SAURO et al. 2008, BLUNCK et al. 2009, VAN LANDUYT et al. 2009).

VAN LANDUYT et al. (2009) testeten in einer Studie neun selbstätzende Ein-Schritt-Adhäsive (darunter befand sich auch Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>) im Vergleich zum „Goldstandard“ (BLUNCK 2010): einem selbstätzenden Zwei-Schritt-System und dem Mehr-Schritt-Adhäsiv OptiBond<sup>TM</sup> FL. Hier schnitt OptiBond<sup>TM</sup> FL mit den besten Haftwerten ab. Ferner ergab die Auswertung der Ergebnisse der selbstätzenden Systeme eine sehr unterschiedliche Beschaffenheit der Verbundzone in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Lösung und deren Säuregrad. So sind all-in-one-Adhäsive sehr kritisch zu bewerten, da es bei der Applikation der bereits fertig gemischten Lösung zur Verdunstung des Lösungsmittels und somit leicht zu einer Phasenseparation der Monomere kommt. Jedoch konnten VAN LANDUYT et al. (2009) bei allen untersuchten Adhäsiven (auch die der Referenzgruppe) sog. Nanoleakages finden, d. h., dass alle getesteten Adhäsive permeabel für Wasser waren. Die über der Hybridschicht liegende Adhäsivschicht variierte stark in Abhängigkeit zur Applikationstechnik. Wurde das Adhäsiv nach dem Auftragen gemäß Herstellerempfehlung durch Luft verblasen, fanden die Autoren eine nur ca. 10 µm dünne Hybridschicht. Bei der Kontrollgruppe betrug diese hingegen ca. 50 µm. Bei all-in-one-Systemen scheint – durch einwirkenden Sauerstoff behindert – keine sichere Aushärtung der Adhäsivschicht zu bestehen. So zeigen diese, wenn man sie während der Applikation unter dem Lichtmikroskop genauer betrachtet, jeweils in Abhängigkeit von ihrer Hydrophilie eine unterschiedlich stark ausgeprägte Tröpfchenbildung, was als Phasenseparation interpretiert werden könnte. Somit kommen die Autoren zu dem Ergebnis, dass vermeintlich „simplifizierte“ Adhäsivsysteme nicht unbedingt als Verbesserung zu sehen sind. Sie empfehlen ferner, dass die oben aufgeführte Tröpfchenbildung und deren Einfluss auf die Langzeitwirkung noch genauer untersucht werden sollte.

MARQUEZINI et al. (2002) bestätigen bei selbstätzenden Primern im Schmelzbereich eine Abhängigkeit der Qualität der Haftwerte von Applikationszeit und Material. So lassen sich häufig bessere Werte erzielen, wenn man die vom Hersteller vorgegebene Einwirkdauer gering erhöht.

HALLER und BLUNCK (2003) empfehlen bei der Verwendung selbstkonditionierender Primer und all-in-one-Adhäsiven diese lange genug einwirken zu lassen (etwa 30 Sekunden) und durch leichtes "Einreiben" in Bewegung zu halten, um eine optimale

Ätzwirkung sicherzustellen und die Neutralisation der sauren Lösungen zu verhindern. Bislang ungeklärt sind die langfristige Auswirkung der in das Primer/Adhäsiv-Gemisch eingebetteten Schmierschichtpartikel und die ausgefallenen Kalziumsalze der selbstkonditionierenden Monomere auf den Verbund zwischen Restauration und Zahnschmelz.

PILECKI et al. (2005) begründeten die herabgesetzte Haftfestigkeit bei Dentinadhäsiven, welche in nur einem Behältnis Primer und Bonding vermischt enthalten, mit einer Phasentrennung, da sich das Lösungsmittel ab einer gewissen Filmdicke nicht mehr vollständig verblasen lässt, was mit einer Zunahme von Porositäten im Material einhergeht.

Untersuchungen von TAY et al. (2001) ergaben eine herabgesetzte Dentinhaftung von all-in-one-Adhäsiven, wenn zwischen ihrer Aushärtung und der Lichtpolymerisation des Komposits zu viel Zeit verstrichen war.

Verschiedenen Quellen ist zu entnehmen, dass Total-Ätz-Systeme mit anschließend separatem Primer- und Adhäsivauftrag (sog. Drei-Schritt-etch-and-rinse-Systeme) die besten Dentinhaftwerte erzielen im Vergleich zu selbstkonditionierenden Systemen mit separater Applikation von Primer und Adhäsiv oder Zwei-Schritt-Total-Ätz-Systemen (PERDIGAO et al. 1999 und 2000a, INOUE et al. 2001b, MANHART et al. 2001, MOLL et al. 2002b, NIKAIIDO et al. 2002, FRANKENBERGER und KERN 2003, FRANKENBERGER et al. 2004 und 2005, GARCIA-GODOY et al. 2007, ARISU et al. 2008, BLUNCK et al. 2009). Dieses Verfahren wird häufig als „Goldstandard“ in der Literatur bezeichnet (BLUNCK 2010).

Mehrere Autoren bestätigen eine größere Wirksamkeit der Total-Ätz-Systeme im Vergleich zu den all-in-one-Adhäsiven (FRANKENBERGER et al. 2001b, INOUE et al. 2001b, KAADEN et al. 2002, MOLL et al. 2002b, ROSA und PERDIGAO 2000; SPOHR et al. 2001, GUEDERS et al. 2006, SALIM et al. 2006, ROSALES-LEAL 2007, ARISU et al. 2008, FRANKENBERGER 2008, MONTICELLI et al. 2008, BLUNCK et al. 2009). Ferner zeigten weitere Studien deutliche Mängel der all-in-one-Systeme auf (HUBER et al. 2000, ERNST et al. 2002b, c). PASHLEY und TAY (2001) raten generell bei unpräpariertem Schmelz (Fissurenversiegelung, ästhetische Korrekturen) zur Phosphorsäure-Ätzung (PASHLEY und

TAY 2001). In einer Studie von GUEDERS et al. (2006) zeigten alle Klasse-V-Restaurationen statistisch signifikant höhere Spaltwerte im Schmelz als an den im Dentin verlaufenden Füllungsrandern. Zur Anwendung kamen hier ein etch-and-rinse-System und ein self-etch-Adhäsiv. Generell wiesen die Präparate der etch-and-rinse-Gruppe statistisch signifikant die geringeren Spaltwerte auf ( $p < 0,0001$ ). OWENS und JOHNSON (2005) kombinierten innerhalb von Klasse-V-Kavitäten je ein Adhäsiv (self-etch bzw. total-etch) mit einer bestimmten Fülltechnik (Schicht bzw. Bulk). Im Schmelz zeigte die Kombination total-etch/Schicht signifikant weniger Randspalt als alle anderen Gruppen. Im Dentin wiesen die Präparate aus der total-etch/Schicht-Gruppe signifikant weniger Randspalten auf, als die Zähne, welche mit der self-etch/Bulk-Technik gefüllt wurden. Generell konnten die Autoren signifikant weniger Randspalten im Schmelz als im Dentin erkennen. OWENS und JOHNSON (2005) folgerten aus ihren Ergebnissen, dass Klasse-V-Kavitäten signifikant bessere Randwerte im Schmelz und Dentin zeigen, wenn diese durch die total-etch-Technik konditioniert und anschließend geschichtet restauriert wurden. Untersuchungen von ARISU et al. (2008) zeigten, dass bei Verwendung von Zwei-Schritt-Systemen (total-etch bzw. self-etch) und all-in-one-Adhäsiven die Mehrflaschensysteme (total-etch) am besten abschlossen bei Klasse-V-Kavitäten. Selbst nach einer okklusalen Kaubelastung von 250 N zeigten die Mehrflaschensysteme (total-etch bzw. self-etch) deutlich bessere Verbundwerte im Schmelz, als die one-bottle-Gruppe. Eine okklusale Belastung von 100 N hingegen hatte in keiner Gruppe eine Veränderung der Spaltwerte zur Folge.

Untersuchungen im Zusammenhang mit einem der ersten all-in-one-Adhäsive zeigten überwiegend deutlich geringere Haftwerte (HARA et al. 1999, MOLL et al. 2002a). Besondere Vorsicht ist bei der Bewertung des pH-Wertes von selbstkonditionierenden Lösungen geboten. Dieser bestimmt zwar die Ätzwirkung, ist jedoch nicht ausschlaggebend für die Haftfestigkeit (KAADEN et al. 2002, PASHLEY und TAY 2001). HALLER und BLUNCK (2003) geben als Ursachen für die Qualität der Schmelzhaftung neben der Ätztiefe auch die Benetzungseigenschaften der Monomere und die Festigkeit des Adhäsives an. Ferner raten HALLER und BLUNCK (2003) vorerst, bei frisch auf den Markt gekommenen all-in-one-Adhäsiven abzuwarten, ob Herstellerversprechungen bezüglich einer optimierten Dentinhaftung durch weitere Studien bestätigt werden, bevor eine endgültige Bewertung möglich ist. So lassen auch pH-Werte von selbstkonditionierenden

Monomerlösungen keine Rückschlüsse auf deren Dentinhaftung zu (KAADEN et al. 2002, TAY und PASHLEY 2001).

In einigen Untersuchungen fanden die Autoren ausreichende Haftwerte der "vereinfachten" Systeme im Vergleich zu den Mehrflaschenadhäsiven heraus (LOPES et al. 2006, KNOBLOCH et al. 2007, YAZICI et al. 2007).

Nachteilig auf den Ruf selbstkonditionierender Systeme wirken sich die Untersuchungen von LI et al. aus. Diese berichten über das Phänomen der "Nanoleakages" (LI et al. 2001 und 2002), welche – anders als bei Total-Ätz-Systemen – nicht von einer unvollständigen Dentinhybridisierung herrühren, sondern auf eine Behinderung der Polymerisation durch nicht vollständig entferntes Wasser des Lösungsmittels zurückzuführen sind (TAY et al. 2002a, b). Untersuchungen während der letzten Jahre zeigten eine Zunahme der Nano-leakages. Dies deutet auf hydrolytische Degradationsprozesse in der Hybridschicht hin, welche sich negativ auf den Verbund auswirken und dadurch die Haftung vermindern (FRANKENBERGER 2002, OKUDA et al. 2002, TAKAHASHI et al. 2002). Diese Prozesse werden auch von MAGNI et al. (2007) bestätigt, welche drei verschiedene selbstätzende Adhäsivsysteme in Kombination mit einem fließfähigen Komposit untersuchten. Hierbei schnitt die Kombination Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>/Filtek<sup>TM</sup> Supreme XT Flow am schlechtesten ab. Die Autoren vermuten, dass der Grund für die schwache Adhäsivschicht und die geringe Haftkraft zwischen Adhäsiv und Komposit die Säurekonzentration (führt zu niedrigen pH-Werten) des Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> ist. Diese scheint verantwortlich für eine ausgedehnte Auflösung der Dentinoberfläche sowie eine Reduktion der Hydroxylapatitkristalle innerhalb der Hybridschicht zu sein und in Folge dessen zu chemischen Wechselwirkungen der Phosphatgruppen der Monomere innerhalb des Adhäsivs zu führen. Die in dieser Studie alternativ verwendeten Einflaschenadhäsive wiesen eine mildere Einwirkung auf die Dentinoberfläche und signifikant bessere Haftwerte auf. Das Auftreten der Nanoleakages bei Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> wird auch bei CARVALHO et al. (2005) beschrieben.

SAURO et al. (2008) untersuchten drei selbstkonditionierende Adhäsive im Vergleich zu einer Referenzgruppe (OptiBond<sup>TM</sup> FL und ein selbstkonditionierendes Zweiflaschen-

system). Nach dem Adhäsivauftrag wurden die Probenkörper anschließend durch eine 2 mm dicke Kompositschicht (Filtek™) abgedeckt. Nach erfolgter Farbstoffpenetration und Zersägung in je 90 einzelne 1 mm dünne Scheiben erfolgte die Bewertung der Mikropermeabilität anhand 4 verschiedener Qualitäten (wobei Grad 1 keine und Grad 4 eine ausgeprägte Durchlässigkeit bedeutete). Innerhalb der drei selbstkonditionierenden Adhäsive wurde ausschließlich Grad 4 festgestellt. Die Bewertung für OptiBond™ FL ergab 8x Grad 2 und 82x Grad 3. Das andere selbstkonditionierende Zweiflaschenadhäsiv der Vergleichsgruppe erhielt 87x Grad 3 und 3x Grad 4. In dieser Gruppe konnten SAURO et al. (2008) keine signifikanten Unterschiede untereinander feststellen, jedoch signifikant geringere Grade der Mikropermeabilität im Vergleich zu den drei selbstkonditionierenden Systemen.

BLUNCK und ZASLANSKY (2007) untersuchten den Einfluss unterschiedlich langer Wasserlagerung auf den Adhäsivverbund von Klasse-V-Kavitäten bei Verwendung von all-in-one-Systemen. Sie konnten für Adper™ Prompt™ L-Pop™ im Vergleich zur Referenzgruppe (u. a. OptiBond™ FL) nach einem Jahr signifikant schlechtere Werte feststellen, als zum Zeitpunkt nach 21tägiger Wasserlagerung. Generell beeinflusste in dieser Studie eine längere Wasserlagerung signifikant den Verbund der all-in-one-Adhäsive im Bereich des Schmelzes, wobei die verwendeten all-in-one-Systeme sich sehr stark gegenseitig unterschieden (BLUNCK und ZASLANSKY 2007).

Im Vergleich zu zwei weiteren self-etch-Adhäsiven schnitt in einer Studie von BUI et al. (2002) Adper™ Prompt™ L-Pop™ am schlechtesten ab.

Auch in Untersuchungen von GUEDERS et al. (2006), welche vier etch-and-rinse-Systeme und drei self-etch-Adhäsive (darunter Adper™ Prompt™ L-Pop™) untersuchten, erhielten die Autoren nicht nur deutlich schlechtere Ergebnisse für die one-bottle-Produkte ( $p < 0,0001$ ), sondern innerhalb dieser Gruppe auch statistisch signifikant die größten Randspaltwerte für Adper™ Prompt™ L-Pop™ ( $p < 0,0001$ ). Diese konnten jedoch in einer gleichzeitig parallel verlaufenden Testreihe durch eine zuvor aufgetragene dünne Schicht Flowable signifikant reduziert werden ( $p = 0,042$ ).

Auch im direkten Vergleich von OptiBond™ FL mit Adper™ Prompt™ L-Pop™ bringt das all-in-one-Adhäsiv signifikant schlechtere Randschlusswerte hervor (LÖCHELT 2008).

SHONO et al. (1999) konnten zeigen, dass die Haftung an pulpanahem Dentin geringer ist als an peripherem Dentin. In Studien von YOSHIYAMA et al. zeigten selbstkonditionierende Bondingsysteme an sklerosiertem bzw. kariös verändertem Dentin schlechtere Haftwerte als an normalem Dentin (YOSHIYAMA et al. 2000 und 2002). Auch wenn sich diese Tatsache ebenso auf Total-Ätz-Systeme übertragen lässt, erzielen diese auf entsprechend verändertem Dentin dennoch eine stärkere Haftung (NAKAJIMA et al. 1999, TAY et al. 2000, YOSHIYAMA et al. 2000). KWONG et al. (2002) empfehlen den Anwendern von selbstkonditionierenden Monomerlösungen deshalb, die Einwirkdauer gegenüber den Herstellerangaben zu verdoppeln, um die Haftung an derart verändertem Dentin zu verbessern. Zudem kann ein vorheriges Bearbeiten von nicht kariösen Zahnhalsdefekten mit rotierenden Instrumenten die Dentinhaftung verstärken (KWONG et al. 2002). KOIBUCHI et al. (2001) zeigten hierbei den Einfluss der erzeugten Schmierschicht auf den Haftverbund. So ließen sich in Studien durch die Bearbeitung mit Hartmetall- oder Diamantfinierern höhere Haftfestigkeiten erreichen als mit normalkörnigen Diamantschleifern (INOUE et al. 2001a, OGATA et al. 2001 und 2002).

*In vitro* erzielten all-in-one-Adhäsive im Vergleich zu selbstkonditionierenden Bondingsystemen mit Zwei-Schritt-Applikation einen schlechteren Randschluss am Dentinrand von Klasse-V-Füllungen, wobei bei beiden Systemen Undichtigkeiten nicht vollständig zu verhindern waren (PRATI et al. 1997, GORDAN et al. 1998, CARDASO et al. 1999, HANNIG und BOTT 2000, KUBO et al. 2001, SANTINI et al. 2001, ERNST et al. 2002b, c, FRANKENBERGER 2002b). Einigen Quellen ist zu entnehmen, dass selbstätzende Systeme im Bereich des Schmelzes schlecht wirken, weshalb einige Autoren ein zusätzliches Ätzen von Schmelz (und Dentin) empfehlen (FRANCA et al. 2004, VAN MEERBEEK et al. 2004, PEUMANS et al. 2005a, BRACKETT et al. 2006, ABDALLA und EL SAYED 2008, MONTICELLI et al. 2008). Auch in klinischen Studien wurde diese modifizierte Technik angewendet. PEUMANS et al. (2005a, b) bestätigen, dass ein zusätzlich durchgeführtes Ätzen bei self-etch-Adhäsiven das Auftreten kleinere Defekte bei Zahnhalsfüllungen im Bereich des Randes (v. a. im Schmelz) nach drei Jahren statistisch signifikant reduzieren

kann, was sich jedoch nicht auf die Haltbarkeit der Restauration auswirkt. Ähnliches berichten auch ABDALLA und GARCIA-GODOY (2007). Ein zusätzliches Ätzen verbesserte in ihrer Studie zwar nicht die Qualität des Füllungsrandes bei Klasse-V-Kavitäten, jedoch zeigten sich weniger Randverfärbungen im Schmelz, wenn dieser zuvor durch Säure konditioniert wurde. Jedoch hatte die zusätzliche Säureätzung eine Verschlechterung des Randes im Bereich des Dentins zur Folge (ABDALLA und GARCIA-GODOY 2007).

MONTICELLI et al. (2008) modifizierten die Zahnoberfläche bei Klasse-V-Kavitäten, indem sie ein etch-and-rinse-Adhäsiv und zwei self-etch-Adhäsive (darunter Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>) einmal nach Herstellerangaben auftrugen, in einer weiteren Gruppe die Zahnoberfläche für 15 Sekunden mit 37%iger Phosphorsäure konditionierten, in einer dritten Gruppe ebenfalls die Kavität für 15 Sekunden ätzten und im Anschluss daran eine 5%ige NaOCl-Lösung für zwei Minuten applizierten. Die anschließende Wasserlagerung fand bei 37°C für 24 Stunden, 6, 12 und 24 Monate statt. Die Auswertung erbrachte signifikant unterschiedliche Werte für Schmelz und Dentin unter den verschiedenen Adhäsivsystemen. Die Langzeitdichtigkeit hing signifikant vom verwendeten Material und der Vorbehandlung (Phosphorsäure, NaOCl) ab und nahm bei anhaltender Wasserlagerung deutlich ab. Im Schmelz konnten die Autoren weniger Randspalte erkennen, als im Dentin. Das etch-and-rinse-Adhäsiv wies nach 24 Monaten die geringste Anzahl an Spalten auf. Alternative Methoden der Dentinkonditionierung halten die Autoren für sinnvoll.

BLUNCK et al. (2009) untersuchten, welchen Einfluss das vorherige zusätzliche Ätzen von Schmelz und/oder Dentin bei Klasse-V-Restaurationen unter Verwendung eines selbst-ätzenden Adhäsivsystemes hat. Hierbei wurde neben weiteren Adhäsiven auch Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> angewendet, als Kontrollgruppe diente OptiBond<sup>TM</sup> FL. Während FRANKENBERGER et al. (2008) zuvor einen negativen Einfluss auf die Haftwirkung im Bereich des Dentins nachweisen konnten, erkannte die Gruppe um BLUNCK keine signifikanten Auswirkungen. Auch BRACKETT et al. (2006) untersuchten anhand von Klasse-V-Kavitäten den Einfluss zusätzlichen Ätzens bei Verwendung von self-etch-Adhäsiven (darunter Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>). Als Kontrolle diente auch hier ein etch-and-rinse-Produkt. Hatten die Autoren nach Herstellerangaben verfahren, fanden sie keine signifikanten Unterschiede im Dentin. Jedoch konnten sie für Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>



und ein weiteres self-etch-Adhäsiv signifikant größere Randspaltwerte im Schmelzbereich feststellen, als bei der Kontrollgruppe (etch-and-rinse). Wurde zuvor bei beiden genannten Adhäsiven zusätzlich angeätzt, verringerte sich das Auftreten von Randspalten erheblich (statistisch signifikant). Die zusätzliche Schmelz-Konditionierung verbesserte zudem die Haftwerte innerhalb des Dentins, jedoch nicht signifikant.

Vorteilig bei der total-etch-Technik ist nicht nur das erzeugte Schmelzätzmuster, sondern auch der Verbund zwischen Komposit und Schmelz. So sind die mit selbstkonditionierenden Monomerlösungen erzeugten Ätzbilder und Kunststoff-Schmelz-Interaktionsmuster deutlich schwächer ausgeprägt als die bei Phosphorsäure-Ätzung (HALLER und BLUNCK 2003). Ob das Folgen hat auf Randschluss, Randverfärbungen und Füllungsretention, kann noch nicht abgeschätzt werden. MIYAZAKI et al. (2000b) zeigten in einer Studie eine Herabsetzung der Schmelzhaftung durch thermische Wechselbelastung. BURROW et al. (1999) vermuten den Grund hierfür in einer starken Wasseraufnahme durch das Adhäsiv, was auch durch Randverfärbungen sichtbar wird.

MIYAZAKI et al. (2000a) fanden heraus, dass bei selbstätzenden Monomeren die Tiefe der Infiltration und die Tiefe der Demineralisation identisch ist, was die Anwendung selbstkonditionierender Primer daher im Vergleich zur Total-Ätz-Technik weniger techniksensitiv macht und die erzielte Dentinhaftung somit weniger behandlerabhängig ist. BALKENHOL et al. (2007) fand heraus, dass ein Drei-Schritt-System (ethanol/wasser-basierende Lösung) wenig techniksensibel ist verglichen mit einem acetone/wasser-basierenden Adhäsivsystem. Bei modernen ethanol/wasser-basierenden Drei-Schritt-Adhäsivsystemen bleibt die Verblasung und Verdunstung des Primers ein kritischer Schritt (BALKENHOL et al. 2007).

Die meisten *In-vitro*-Studien, welche sich mit der Haftfestigkeit am Schmelz befassten, fanden keine Unterschiede zwischen selbstkonditionierenden Systemen und Total-Ätz-Systemen (HANNIG et al. 1999b, IBARRA et al. 2002, PERDIGAO et al. 2000a, b, TOLEDANO et al. 2001), was auch die Penetrationsuntersuchungen dieser Dissertation ergaben. Dies bestätigt auch eine Studie von SALIM et al. (2006), welche keine statistische Signifikanz zwischen den Haftwerten selbstätzender Systeme verglichen mit denen von

Zweiflaschensystemen mit Total-Ätz-Technik feststellen konnten. Auch hierbei lagen die Kavitätenränder der zu untersuchenden Klasse-V-Füllungen allseits im Schmelz. Laut einer Studie von MAZUR et al. (2002), welche Klasse-V-Kavitäten (Ränder zur Hälfte in Schmelz und Zement) mit drei Schichten füllten, entstehen signifikant weniger Randspalten im Schmelz als im Dentinbereich. Diese Ergebnisse werden durch weitere Untersuchungen an Zahnhalskavitäten (sowohl bei Anwendung der etch-and-rinse-Technik als auch bei selbstkonditionierenden Systemen) bestätigt (YAZICI et al. 2003, OWENS und JOHNSON 2005, SILVEIRA DE ARAUJO et al. 2006, ROSALES-LEAL 2007, ARISU et al. 2008, BAGHERI und GHAVAMNASIRI 2008).

Aufgrund von durchgeführten Studien zu verschiedenen modernen selbstkonditionierenden Adhäsivsystemen empfehlen SAURO et al. (2008) für den klinischen Alltag, auf einen möglichst großen Schmelzanteil im Randbereich der Restauration zu achten.

In der Produktbeschreibung von Restaurationsmaterialien empfehlen Hersteller häufig die Anwendung eigener Adhäsivsysteme. YAZICI et al. (2003) untersuchten den Einfluss des jeweils vom Hersteller empfohlenen Adhäsivsystems und im Vergleich dazu ein alternatives Präparat. Zur Anwendung kamen drei verschiedene Restaurationsmaterialien (ein nanogefülltes und ein ormocer-basiertes Flowable, sowie ein fließfähiges Kompomer). Keine signifikanten Unterschiede fanden YAZICI et al. (2003) im Schmelz, im Bereich des Dentins unterschieden sich die Füllungs-ränder jedoch signifikant von einander, wobei das ormocer-basierte Flowable die geringste Spaltrate aufwies. Die Kombination dieses Flowables mit einem alternativen Adhäsiv hatte eine signifikante Veränderung der Schmelz- und Dentinwerte zur Folge. Keines der getesteten Materialien konnte Randspalte im Bereich des Dentins verhindern, selbst bei Anwendung des vom Hersteller empfohlenen Adhäsives.

SILVEIRA DE ARAUJO et al. (2006) konnten in einer Studie nicht nur aufzeigen, dass dichtere Verbundschichten im Bereich des Schmelzes erkennbar sind ( $p < 0,01$ ), sondern dass das verwendete Adhäsiv nur im Bereich des Dentins ein signifikanter Faktor ist. Sie untersuchten den Einfluss sieben verschiedener Adhäsive auf Schmelz und Dentin und

erkannten, dass es im Dentin – abhängig vom verwendeten Material – zu den höchsten Randspaltwerten kam ( $p=0,05$ ).

Auch in klinischen Studien wurden self-etch-Adhäsive untersucht. Rückblickend auf 2005 konnten PEUMANS et al. (2005a, b) eine klinische „Effektivität“ der one-bottle-Systeme nachweisen, was sich in Retentionsraten von 50-100% innerhalb eines Zeitraums von drei Jahren äußerte. Die durchschnittliche jährliche Verlustrate ist für one-bottle-Adhäsive bei 6% angegeben, bei 5% liegt sie ferner für die Drei-Schritt-etch-and-rinse- und die selbststützenden Zwei-Schritt-Adhäsivsysteme (PEUMANS et al. 2005a, b). Es existieren in der Literatur lediglich drei Publikationen klinischer Studien von one-bottle-Adhäsiven über einen Zeitraum von länger als drei Jahren. Nach vier Jahren wurden 85% noch für gut und ausreichen befunden, nach fünf Jahren lag die Rate bei 55% bzw. 100% (DI LENARDA et al. 2000, VAN DIJKEN et al. 2001, KUBO et al. 2006). Klinische Langzeitstudien sind für one-bottle-Systeme dringend notwendig und wünschenswert (RITTER et al. 2009). ABDALLA und GARCIA-GODOY (2007) füllten kariöse Klasse-V-Kavitäten, welche zuvor durch ein self-etch-Adhäsiv vorbereitet wurden. Bei einer Evaluation nach zwei Jahren stellten sie weder einen Füllungsverlust fest, noch andere Veränderungen im Füllungsrandbereich, welche eine Erneuerung zwingend vorgeschrieben hätten. PEUMANS et al. (2005a) füllten kariesfreie Zahnhalskavitäten mit einem self-etch-Adhäsiv und konnten nach drei Jahren ebenfalls keinen Füllungsverlust feststellen.

Auch den Einfluss einer zusätzlichen Konditionierung durch Phosphorsäure bei verwendeten self-etch-Adhäsiven im Bereich von Zahnhalsfüllungen untersuchte man in klinischen Studien. ABDALLA und EL SAYED (2008) verwendeten bei 125 kariesfreien Läsionen einmal das self-etch-Adhäsiv laut Herstellerangaben, bei einer weiteren Gruppe wurde vorher die gesamte Kavität für 20 Sekunden angeätzt. Die klinische Evaluation fand nach 12 und 24 Monaten statt. Während diesen Zeiträumen wurde kein Füllungsverlust festgestellt und keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Auffällig war lediglich, dass bei den Restaurationen, welche durch zusätzliches Anätzen vorbehandelt wurden, weniger Verfärbungen an den Rändern im Schmelz aufgetreten waren. Dieses Phänomen konnten auch ABDALLA und GARCIA-GODOY (2007) durch eine *In-vivo*-Untersuchung (zuvor kariöser Läsionen) bestätigen.

In einer klinischen Studie von PEUMANS et al. (2005a) wurden Zahnhalsfüllungen an kariesfreien Zähnen gelegt und durch ein zuvor aufgetragenes selbstätzendes Adhäsiv versorgt. Bei einem Teil der Zähne wurde der Schmelz vorher durch Phosphorsäure behandelt. Nach drei Jahren befanden sich 100% der Restaurationen in situ, wobei signifikante Unterschiede zu erkennen waren zwischen den beiden Gruppen. Wurde zuvor nicht angeätzt, zeigten die Füllungen nach drei Jahren mehr (kleinere) Defekte im Bereich des Randes (v. a. im Schmelz), was sich jedoch nicht auf ihre Haltbarkeit auswirkte. Eine zusätzliche Schmelzkonditionierung durch Phosphorsäure hatte klinisch keine nachteilige Auswirkung (PEUMANS et al. 2005a). Zu ähnlichen Ergebnissen kamen auch ABDALLA und GARCIA-GODOY (2007), welche kariöse Klasse-V-Läsionen unter Verwendung eines self-etch-Adhäsives füllten. Während sie bei einem Teil der Zähne das Adhäsiv laut Herstelleranweisung auftrugen, führten sie in einer anderen Gruppe zusätzlich eine Säureätzung im Schmelz durch, und dehnten diese innerhalb einer weiteren Gruppe zusätzlich auf Schmelz und Dentin aus. Nachuntersuchungen nach 12 und 24 Monaten ergaben jeweils 0% Füllungsverlust (innerhalb der drei Gruppen). Ein zusätzliches Ätzen verbesserte zwar nicht die Qualität des Füllungsrandes, jedoch zeigten sich weniger Randverfärbungen im Schmelz, wenn dieser zuvor durch Säure konditioniert wurde. Im Bereich des Dentins stellten die Untersucher eine Verschlechterung des Randes nach zusätzlicher Säureätzung fest (ABDALLA und GARCIA-GODOY 2007).

In einer weiteren klinischen Studie untersuchten RITTER et al. (2009) ein gefülltes Adhäsiv auf Ethanol-Basis mit einem ungefüllten Adhäsiv auf Aceton-Basis. Die 99 Klasse-V-Kavitäten befanden sich an kariesfreien Zähnen, der Schmelzrand wurde nicht angeschrägt und die Kavität wies sonst keine zusätzliche Retentionsform auf. Nach acht Jahren erfolgte die Untersuchung von 56 Restaurationen. 69% (davon 55% mit Randverfärbungen) fielen dabei auf die Ethanol-Gruppe, 59% (davon 31% mit Randverfärbungen) auf die Aceton-Testreihe (ohne statistische Signifikanz). Keine Füllung wies Sekundärkaries auf. Die Autoren bewerteten daraufhin beide Adhäsivsysteme als gut, wenn gleich das gefüllte Adhäsiv (Ethanol-Basis) geringfügig bessere Ergebnisse zeigte, die jedoch nicht signifikant waren. Trotz einer hohen Rate an Randverfärbungen zeigten die untersuchten one-bottle-Präparate gute klinische Langzeiterfolge (RITTER et al. 2009). Ergebnisse von Labor-Studien deuten darauf hin, dass gefüllte Adhäsivsysteme den bei der Polymerisations-schrumpfung auftretenden Stress auf den marginalen Verbund dämpfen können (KEMP-

SCHOLTE et al. 1990a, b, VAN MEERBEEK et al. 1992b, VAN MEERBEEK et al. 1993, STANINEC und KAWAKAMI 1993, SWIFT et al. 1996).

HEINTZE (2007) untersuchte, inwieweit man die durch *In-vitro*-Tests gewonnenen Ergebnisse bei Klasse-V-Restaurationen auch auf den klinischen Alltag anwenden kann. Hierfür verglich er gängige Methoden, die unter Laborbedingungen die Qualität und das Verhalten von Materialien bewerten (Methoden zur Überprüfung des Haftwerts, Randspaltanalysen, Penetrationsverfahren). Er fand keine Korrelation der aufgrund unterschiedlicher Methoden erhaltenen Ergebnisse. Die Werte, welche *in vitro* durch quantitative Randspaltanalyse gewonnen wurden, waren nicht geeignet, das Materialverhalten bei *In-vivo*-Anwendung vorherzusagen. Die Autoren befürworten, dass sowohl Tests zur Bewertung von Randsichtigkeiten als auch quantitative Randspaltanalysen eingestellt werden sollten und die Forschung den Focus stattdessen auf Labortests richten sollte, welche die Fähigkeiten besitzen, stichhaltige und zufriedenstellende Aussagen über Materialien unter klinischen Bedingungen zu treffen.

Ähnliche Ergebnisse zeigte eine Vergleichsstudie zwischen *In-vivo*- und *In-vitro*-Ergebnissen von HEINTZE et al. (2009). Aussagen, die man aufgrund verschiedener Untersuchungen zum Randschlussverhalten von Klasse-V-Kavitäten durch experimentelle Versuche erhielt, liessen nur eine mittelmässige Prognose für die klinische Situation zu. Auch hier spielten die verwendeten Materialien eine große Rolle. Die Vergleichbarkeit zwischen *in vivo* und *in vitro* wird häufig behindert durch eine breite Variabilität innerhalb der Ergebnisse im klinischen Alltag (HEINTZE et al. 2009).

HAHN et al. (2008) brachten bei Patienten im Wurzelbereich von 60 Zähnen je drei Zahnhalskavitäten an. Eine davon wurde noch im Mund gefüllt, im Anschluss extrahierten sie die Zähne. Unter *In-vitro*-Bedingungen füllten sie die beiden anderen Kavitäten. Dabei waren die Präparate während der Restauration der zweiten Kavität noch „feucht“ (das Dentin war noch durchsetzt von Liquor, vergleichbar mit der oralen Situation), die letzte Füllung wurde bei bereits „ausgetrocknetem“ Dentin vorgenommen. HAHN et al. (2008) konnten feststellen, dass die Qualität der Adaptation des Füllungsmaterials an der Zahnschubstanz signifikant vom Material ( $p=0,002$ ) und von experimentellen Gegebenheiten

( $p=0,04$ ) abhing. Ferner erkannten sie, dass die Restaurationsergebnisse der Füllungen, welche unter „oralen“, also klinischen Gegebenheiten entstanden waren, am ehesten mit den Füllungen am „feuchten“ Dentin zu vergleichen waren.

In Hinblick auf die Kavitätengröße fanden COSTA PFEIFER et al. (2006) heraus, dass das Adhäsiv nur bei großen Füllungen die Randspaltqualität beeinflusst. In einer Studie präparierten sie zylindrische Klasse-V-Kavitäten mit einem Durchmesser von 3 mm und einer Tiefe von 1 mm. In einer zweiten Gruppe verdoppelten sie die Masse auf einen Durchschnitt von 6 mm und eine Tiefe von 2 mm. Anschließend füllten sie die Kavitäten als Bulk oder mit einer Schichttechnik (zwei horizontale Schichten). Aus ihren Ergebnissen folgerten sie, dass sich ein möglicher Randspalt nicht nur durch die Kavitätengröße vorhersagen lässt (COSTA PFEIFER et al. 2006), während andere Autoren eine Abhängigkeit von der Kavitätengröße beobachteten (HANSEN und ASMUSSEN 1985, UNO et al. 1999). Vielmehr sei der Randspalt abhängig von der Kavitätengröße und dem verwendeten Adhäsiv, während die angewendete Schichttechnik keinen Einfluss zeigte (COSTA PFEIFER et al. 2006).

Die Ergebnisse dieser *In-vitro*-Studie bestätigen einen dichteren Verbund zwischen Restauration und Zahnschmelz bei Verwendung eines Mehrflaschensystemes.

### **4.2.2 Einfluss der Schichttechnik auf die Randqualität**

Neben der Auswahl eines geeigneten Adhäsivsystemes spielt auch die angewendete Schichttechnik eine entscheidende Rolle. ROULET (1987) lässt hierbei der Schichtung und der Adaptation des Kompositmaterials an die Kavitätenwände eine hohe Bedeutung zukommen.

So wird die Mehrschichttechnik gegenüber der Bulk-Füllung empfohlen, da sich dadurch die Polymerisationsschrumpfung reduzieren lässt (KONVARIK und ERGLE 1993, OWENS und JOHNSON 2005). Der Literatur kann man entnehmen, dass man sich schon längere Zeit intensiv mit diesem Thema auseinandersetzt (VERSLUIS et al. 1996, WINKLER et al. 1996, JEDRYCHOWSKI et al. 1998). Einige Autoren konnten keinen signifikanten Unterschied

zwischen der Mehrschicht- und der Bulktechnik feststellen (VERSLUIS et al. 1996, INDRISS et al. 2003, KUIJS et al. 2003, COSTA PFEIFER et al. 2006). So wird diskutiert, dass die Schichttechnik keinen entscheidenden Einfluss auf die Randschlussqualität haben soll (VERSLUIS et al. 1996, ST GEORGES et al. 2002, KUIJS et al. 2003, MÜLLEJANS et al. 2003, LÖCHELT 2008).

MÜLLEJANS et al. (2003) untersuchten in einer Studie, welche in Bezug auf die Schichttechniken der hier vorliegenden Dissertation sehr ähnlich ist, den Einfluss der Inkrementtechnik auf das Randschlussverhalten. Anstelle von Komposit kam jedoch ein Kompomer zur Anwendung. Bei einer Gruppengröße von je zehn Zähnen wurden die Zahnhalskavitäten der ersten Gruppe als Bulk gefüllt. Bei weiteren zehn Zähnen begann man mit dem Auftrag einer dünnen Schicht im koronalen (schmelzbegrenzten) Bereich. Nach Polymerisation ergänzte man in einer zweiten Schicht die Füllung. In der dritten Gruppe verfuhr man nach dem gleichen Prinzip, begann dieses mal jedoch im apikalen (dentinbegrenzten) Bereich. Nach anschließender Wasserlagerung (drei Tage) und erfolgtem Thermocycling (2000 Zyklen, 4°C/55°C) wurden die Präparate durch Rasterelektronenmikroskopie untersucht. Während im Schmelz keine statistisch signifikanten Veränderungen festgestellt wurden, erhielt man statistisch signifikant deutlich geringere Spaltwerte für die geschichteten Gruppen (18,7 +/- 25,7% bzw. 20,5 +/- 22,8%) im Vergleich zum Bulk (42,2 +/- 30,6%). Innerhalb der Gruppen, welche nach der Inkrement-Technik gefüllt wurden, fand sich kein signifikanter Unterschied. Eine signifikant große Anzahl an Füllungen zeigte komplett intakte Dentinränder, wenn anstelle des Bulkes (13,6%) die Schichttechnik der Gruppe 2 (beginnend mit einer dünnen Schicht im koronalen Bereich) zur Anwendung kam (13,6%). MÜLLEJANS et al. (2003) folgern aus ihren Ergebnissen, dass die Schichttechnik signifikant die Ausbildung von Randspalten bei Klasse-V-Kavitäten bei Verwendung von Kompomeren verringern kann.

Ein ähnliches Design kam in der Studie von SENSI et al. (2005) zur Anwendung. Von 24 Zahnhalskavitäten (3 mm x 2 mm x 2 mm) mit jeweils in Schmelz und Dentin verlaufenden Rändern, wurden acht als Bulk gefüllt, und je ein weiteres Drittel mit zwei Schichten, wobei einmal von koronal nach apikal und ein anderes Mal umgekehrt geschichtet wurde. Nach 24stündiger Wasserlagerung und anschließendem Thermocycling (1000 Zyklen, 5°C/55°C)

erfolgte die Auswertung. Diese ergab innerhalb der drei Gruppen keine statistische Signifikanz sowohl im Schmelz ( $p=0,5929$ ) als auch im Dentin ( $p=0,3679$ ). Die Autoren folgerten aus ihren Ergebnissen, dass die Schichttechnik keinen Einfluss auf die Randqualität habe. Aus klinischer Sicht mache es daher keinen Unterschied, ob eine Zahnkavität geschichtet oder als Bulk gefüllt werde (SENSI et al. 2005).

INDRISS et al. (2003) untersuchten den Einfluss verschiedener Schichttechniken auf den Randschluss. In ihrer Studie wurden Klasse-II-Füllungen einmal als Bulk und einmal als Drei-Schicht-Technik gefüllt. Sie konnten keinen signifikanten Unterschied im Randschlussverhalten erkennen. Auch LÖCHELT (2008) erkannte in ihren Untersuchungen keine signifikante Beeinflussung des Randspaltes durch die Schichtung. Es kamen je vier Schichtungen in drei unterschiedlichen Techniken (horizontale, diagonale und zentripetale Schichttechnik) zum Einsatz.

In Untersuchungen von KEMP-SCHOLTE und DAVIDSON (1988) bestätigte sich dies auch für Klasse-V-Restaurationen. Die Autoren empfehlen, direkt nach der Polymerisation eines hochviskösen Komposites die Ränder mit einem ungefüllten niedrigviskösen Komposit zu versiegeln und bestätigen, dadurch einen deutlich dichteren Randschluss zu erhalten (KEMP-SCHOLTE und DAVIDSON 1988). Eine positive Wirkung verschiedener Sealer konnten auch die Untersuchungen von SILVA SANTANA et al. (2009) zeigen, welche nach Fertigstellung der Restaurationen unterschiedliche Sealer auftrugen und anschließend die Klasse-V-Füllungen auf ihr Randschlussverhalten hin untersuchten.

OWENS und JOHNSON (2005) konnten für Klasse-V-Kavitäten, welche entweder durch die Schichttechnik, oder durch einen Bulk gefüllt wurden, signifikant bessere Ergebnisse für die geschichteten Restaurationen (für Ränder im Schmelz und Dentin) erkennen. Dieser Effekt verstärkt sich vor allem dann, wenn die Zahnoberfläche durch ein total-etch-System vorbehandelt wurden.

Bei der Inkrementtechnik sollten die einzelnen Schichten nicht dicker als 2 mm sein. Dies soll die Kontraktionsspannung komprimieren. Hierdurch hat nur die letzte polymerisierte Schicht Einfluss auf die Schrumpfung und somit den Verbund zwischen Zahn und Restau-



ration (KLAIBER und HALLER 1988, KUNZELMANN und HICKEL 1993, BRENNER 2004).

Auch der Verwendung des fließfähigen Kompositmaterials kommt dabei eine wichtige Bedeutung zu. So bezeichnet BELVEDERE (2001) den Einsatz einer dünnen Flow-Schicht als „Verstärker“, da die darin enthaltenen Füllpartikel in zuvor geätzte Areale „hinein-gezogen“ werden, vor allem dann, wenn ein zuvor aufgetragenes Adhäsiv nicht ausgehärtet wurde und dadurch nun mit dem Flowable eine Schicht bilden kann. LI et al. (2006) fanden in Untersuchungen beste Ergebnisse für fließfähige Kompomere und niedrigvisköse Komposite, wenn diese in einer 0,5 mm dünnen Schicht zwischen Adhäsiv und stopfbarem Restaurationmaterial aufgetragen wurden. In 1,5 mm tiefe Klasse-V-Kavitäten (Durchschnitt 3 mm) brachten sie nach dem Flowable drei weitere, von apikal nach coronal geschichtete Inkremente ein. So konnte bei Verwendung der dünnfließenden Füllstoffe im Vergleich zu den modellierbaren Materialien eine statistisch signifikant bessere Randqualität erreicht werden. Ähnliche Ergebnisse erhielten auch GUEDERS et al. (2006). Diese führten Untersuchungen an 140 Klasse-V-Kavitäten durch, wobei jeder Zahn zwei gegenüberliegende Präparationen erhielt, welche durch ein stopfbares Komposit gefüllt wurden. Jeweils eine Kavität pro Zahn erhielt zuvor eine dünne Lage Flowable (Filtek™ Flow) als erste Schicht. Diese Kombination zeigte im Vergleich zu den Restaurationen ohne fließfähige Schicht deutlich bessere Ergebnisse.

ERNST (2006) und HELLWIG et al. (2009) halten das Flowable als alleiniges Füllmaterial bei kleineren Klasse-V-Kavitäten für geeignet. Gleichzeitig weist ERNST auf die Notwendigkeit weiterer klinischer Studien hin (ERNST et al. 2002a und 2003, ERNST 2010).

In seiner Eigenschaft als „Stress-Brecher“ (VAN MEERBEEK et al. 1993) wird die Verwendung einer dünnen Flow-Schicht unter darauf folgenden Schichten stopfbaren Materials empfohlen, da diese Technik die Randqualität verbessert (BERTOLLI und LAAMANEN 1999, PRATI et al. 1991, LI et al. 2001). LEEVAILOJ et al. (2001) bevorzugen die Kombination aus fließfähigem und stopfbarem Komposit und konnten die dadurch resultierenden verbesserten Adaptationswerte im marginalen Bereich nachweisen.

FUKUSHIMA et al. (1988) untersuchten das Randspaltverhalten von hochviskösen Kompositen mit hohem E-Modul. Sie fanden heraus, dass hierbei sehr häufig der adhäsive Verbund versagte, was zu Randspalten führte. Begründet wurde dies durch die zunehmende Steifigkeit und Härte des Materials, wodurch die mechanischen Kräfte vermehrt auf den Randbereich der Restauration übertragen werden. Fließfähige Komposite weisen ein Elastizitätsmodul von 50% im Vergleich zu den modellierbaren Kunststoffen auf. FRANKENBERGER (2002a) verwendete Flowables als erste, dünne Schicht unter Klasse-I- und II-Kompositrestaurationen (aus modellierbarem Material) und konnte somit signifikant die Adaptation verbessern. SADEGHI (2009) untersuchte den Füllungsrand von Klasse-II-Kavitäten im Bereich der Schmelz-Dentingrenze. Ähnlich wie in dieser Studie verwendete er das fließfähige und das modellierbare Komposit Filtek™ Supreme XT. Während eine Gruppe nur mit dem stopfbaren Material gefüllt wurde, brachte er bei einer weiteren Versuchsgruppe eine 1 mm dünne Flowable-Schicht unter der anschließenden Body-Masse auf. Durch Auswertung mittels Auflichtmikroskopie konnte er bei den Proben mit Flowable-Schicht signifikant ( $p < 0,05$ ) weniger Randspaltbildung erkennen. Ähnliche Ergebnisse brachten Untersuchungen von CHUAN et al. (2004) hervor: schmelzbegrenzte Klasse-II-Kavitäten wurden unter Verwendung von fließfähigem und modellierbarem Komposit (Filtek™ P60) gefüllt. Während man in der ersten Gruppe nur das stopfbare Komposit verwendete, trug man in Gruppe 2 erst eine 0,5-1 mm dünne Flowable-Schicht und direkt danach eine Lage aus stopfbarem Komposit auf und polymerisierte beide Schichten gemeinsam (sog. „modified incremental layering technique“ nach JACKSON und MORGAN 2000). Gruppe 3 unterschied sich von Gruppe 2 durch getrennte Polymerisationsschritte und auch in Gruppe 4 wurde erst die 2 mm dicke Flowable-Schicht polymerisiert und im Anschluss das Bodymaterial aufgetragen. Nach 24stündigem Thermocycling konnte man in Gruppe 4 eine deutlich ausgeprägte Farbstoffpenetration (vor und nach Wechselbadbelastung) feststellen, während die Probenkörper der Gruppe 2 den anderen im Randschlussverhalten deutlich überlegen waren. Untersuchungen durch das Rasterelektronenmikroskop zeigten bei den Gruppen 3 und 4 keine Randspalte, während Gruppe 1 (nur modellierbares Material) deutlich mehr Hohlräume aufwies als die Gruppen mit Flowable. Trotz einer Reduktion der Porositäten scheint eine etwas dickere Flowschicht die Adaptation von Füllungsmaterial am Zahn zu beeinträchtigen. Die Autoren empfehlen deshalb eine sehr dünne Flowschicht aufzutragen, um die marginale Adaptation und somit die Randsichtigkeit zu verbessern.

In einer mit der vorliegenden Dissertation vergleichbaren Studie wurde der Einfluss von Flowable auf den Randschluss von Klasse-V-Restaurationen untersucht (ARUTSELVAN 2005). Diese wurden mit Bulk-Füllungen (Gruppe 1 modellierbares Komposit, Gruppe 2 Flowable) versehen und in weiteren Versuchsreihen gemischt versorgt. So wurde auf die Zähne der Gruppe 3 zuerst eine dünne Schicht Flowable aufgetragen, polymerisiert und anschließend das modellierbare Material eingebracht (sog. „dual-cure“). In Gruppe 4 kam dieselbe Technik zur Anwendung, allerdings erfolgte die Lichthärtung erst nach dem Auftrag des modellierbaren Komposites für beide Materialschichten gemeinsam (sog. „co-cure“). Nach einer 24stündigen Wasserlagerung bei 37°C wurden die Zähne (mit Nagellack behandelt) in eine 50%ige Silbernitratlösung für 24 Stunden (bei Dunkelheit) gelegt und im Anschluss für acht Stunden beleuchtet. Die REM-Untersuchung erfolgte in prozentualer Angabe in Bezug auf den gesamten Füllungsrand und ergab für die Proben der Gruppe 3 die kleinsten Spaltwerte, was mit dem geringen E-Modul des Flowables begründet wurde. Am meisten Spalt zeigten die Füllungen der Gruppe 4 aufgrund der Polymerisationschumpfung des modellierbaren Materials. Die Ergebnisse der Gruppen 1 und 2 lagen zwischen denen der Gruppen 3 und 4. Der Autor rät, als erste Schicht ein Flowable aufzutragen, dieses aber vor dem Einbringen des stopfbaren Materials zu polymerisieren. Ferner beeinflusste neben der Schichttechnik auch die Infiltration des verwendeten Adhäsives die Qualität des Randes (ARUTSELVAN 2005).

Die Ergebnisse der vorliegenden *In-vitro*-Studie belegen, dass Klasse-V-Restaurationen, bei welchen als erste Schicht unter modellierbarem Komposit ein Flowable aufgetragen wurde, signifikant weniger Penetration und bessere Werte im Bereich der Randqualität aufweisen. Bei getrennter Anwendung zeigten sich für das modellierbare Material im Bereich des Schmelzes und des Dentins mit einer statistischen Signifikanz deutlich bessere Werte als für das Flowable. Die Reihenfolge der einzelnen Schichten zeigte keinen signifikanten Einfluss auf das Randschlussverhalten.

Zur Beurteilung der Ergebnisse, welche die Probenkörper der Bulk-Gruppen zeigten, sei zu erwähnen, dass diese 3 mm tiefen Kavitäten durch nur eine Schicht Komposit aufgefüllt wurden. Da Komposit bis zu einer Schichtdicke von maximal 2 mm aufgetragen und

polymerisiert werden sollte, stößt man bei dem vorliegenden Kavitätdesign (3 mm tief) an die Grenzen der Lichthärtung von Kompositen.

### **4.2.3 Einfluss weiterer Faktoren**

Neben der in dieser Dissertation untersuchten Kriterien (Adhäsivsystem und Füllungs-technik) findet man in der Literatur weitere Einflussparameter.

Um vorhandene Möglichkeiten und Eigenschaften der Komposite zu verbessern, gibt es Überlegungen, das Material vor Verwendung zu erwärmen. Hierbei verspricht man sich eine effektivere Adaptation von vor allem hochviskösen Materialien, nimmt jedoch die Materialkontraktion beim Abkühlungsvorgang in Kauf. Neueste Untersuchungen (SIMKOWSKI 2010) zeigten, dass sich bei den stopfbaren Kompositen bei Erwärmung des Materials von im Durchschnitt üblichen 23°C auf 60°C der Randschluss sowohl im Schmelz als auch im Dentin verbessert. Für Flowables kann dieses Vorgehen aufgrund ihrer erhöhten Polymerisationsschrumpfung nicht empfohlen werden (SIMKOWSKI 2010).

Auch eine besondere Präparation scheint sich verbessernd auf die Randschlussqualität auszuwirken. Eine Anchrägung des Kavitätenrandes im Bereich des Schmelzes erzeugt ein besseres retentives Ätzmuster, somit höhere Verbundwerte und in Folge dessen weniger Schmelzrandfrakturen und verringerte Randspalten (DIETSCHI und SPREAFICO 1997, HELLWIG et al. 2009). FRANKENBERGER (2008) beschreibt eine optimale Ausnutzung der selektiven Löslichkeit der Schmelzprismen, wenn diese vor der Ätzung quer angeschnitten worden sind. Einige Autoren verzichten auf eine Anchrägung (RITTER et al. 2009). SANTINI et al. (2004) untersuchte das Randspaltverhalten von Zahnhalskavitäten (Ränder zur Hälfte im Schmelz bzw. Dentin) bei Verwendung von sieben selbstätzenden Adhäsiven. In einer zusätzlichen Gruppe ätzte er zuvor die Kavität durch 36%ige Phosphorsäure und verwendete im Anschluss eines der selbstätzenden Adhäsive. In jeden Zahn wurden jeweils zwei sich gegenüber liegende Kästen präpariert (bukkal und lingual). Je eine Kavität erhielt eine komplette Anchrägung (0,5 mm) des gesamten Randes. Hierdurch erhielt jeder Zahn gleichzeitig seine eigene Kontrollgruppe. Nach Thermocycling und Färbebad wurden die Ergebnisse ausgewertet. Dabei konnten an allen im Dentin

verlaufenden Rändern Spalte erkannt werden, unabhängig davon, ob diese eine Ansträgung erhalten hatten ( $p=0,7384$ ) oder nicht ( $p=0,2307$ ). Auch das zusätzliche Ätzen hatte keinen Einfluss. Ähnliche Ergebnisse fanden SANTINI et al (2004) für die im Schmelz verlaufenden Ränder, sowohl innerhalb der selbststützenden Systeme als auch bei den zuvor zusätzlich geätzten Präparaten, unabhängig davon, ob die Füllungsänder eine Ansträgung aufwiesen ( $p=0,9907$ ) oder nicht ( $p=0,9963$ ). BAGHERI und GHAVAMNASIRI (2008) untersuchten Zahnhalsfüllungen mit und ohne Ansträgung, welche durch Hybrid- oder Mikrofüllerkomposite gefüllt wurden. Weder bezüglich des Materials fanden sie statistisch signifikante Unterschiede, noch hatte eine mögliche Schmelzanschrägung Einfluss auf das Randschlussverhalten. Auch wenn *In-vitro*-Studien eine Verbesserung des Randschlusses durch Ansträgung der Ränder belegen (OPDAM et al. 1998, FRANKENBERGER 2008), gibt es klinisch keinen Beweis für dieses Paradigma (WILSON et al. 1991, FRANKENBERGER 2008). Bei Verwendung von self-etch-Adhäsiven bzw. bei Verzicht einer vorherigen Phosphorsäureätzung empfiehlt FRANKENBERGER (2008) dringend eine Ansträgung der Kavitätenränder, da das Ätzmuster und die daraus resultierenden Haftergebnisse immer schwächer ausgeprägt sind, als bei Anwendung der Phosphorsäureätzung (FRANKENBERGER und TAY 2005).

SAURO et al. (2008) empfehlen nach Untersuchungen verschiedener moderner selbstkonditionierender Adhäsivsysteme, im klinischen Alltag auf einen möglichst großen Schmelzanteil im Randbereich zu achten.

Die Kavitätengröße als beeinflussender Faktor wurde in der Literatur ebenfalls diskutiert. Während COSTA PFEIFER et al. (2006) herausfanden, dass das Adhäsiv nur bei großen Füllungen die Randspaltqualität beeinflusst, konnten andere Autoren eine Abhängigkeit von der Kavitätengröße beobachten (HANSEN und ASMUSSEN 1985, UNO et al. 1999). Die in dieser Studie verwendete Kavitätengröße orientiert sich tendenziell an herkömmlichen Massen für Zahnhalsdefekte. SANTINI et al. (2004) und BAGHERI und GHAVAMNASIRI (2008) verwendeten 3 mm x 2 mm x 1,5 mm große Kavitäten, bei SENSI et al. (2004 und 2005) findet man Präparationen von 3 mm x 2 mm x 2 mm, die Größe bei MAGNI et al. (2005) liegt bei 3 mm x 3 mm x 1,5 mm; MONTICELLI et al. (2008) entschieden sich für

5 mm x 3 mm x 2 mm. Die vorliegende Kavität ist aufgrund ihrer Größe (6 mm x 3 mm x 3 mm) den mittelgroßen Kavitäten zuzuordnen.

Einige Autoren empfehlen, direkt nach der Polymerisation der fertigen Kompositfüllung die Ränder mit einem ungefüllten niedrigviskösen Komposit zu versiegeln und bestätigen, dadurch einen deutlich dichteren Randschluss zu erhalten (KEMP-SCHOLTE und DAVIDSON 1988). Eine positive Wirkung verschiedener Sealer konnten auch die Untersuchungen von SILVA SANTANA et al. (2009) zeigen, welche im Anschluss an die Fertigstellung der Restaurationen unterschiedliche Sealer auftrugen und anschließend die Klasse-V-Füllungen auf ihr Randschlussverhalten hin untersuchten. MAGNI et al. (2008) erhielten nach Auftrag eines lichthärtenden, niedrigviskösen nanogefüllten Versiegelungsmaterials („coatingagent“) ebenfalls eine deutliche Abnahme der Randspalten. Die Autoren empfehlen bei Klasse-V-Kavitäten eine anschließende Lack-Applikation, um durch diese Versiegelung eine Verringerung der zervikalen Mikrospalte zu erzielen (MAGNI et al. 2008).

In wie weit die Polymerisation mit unterschiedlich intensiver Lichtqualität den Randschluss beeinflussen kann, kann man mehreren Quellen in der Literatur entnehmen. Laut MAZUR et al. (2002), welche Klasse-V-Kavitäten (mit Rändern im Schmelz und Zement) mit drei Schichten füllten und unterschiedlich stark polymerisierten, beeinflusst die Lichtintensität die Randqualität nicht. Auch die Verwendung von Soft-Start-Polymerisationslampen konnten in einer Studie von ERNST et al. (2004) die Randqualität von Klasse-V-Restaurationen nicht positiv beeinflussen. NALCACI et al. (2005) hingegen bestätigten anhand durchgeführter Untersuchungen von Klasse-II-Kavitäten einen verzögerten Anstieg der Polymerisationsspannungen bei Soft-Start-Polymerisation, was die Wahrscheinlichkeit, dass der Verbund zwischen Dentin und Kompositmaterial in Folge dessen weniger Schaden nimmt, erhöht. FRANCA et al. (2005) erkannten keinen signifikanten Unterschied bei Verwendung einer Polymerisationslampe mit oder ohne Soft-Start-Funktion. In vier unterschiedlichen Gruppen füllten sie die Hälfte der Klasse-V-Kavitäten als Bulk, die andere Hälfte durch zwei Schichten. Je eine Bulk- und eine Inkrement-Gruppe wurden auf herkömmliche Weise 40 Sekunden lang polymerisiert, bei den zwei verbliebenen Gruppen kam die Soft-Start-Funktion zur Anwendung. Untersuchungen von HOFMANN et al.

(2002a, b, 2003a, b, c, 2004) zeigten, dass veränderte Lichtintensitäten (Soft-Start-Funktion) und die Verwendung unterschiedlicher Kompositmaterialien zu verschiedenen Restaurationsergebnissen führten.

PEUMANS et al. (2007) und HALLER (2009) empfehlen Maßnahmen, welche die bei der Polymerisation entstehenden Schrumpfungsspannungen verringern können. Neben einem dicken Adhäsivaufrag („flexible cavity wall“) wirke sich auch die Verwendung eines Flowables als „Kavitätenliner“ positiv auf den Haftverbund aus. Ferner spielt die Wahl einer geeigneten Schichttechnik, sowie eine Kombination der genannten Methoden eine entscheidende Rolle (PERDIGAO et al. 1996, HALLER 2009).

HARADA et al. (2006) untersuchten den Einfluss eines unterschiedlich häufigen Adhäsivaufrages der one-bottle-Präparate. Während es bei ungefüllten Adhäsiven keinen Unterschied machte, ob dieses einmal oder zweimal aufgetragen wurde, stellten sie bei nanogefüllten Adhäsiven statistisch signifikant weniger Randspalte fest, wenn diese nur einmal aufgetragen wurden. Generell waren die Ergebnisse jedoch materialabhängig und keine Methode konnte das Auftreten von Randspalten verhindern. NAKAOKI et al. (2004) untersuchten durch Mikroscherversuche den Einfluss des Adhäsives bei einmaliger (Herstellerrangabe) oder zweifacher Applikation. Zur Anwendung kamen all-in-one-Adhäsive (darunter Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>). Die Mikroscherhaftung aller in dieser Studie verwendeten all-in-one-Adhäsive unterschied sich dabei nicht signifikant in Abhängigkeit von der Einmal- oder Zweimalapplikation. Da bei Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup> die zweite Schicht vom Hersteller (3M ESPE) als vorteilhaft gewertet wurde, übernahm man nach Beendigung der Studie die Zweifachapplikationstechnik in die Gebrauchsanweisung von Adper<sup>TM</sup> Prompt<sup>TM</sup> L-Pop<sup>TM</sup>.

SENSI et al. (2004) untersuchten den Einfluss verschiedener Kombinationen von Adhäsiv und Komposit. In Klasse-V-Kavitäten (3 mm x 2 mm x 2 mm) mit Rändern im Schmelz und Dentin wurde nach Adhäsivaufrag und anschließender Lichthärtung ein modellierbares Komposit eingebracht. In einer zweiten Gruppe wurde nach der Adhäsivlichthärtung zunächst ein Flowable aufgetragen und polymerisiert, anschließend das stopfbare Komposit aufgetragen. In der dritten Gruppe wurden Adhäsiv und Flowable gemeinsam ausgehärtet

(„co-cured“), bevor das hochvisköse Komposit aufgetragen wurde. Einen statistisch signifikanten Unterschied ( $p=0,0044$ ) zeigten jeweils die Gruppen 1 und 3, bzw. die Gruppen 2 und 3. Bessere Ergebnisse zeigten die Füllungen der Gruppe 2 im Vergleich zu denen der Gruppe 1 (jedoch nicht statistisch signifikant). So scheint die Verwendung eines Flowables die Randspaltbildung im Dentin zu minimieren. Wurde das Flowable gemeinsam mit dem Adhäsiv ausgehärtet, erhielt man die schlechtesten Werte (SENSI et al. 2004).

YALCIN et al. (2006) untersuchten den Einfluss unterschiedlicher Politursysteme und erkannten einen signifikanten Unterschied im Bereich des Dentins ( $p=0,037$ ). So zeigten Zahnhalskavitäten, welche mit einem nanogefüllten (Filtek™ Supreme XT), einem Nanohybrid- und einem Mikrohybridkomposit restauriert und anschließend mit einem Finierdiamanten vorgepoliert wurden, deutlich weniger Randspalt, wenn die Endpolitur mit einem Silikonpolierer und einem Bürstchen vorgenommen wurde. Die alternativ untersuchte Endpolitur mit einem  $Al_2O_2$ -beschichteten Scheibensystem in fein und extrafein zeigte höhere Spaltwerte. Das nanogefüllte Filtek™ Supreme zeigte statistisch signifikant die geringsten Spaltwerte, während das Nanohybridkomposit die höchsten Werte aufwies.

In einer Studie von MAGNI et al. (2008) wurde der Einfluss durchgeführter Politurmassnahmen auf die Randdichtigkeit und die Veränderung des marginalen Abschlusses nach Auftrag eines „coatingagent“ untersucht. Je 20 Versuchszähne (schmelz-dentinbegrenzte Zahnhalskavitäten) wurden mit einem Flowable und einem Glasionomer-Zement (GIZ) gefüllt. Die Hälfte jeder Gruppe erhielt sofort nach Fertigstellung eine Politur mit einem superfeinen Diamanten. Anschließend wurde auf je fünf polierte und fünf unpolierte Zähne ein lichthärtendes, niedrigvisköses nanogefülltes Versiegelungsmaterial aufgetragen und die Zähne anschließend ausgewertet. Die verwendeten Restaurationsmaterialien unterschieden sich nicht im Randspaltverhalten. Die Politur erhöhte die Randspaltwerte der unlackierten Restaurationen signifikant. Generell nahm die Tendenz zur Spaltbildung durch die Versiegelung ab, außer bei den okklusalen Flächen der polierten Flowable-Restaurationen. Nach Lackapplikation erhielt man höhere okklusale als zervikale Spaltwerte, außer bei den nicht-polierten Flowable-Füllungen. So fand man nach Politur und Versiegelung bei den Flowable-Restaurationen höhere okklusale Spaltwerte als bei den GIZ-Füllungen. Die Politur erhöhte okklusal die Mikropermeabilität der versiegelten



Flowable-Restaurationen. MAGNI et al. (2008) empfehlen aufgrund ihrer Ergebnisse generell eine Lack-Applikation nach Fertigstellung der Flowable- und GIZ-Füllung, besonders dann, wenn sofort poliert wurde. Um den Spalt im Bereich des Dentins zu verringern, nütze eine Versiegelung immer, egal, ob man sich für Flow oder GIZ entscheidet und eine Politur durchführen möchte oder darauf verzichtet. Das Flowable zeigte verglichen mit GIZ generell gleich gute Ergebnisse. Eine sofortige Politur erhöhte den Spalt bei beiden Füllungsmaterialien, wenn nicht versiegelt wurde. Auch wenn die Kavitäten nicht überkonturiert waren, zeigten die versiegelten Restaurationen ein geringeres Auftreten von Spalten, welche komplett mit dem „coatingagent“ überzogen und versiegelt wurden (MAGNI et al. 2008).

Studien, welche die Qualität und das Verhalten von Nanokompositen untersuchten, schreiben diesem Material sehr gute Eigenschaften zu. SHEHATA (2005) verglich Filtek™ Supreme XT (als Vertreter der Nanokomposite) in seinen Eigenschaften mit Mikrohybrid- und low-shrinkage-Kompositen und mit Kompomeren. Er bestätigt beste marginale Adaptationswerte des Filtek™ Supreme im Bereich der Schmelz-Zement-Grenze bei Klasse-V-Füllungen. CALHEIROS et al. (2004) verglichen zwei verschiedene low-shrinkage-Komposite mit einem Hybridkomposit und einem Mikrofüllerkomposit in Hinblick auf Polymerisationsstress und Randspaltproblematik. Die low-shrinkage-Komposite zeigten einen gleichen oder höheren Kontraktionsstress als das Hybridkomposit. Ein direkter Zusammenhang zwischen Kontraktionsstress und Randspalt konnte nachgewiesen werden. Somit scheinen low-shrinkage-Komposite keine Verbesserung hinsichtlich dieser Parameter aufzuweisen (CALHEIROS et al. 2004). YESIL et al. (2008) verglichen in klinischen Studien das Verschleißverhalten zweier Nanokomposite (Filtek™ Supreme und Premise) mit zwei traditionellen Kompositen (Heliomolar<sup>R</sup> RO und Point 4™). Sie fanden im Bereich der Attrition keine signifikanten Unterschiede, jedoch bei der Abrasion. Die konventionellen Komposite zeigten signifikant weniger Abrasion als das Nanohybridkomposit Premise. Jedoch war der Unterschied nicht signifikant im Vergleich zu konventionellen Mikrohybridkompositen oder dem Nanohybridkomposit Filtek™ Supreme. Generell lag kein signifikanter Unterschied in der durchschnittlichen Schmelz-abnutzung vor. Jedoch zeigten die Mikrofüllerkomposite signifikant rauere Oberflächen im Bereich der Abnutzung als das Nanohybridkomposit (Premise) oder das Mikrohybrid-

komposit (Point 4™), aber nicht signifikant anders als das Nanohybridkomposit Filtek™ Supreme (YESIL et al. 2008).

Häufig empfehlen Hersteller bei Verwendung eines ihrer Restaurationsmaterialien auch das hierfür angedachte Adhäsivsystem zu verwenden. YAZICI et al. (2003) untersuchten den Einfluss des jeweils vom Hersteller empfohlenen Adhäsivsystems und im Vergleich dazu ein alternatives Präparat. Zur Anwendung kamen ein nanogefülltes (Filtek™ Flowable) und ein ormocer-basiertes Flowable, sowie ein fließfähiges Kompomer. Die Ergebnisse zeigten bei den einzelnen Gruppen, welche mit den empfohlenen Adhäsiven behandelt wurden, keine statistische Signifikanz untereinander im Bereich der schmelzbegrenzten Ränder. Im Bereich des Dentins unterschieden sich die Füllungsänder signifikant voneinander. Das ormocer-basierte Flowable zeigte die geringste Spaltrate. Wurde dieses mit einem alternativen Adhäsiv angewendet, veränderten sich die Ergebnisse signifikant sowohl im Schmelz als auch im Dentin. Keines der getesteten Materialien konnte Randspalte im Bereich des Dentins verhindern. Beim Vergleich der Gruppen, welche das vom Hersteller empfohlene Adhäsiv verwendeten, bzw. ein alternatives Produkt auftrugen, wurde kein statistisch signifikanter Unterschied innerhalb der Ergebnisse festgestellt. Die Ausnahme bildete nur das ormocer-basierte Flowable im Bereich der dentinbegrenzten Ränder. Während die Anteile der Randspalten bei diesem Komposit im Schmelz und Dentin annähernd gleich groß waren, wiesen die übrigen Gruppen im Bereich des Dentins signifikant höhere Randspaltwerte auf als im Schmelz (YAZICI et al. 2003).

Generell ist die Beschaffenheit des Randschlusses entscheidend von den verwendeten Materialien und den experimentellen Parametern abhängig (SILVEIRA DE ARAUJO et al. 2006, HAHN et al. 2008). Auch der Einfluss durch den Behandler und dessen Erfahrung spielt eine wichtige Rolle (NAKAJIMA et al. 2006).

### **4.3 Schlußfolgerung**

Die Vielfalt verschiedener Bonding-Konzepte und die große Anzahl unterschiedlicher Produkte für die Restauration kleinerer und größerer Kavitäten, zwischen welchen ein Zahnarzt heute auswählen kann und muss, ist ein Indiz dafür, dass es ein ideales

Bondingsystem, das schnell, kostengünstig, (bio-)kompatibel, zuverlässig und dauerhaft zugleich ist, bis heute nicht auf dem Markt gibt. So zeigen sowohl *In-vitro*-Tests als auch klinische Studien, dass alle Bondingsysteme und Füllkonzepte Vor- und Nachteile aufweisen. Somit ergibt sich für den Zahnarzt die Schwierigkeit, sowohl auf den Patienten als auch auf die jeweiligen Umstände bezogen für jede klinische Situation eine angemessene Bonding- und Schichttechnik auszuwählen, die auf das jeweilige Anforderungsprofil abgestimmt ist. So bieten die modernen Adhäsivsysteme für wenig komplexe Anwendungen hinsichtlich Füllungsvolumen und mechanische Belastung (wie im Falle der Klasse-V-Kavität) eine zeitsparende und wirtschaftliche Alternative im Vergleich zu den bewährten und klinisch erprobten Bondingsystemen mit Mehrschrittapplikation, welche für komplexere, kostenintensivere Versorgung, wie geschichtete dentinadhäsive Seitenzahnrestaurationen oder zahnfarbene Adhäsivinlays, nach wie vor verwendet werden sollten, auch wenn dafür häufig ein geringer zeitlicher Mehraufwand nötig ist. Dennoch ist für den dauerhaften Erfolg einer Adhäsivrestauration nicht allein die Materialauswahl entscheidend (SILVEIRA DE ARAUJO et al. 2006), sondern in erster Linie die korrekte Verarbeitung der Produkte (HALLER und BLUNCK 2003) und eine geschickte Kombination einzelner Faktoren wie Schichttechnik, Kavitätengröße und -design (PERDIGAO et al. 1996, SAURO et al. 2008, HALLER 2009), sowie die anschließende Politur (YALCIN et al. 2006, MAGNI et al. 2008) oder auch Versiegelung der Restauration (KEMP-SCHOLTE und DAVIDSON 1988, MAGNI et al. 2008, SILVA SANTANA et al. 2009).

In dieser Dissertation wurde gezeigt, dass durch die Verwendung des Mehrflaschenadhäsives OptiBond™ FL sowohl im Bereich des Schmelzes als auch im Bereich des Dentins, eine signifikant bessere Randqualität bei Klasse-V-Restaurationen erreicht werden konnte als durch das all-in-one-Adhäsiv Adper™ Prompt™ L-Pop™, unabhängig davon, mit welcher Schichttechnik gefüllt wurde.

Durch verschiedene Kombinationen im Bereich der Schichttechnik zeigten Restaurationen, bei welchen als erste Schicht unter stopfbarem Komposit ein Flowable aufgetragen wurde, signifikant weniger Penetration und bessere Werte im Bereich der Randqualität. Bei getrennter Anwendung zeigten sich für das modellierbare Material im Bereich des Schmelzes und des Dentins mit einer statistischen Signifikanz deutlich bessere Werte als für

das Flowable. Die Reihenfolge der einzelnen Schichten hatte keinen signifikanten Einfluss auf das Randschlussverhalten.

Abschließend muss bei der Diskussion der vorliegenden Ergebnisse beachtet werden, dass die Versuche unter Laborbedingungen durchgeführt wurden und nur in Bezug auf die verwendete Kavitätengröße anwendbar sind. Eine klinische Kontrollgruppe gab es nicht. Daher ist eine Übertragung der Resultate auf klinische Gegebenheiten mit Vorsicht zu betrachten.

Erst in Kombination mit einer klinischen Studie, bei welcher die Ergebnisse über einen Zeitraum von mehreren Jahren mit Hilfe der FDI-Kriterien oder den mod. USPHS-Kriterien aufgezeichnet werden, kann eine definitive Empfehlung ausgesprochen werden.

## 5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Dissertation wurden 140 kariesfreie Weisheitszähne mit Klasse-V-Kavitäten versehen, welche durch Adhäsivsysteme verschiedener Generationen und unterschiedliche Schichttechniken gefüllt wurden. Verwendet wurden das Ein-Schritt-Adhäsiv Adper™ Prompt™ L-Pop™ (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) und das Mehr-Schritt-Adhäsiv OptiBond™ FL (Fa. Kerr GmbH, Karlsruhe, Deutschland). Das Kompositmaterial war Filtek™ Supreme XT Body Shade und Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative (Fa. 3M ESPE, Seefeld, Deutschland).

Nach einer 14tägigen Wasserlagerung bei 37°C wurden die Proben einer Wechselbelastung (2500 Zyklen bei 5/55°C) unterzogen. Im Anschluss an das Thermocycling lagerten sie noch einmal für weitere 14 Tage bei 37°C im Brutschrank, danach wurden sie in ein Färbebad (AgNO<sub>3</sub>-Lösung) gegeben. Durch Herstellung geeigneter Replika und Sägeschnitte wurde der Randspalt sowohl durch Rasterelektronenmikroskopie untersucht als auch – aufgrund der erfolgten Penetration – unter dem Auflichtmikroskop.

Die statistische Auswertung erfolgte anhand geeigneter Untersuchungsmethoden: Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis, U-Test nach Mann und Whitney, Rangkorrelation nach Kendall, bei einem 68%-Konfidenzintervall und Prüfung auf Gaußsche Normalverteilung.

Diese ergab – unabhängig von der verwendeten Schichttechnik – für das Mehrflaschenadhäsiv OptiBond™ FL signifikant bessere Randschlusswerte (für Qualität A „kontinuierlicher Rand“) im Schmelz ( $p < 0,000005^{***}$ ) und Dentin ( $p = 0,015^*$ ) als für das Einflaschenadhäsiv Adper™ Prompt™ L-Pop™. (Trennte man hierbei nicht zwischen Schmelz und Dentin, erhielt man  $p = 0,00001^{***}$  für den gesamten Füllungsrand).

Ein vorheriger Flowable-Auftrag unterhalb von Body-Füllungen machte sich in der Auflichtmikroskopie durch signifikant weniger Penetration bemerkbar ( $p = 0,023^*$ ). Auch die qualitative Randspaltanalyse bestätigt eine positive Auswirkung einer Flowable-

Unterfüllung auf die Randsichtigkeit sowohl im Schmelz als auch im Dentin. Wurde ausschließlich mit dem modellierbaren Komposit geschichtet, erhielt man im Bereich der Randqualität A „kontinuierlicher Rand“ beste Werte für Schmelz ( $p=0,00055^{***}$ ) und Dentin ( $p<0,000005^{***}$ ). Etwas geringer, jedoch annähernd vergleichbar, fielen die Ergebnisse für Body-Restaurationen aus, wenn zuvor eine dünne Schicht Flowable aufgetragen wurde. Diese Kombination machte sich jedoch bei den Qualitäten C und D positiv bemerkbar, da die Body-Füllungen mit Flowable-Lining hier die geringsten Randspaltwerte im Schmelz ( $p<0,00005^{***}$  für Qualität C) und Dentin ( $p=0,0044^{**}$  für Qualität D) zeigten. Wurde hier ausschließlich das Flowable verwendet, erhielt man statistisch signifikant die schlechtesten Ergebnisse.

Wurden die beiden Materialien getrennt angewendet, zeigten sich für das modellierbare Material im Bereich der Randqualität A für den Schmelz ( $p=0,00062^{**}$ ) und das Dentin ( $p<0,000005^{***}$ ) signifikant bessere Werte als für das Flowable, was auch die Ergebnisse der Auflichtmikroskopie bestätigen ( $p=0,00008^{***}$ ). Auch ein Bulk aus stopfbarem Material erzielte in den vorliegenden Untersuchungen bessere Randwerte als die gleiche Restauration aus Flowable.

Keine statistisch signifikante Korrelation konnte zwischen der Anzahl einzelner Schichten und der Reihenfolge, mit der eine geschichtete Restauration hergestellt wurde, und der Randschlussqualität von Klasse-V-Kavitäten gefunden werden.

Zudem ergab der Vergleich der gewählten Untersuchungsmethoden (Penetrationsuntersuchung durch Auflichtmikroskopie, qualitative Randspaltanalyse durch Rasterelektronenmikroskopie) eine signifikante Korrelation im Dentin ( $p<0,000005^{***}$  für die Qualitäten A und B,  $p=0,00008^{***}$  für Qualität C,  $p=0,00001^{***}$  für Qualität D). Da die Auflichtmikroskopie im Schmelz keine Penetration erkennen ließ, konnte in diesem Bereich keine statistische Signifikanz erwartet werden. Auch wenn durch die stark vergrößernde Rasterelektronenmikroskopie Unregelmäßigkeiten im Schmelz sichtbar waren, konnten diese unter dem Auflichtmikroskop im Bereich des Schmelzes nicht dargestellt und erkannt werden. Die im Dentin festgestellten Penetrationswerte hingegen

ließen sich auch rasterelktronenmikroskopisch als Randspalten nachweisen (signifikante Korrelation).

**Somit ergeben sich folgende Empfehlungen für den Zahnarzt:**

Bei Klasse-V-Kavitäten mittlerer bis großer Größe ist es laut dieser Untersuchung vorteilhaft, eher Body-Materialien oder diese kombiniert mit einer zuvor dünn aufgetragenen Flowable-Schicht zu verwenden. Da die vorliegenden Untersuchungen unter Laborbedingungen (ohne klinische Kontrollgruppe) durchgeführt wurden, ist diese Empfehlung allerdings mit Vorsicht zu betrachten.

## Anhang

### Literaturverzeichnis

**Abdalla A I, Garcia-Godoy F:** Clinical performance of a self-etch adhesive in Class V restorations made with and without acid etching. *J Dent* 35: 558-563, 2007

**Abdalla A I, El Sayed H Y:** Clinical evaluation of self-etch adhesive in non-cariou cervical lesions. *Am J Dent* 21: 327-30, 2008

**About I, Murray P E, Franquin J-C, Remusat M, Smith A J:** Pulpal inflammatory responses following non-cariou Class V restorations. *Oper Dent* 26: 336-342, 2001

**Airoidi R L, Krejci I, Lutz F:** In vitro evaluation of dentinal bonding agents in mixed Class V cavity preparations. *Quintessence Int* 23: 355-62, 1992

**Al-Ehaideb A A, Mohammed H:** Mikroleakage of "one bottle" dentin adhesives. *Oper Dent* 26: 172-175, 2001

**Altar N, Turgut M D, Güngör H C:** The effect of flowable resin composites as gingival increments on the microleakage of posterior composites. *Oper Dent* 29: 162-167, 2004

**Andersson-Wenckert I E, Folkesson U H, van Dijken J W:** Durability of a polyacid-modified composite resin (compomer) in primary molars. A multicenter study. *Acta Odontol Scand* 55: 255-260, 1997

**Arisu H D, Uctasli M B, Eligüzeloğlu E, Ozcan S, Omürlü H:** The effect of occlusal loading on the microleakage of Class V restorations. *Oper Dent* 33: 135-41, 2008



**Art-Smart K, Retief D H, Russell C M:** Bond strength of All-Bond 2 universal adhesive system to enamel. *J Dent Res* 72: 387, 1993

**Arutselvan, S:** SEM evaluation of nanoleakage in Class-V-restorations with flowable resin composite. Diss master dent surgery, Chennai, 2005

**Bagheri M, Ghavamnasiri M:** Effect of cavosurface margin configuration of Class V cavity preparations on microleakage of composite resin restorations. *J Contemp Dent Pract* 9: 122-9, 2008

**Balkenhol M, Huang J, Wöstmann B, Hannig M:** Influence of solvent type in experimental dentin primer on the marginal adaptation of Class-V restorations. *J Dent* 35: 836-844, 2007

**Barkhordar R A, Stark M M:** Sealing ability of intermediate restorations and cavity design used in endodontics. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 69: 99-101, 1990

**Barkhordar R A, Stark M M, Soelberg K:** Evaluation of the apical sealing ability of apatite root canal sealer. *Quintessence Int* 23: 515-8, 1992

**Bauer F, Sauerland V, Ernst H, Gläsel H J, Naumov S, Mehnert R:** Preparation on scratch and abrasion resistant polymeric nanocomposites by monomer grafting onto nanoparticles. *Macromol Chem Phys* 204: 375-383, 2003

**Belvedere P C:** Contemporary posterior direct composites using state-of-the-art-technique. *Dent Clinics of North America* 45: 49-70, 2001

**Bertolotti R L, Laamanen H:** Bite-formed posterior resin composite restorations, placed with a self-etching primer and a novel matrix. *Quintessence Int* 30: 419-422, 1999

**Besnault C, Attal J P:** Influence of simulated oral environment on microleakage of two adhesive systems in Class II composite restorations. *J Dent* 30: 1-6, 2002

**Blunck U:** Der Einfluß von Dentinhaftvermittlern auf die marginale Adaptation von Komposit-Füllungen im Dentin in vitro. Med Diss, Berlin, 1987

**Blunck U:** In-vitro-Prüfung der Wirksamkeit des selbst-konditionierenden Adhäsivsystems Bond Force an Klasse-V-Kavitäten im Vergleich mit fünf Adhäsivsystemen in Kombination mit Filtek Z 250. Abschlussbericht, Berlin, 2007

**Blunck U:** Selbst-ätzende Einflaschenadhäsive: praktisch – aber auch wirksam. *Zahnärztl Mitt* 100: 72-73, 2010

**Blunck U, Roulet J-F:** In vitro marginal quality of dentin-bonded composite resins in Class V cavities. *Quintessence Int* 20: 407-12, 1989

**Blunck U, Haller B:** Klassifikation von Bondingsystemen. *Quintessenz* 50: 1021-1033, 1999

**Blunck U; Roulet J-F:** Effect of one-year water-storage on the effectiveness of dentin adhesives in Class V composite resin restorations. *J Dent Res* 81: A139, Abstr.No. 0946, 2002

**Blunck U, Zaslansky P:** Effectiveness of all-in-one adhesive systems tested by thermocycling following short and longterm water storage. *J Adhese Dent* 9: 231-40, 2007

**Blunck U, P M, Dieker A:** Extraktionszeitpunkt und Kavitätenlage bei der in-vitro-Prüfung von Dentinhaftvermittlern. *Dtsch Zahnärztl Z* 45: 639-642, 1990

**Blunck U, Kwauka C, Martin P, Zaslansky P, Attin T:** Effect of phosphoric-acid-etching on Class-V dentin margin integrity using all-in-one-adhesives. IADR, Poster No. 1852, 2009

**Bortolotto T, Ferrari M, Tay F, Krejci I:** Degradation of thermo-mechanically loaded adhesive Class V restorations after 18 months of water storage. Am J Dent 20: 83-9, 2007

**Bouillaguet S, Gysi P, Wataha J C, Ciucchi B, Cattani M, Godin C, Meyer J M:** Bond strength of composite to dentin using conventional, one-step, and self-etching adhesive systems. J Dent 29: 55-61, 2001

**Bowen R L:** Dentin filling materials comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bis phenol and glycidyl acrylate. US Patent 3066: 122, 1962

**Brännström M:** Sensitivity of dentine. Oral Surg 21: 517, 1966

**Brännström M:** The cause of postoperative sensitivity and its prevention. J Endodont 12: 475-481, 1986

**Brännström M, Nordenvall K J:** Bacterial penetration, pulpal reaction and the inner surface of concise enamel bond. Composite fillings in etched and unetched cavities. J Dent Res 57: 3-10, 1978

**Brackett M G, Brackett W W, Haisch L D:** Microleakage of Class V resin composites placed using self-etching resins: effect of prior enamel etching. Quintessence Int. 37: 109-13, 2006

**Brenner C:** Die Adhäsivtechnik - effizient und einfach. ZMK 20: 304-316, 2004

**Brown L J:** Dental amalgam. J Amer Dent Assoc 122: 73-77, 1991

**Bui H, Le M A, Shellard E:** Bond strength studies of self-etch adhesive systems. IADR San Diego, Abstr. No. 1137, 2002

**Buonocore M G:** A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. J Dent Res 34: 849-853, 1955

**Buonocore M G, Wileman W, Brudevold F A:** A report on a resin composite capable of bonding to human dentin surfaces. J Dent Res 34: 849-853, 1955

**Burrow M F, Inokoshi S, Tagami J:** Water sorption of several bonding resins. Am J Dent 12: 295-298, 1999

**Calheiros F C, Sadek F T, Braga R R, Cardoso P E C:** Polymerization contraction stress of low-shrinkage composites and its correlation with microleakage in Class V restorations. J Dent 32: 407-412, 2004

**Cardoso P E C, Placido E, Francci C E, Perdigao J:** Microleakage of Class V resin-based composite restorations using five simplified adhesive systems. Am J Dent 12: 291-294, 1999

**Cardoso P E C, Carrilho M R O, Francci C E, Perdigao J:** Microtensile bond strength of one-bottle dentin adhesives. Am J Dent 14: 22-24, 2001

**Carvalho R M, Chersoni S, Frankenberger R, Pashley D H, Prati C, Tay F R:** A challenge to the conventional wisdom that simultaneous etching and resin infiltration always occur in self-etch adhesives. Biomaterials 26: 1035-1042, 2005

**Chan D C N, Browning W D, Frazie K B, Myers M L, Downey M C, Pohjola R M:** One-year clinical evaluation of in ten-s low shrinkage composite resin. IADR Hawaii, Abstr. No. 546, 2004

**Chen M-H:** Update on dental nanocomposites. *J Dent Res* 89: 549-560, 2010

**Choi K K, Condon, J R, Feracane J L:** The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res* 79: 812-817, 2000

**Chuan S F, Liu J K, Chao C C, Liao F P, Chen Y H:** Effects of flowable composite lining and operator experience on microleakage and internal voids in Class-II composite restorations. *J Prosth Dent* 85: 177-183, 2001

**Chuan S F, Jin Y T, Lui J K, Chang C H, Shieh D B:** Der Einfluss der Schichtdicken von fließfähigem Komposit bei Klasse-II-Kompositrestaurationen. *Oper Dent* 29: 301-308, 2004

**Coli P:** Adhäsion, Pulpreaktion und Randständigkeit von Composites. *Phillip J* 17: 60-77, 2000

**Costa Pfeifer C S, Braga R R, Cardoso P E C:** Influence of cavity dimensions, insertion technique and adhesive system on microleakage of Class V restorations. *J Am Dent Assoc* 137: 197-202, 2006

**Crim G A, Shay J S:** Effect of etchant time on microleakage. *J Dent Child* 54: 339-340, 1987

**Da Silva Telles P D, Aparecida M, Machado M, Nör J E:** SEM study of a self-etching primer adhesive system used for dentin bonding in primary and permanent teeth. *Pediatr Dent* 23: 315-20, 2001

**De Munck J, Van Landuyt K, Peumans M, et al:** A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: methods and results. *J Dent Res* 84: 118-132, 2005

**Diedrich P:** Enamel alterations from bracket bonding and debonding: a study with the scanning electron microscope. *Amer J Orthodont* 79: 500, 1981

**Dietrich T, Krämer M, Lösche G M, Wernecke K D, Roulet J F:** Influence of dentin conditioning and contamination on the marginal integrity of sandwich Class II restorations. *Oper Dent* 25: 201-10, 2000

**Dietschi D, Spreafico R:** Aktuelle Konzepte für adhäsive Restaurationen im Seitenzahnbereich. *Quintessenz* 48: 477-496, 1997

**Di Lenarda R, Cadenaro M, De Stefano Dorigo E:** Cervical compomer restorations: the role of cavity etching in a 48-month clinical evaluation. *Oper Dent* 25: 382-387, 2000

**Eden E, Topaloglu-Ak A, Frencken J E, Van't Hof M:** Survival of self-etch adhesive Class II composite restorations using ART and conventional cavity preparations in primary molars. *Am J Dent* 19: 359-363, 2006

**Eick J D, Wilko R A, Amderson C H:** Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microscope. *J Dent* 22: 1359-1368, 1970

**Ernst C P:** Was Sie schon immer über Dentinadhäsive wissen wollten. *Magazin für Zahnheilkunde, Management & Kultur* 5: 254-269, 2001

**Ernst C P:** Die Verwendung von Flow-Kompositen zur Versorgung kleinerer Klasse-V-Kavitäten. *Ästh Zahnmed* 9: 16-20, 2006

**Ernst C P:** Update Komposite: Einführung – Teil 1. *zmk online-Bericht* (aktualisiert am 05. 05. 2010): 1-5, [www.zmk-aktuell.de](http://www.zmk-aktuell.de), 2010

**Ernst C P, Buhtz C, Rissing C, Willershausen B:** Clinical performance of resin composite restorations after 2 years. *Comp Cont Educ Dent* 23: 711-724, 2002a

**Ernst C P, Cortain G, Spohn M, Rippin G, Willershausen B:** Marginal integrity of different resin-based composites for posterior teeth: an in vitro dye-penetration study on eight resin-composite and compomer-/adhesive combinations with a particular look at the additional use of flow-composites. *Dent Mater* 18: 351-358, 2002b

**Ernst C P, Streicher S, Willershausen B:** Marginal adaptation of self-etching adhesives in Class II cavities. *Journal Adhes Dent* 4: 223-231, 2002c

**Ernst C P, Canbek K, Aksogan K, Willershausen B:** Two-year clinical performance of a packable posterior composite with and without a flowable composite liner. *Clin Oral Invest* 7: 129-134, 2003

**Ernst C P, Brandenbusch M, Victor A, Klose S, Ziegler B, Willershausen B:** Randschluss adhäsiver Klasse-V-Restaurationen bei konventioneller und Soft-Start-Polymerisation – in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 59: 504-513, 2004

**Ernst C P, Galler P, Willershausen B, Haller B:** Marginal integrity of Class V restorations: SEM versus dye penetration. *Dent Mater* 24: 319-27, 2008

**Fédération Dentaire Internationale (FDI):** Grundsatzklärung über Amalgam in der Zahnheilkunde. *Zahnärztl Mitt* 81: 2244-2246, 1991

**Feilzer A J, de Gee A J, Davidson C L:** Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69: 36-9, 1990a

**Feilzer A J, De Gee A J, Davidson C L:** Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 6:167-71, 1990b

**Ferracane J L, Mitchem J C:** Relationship between composite contraction stress and leakage in Class V cavities. *Am J Dent* 16: 239-43, 2003

**Finger W J:** Dentin bonding agents. Relevance of in vitro investigations. Am J Dent 1: 184-188, 1988

**Finger W J, Ohsawa M:** Effect of bonding agents on gap formation in dentin cavities. Oper Dent 12: 100-4, 1987

**Fortin D, Vargas M A:** The spectrum of composites: new techniques and materials. J Am Dent Assoc 131: 26-30, 2000

**Franca F M, Aguiar F H, dos Santos A J, Lovadino J R:** Quantitative evaluation of microleakage in Class V cavities using one-bottle and self-etching adhesive systems. Braz Oral Res 18: 253-9, 2004

**Franca F M, Hori F S, dos Santos A J, Lovadino J R:** The effect of insertion and photopolymerization techniques on microleakage of Class V cavities – a quantitative evaluation. Braz Oral Res 19: 30-5; 2005

**Frankenberger R:** Materialkundliche Grundlagen der Adhäsivtechnik. 3M ESPE. Die Adhäsivtechnologie. Ein Leitfaden für Theorie und Praxis. 3M ESPE AG, Seefeld: 12-17, 2001

**Frankenberger R:** Fließfähige Komposite - Mythen und Fakten. ZMK 18: 282-285, 2002a

**Frankenberger R:** Zur Dauerhaftigkeit des Dentinverbunds. Dtsch Zahnärztl Z 57: 154-171, 2002b

**Frankenberger R:** Adhäsivtechnik 2008 oder: The cost of saving time. Ästhet Zahnmed 3: 24-34, 2008

**Frankenberger R, Kern M:** Dentin adhesives create a positive bond to dental hard tissue. Int J Comput Dent 6: 187-192, 2003



**Frankenberger R, Tay F R:** Self-etch vs etch-and-rinse adhesives: effect of thermo-mechanical fatigue loading on marginal quality of bonded resin composite restorations. Dent Mater 21: 397-412, 2005

**Frankenberger R, Krämer N, Sindel J:** Haftfestigkeit und Zuverlässigkeit der Verbindung Dentin-Komposit und Dentin-Kompomer. Dtsch Zahnärztl Z 51: 556-560, 1996

**Frankenberger R, Krämer N, Sindel J:** Beeinflussen Dentinadhäsive und ihre Applikatoren die Schmelzhaftung? Dtsch Zahnärztl Z 52: 202-205, 1997

**Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A:** Fatigue behaviour of different dentin adhesives. Clin Oral Invest 3: 11-17, 1999a

**Frankenberger R, Sindel J, Krämer N, Petschelt A:** Dentin bond strength and marginal adaptation: direct composite resins vs ceramic inlays. Oper Dent 24: 147-155, 1999b

**Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A:** Long-term effect of dentin primers on enamel bond strength and marginal adaptation. Oper Dent 25: 11-9, 2000a

**Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A:** Technique sensitivity of dentin bonding: effect of application mistakes on bond strength and marginal adaptation. Oper Dent 25: 324-30, 2000b

**Frankenberger R, Mattonet H, Lohbauer U, Krämer N, Petschelt A:** Effect of primer penetration time on microtensile bond strength to dentin. J Dent Res 80: 103, Abstract 543, 2001a

**Frankenberger R, Perdigo J, Rosa B T, Lopes M:** "No-bottle" vs. "multi-bottle" dentin adhesives - a microtensile bond strength and morphological study. Dent Mater 17: 373-80, 2001b

**Frankenberger R, Lopes M, Perdigao J, Ambrose W, Rosa B:** The use of flowable composites as filled adhesives. *Dent Mater* 18: 227-238, 2002

**Frankenberger R, Strobel W O, Lohbauer U, Krämer N, Petschelt A:** The effect of six years of water storage on resin composite bonding to human dentin. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 69: 25-32, 2004

**Frankenberger R, Garcia-Godoy F, Lohbauer U, Petschelt A, Kramer N:** Evaluation of resin composite materials. Part I: in vitro investigations. *Am J Dent* 18: 23-27, 2005

**Frankenberger R, Lohbauer U, Tay F R, Taschner M, Nikolaenko S A:** The effect of different air-polishing powders on dentin bonding. *J Adhes Dent* 9: 381-389, 2007

**Frankenberger R, Lohbauer U, Roggendorf M J, Naumann M, Taschner M:** Selective enamel etching reconsidered: better than etch-and-rinse and self-etch? *J Adhes Dent* 10: 339-344, 2008

**Fukushima M S, J C, Phillips R W:** Marginal fracture of posterior composite resin. *J Am Dent Assoc* 117: 577-583, 1988

**Fusayama T:** Neue Konzepte in der konservierenden Zahnheilkunde. Quintessenz, Berlin, 1982

**Gängler P:** Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde. Ullstein Mosby, Berlin, 1995

**Gängler P, Hoyer I, Montag R:** Clinical evaluation of posterior composite restorations: The 10-year report. *J Adhes Dent* 3: 185-194, 2001

**Gale M S, Darvell B W:** Controlling dentine penetration in computer microleakage tracer mapping. *J Dent* 25: 129-36, 1997

**Gale M S, Darvell B W, Cheung G S:** Three-dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique. *J Dent* 22: 370-5, 1994

**Garberoglio R, Brännström M:** Scanning electron microscopic investigation of human dentin tubules. *Arch Oral Biol* 21: 355-362, 1976

**Garcia-Godoy F, Tay F R, Pashley D H, Feilzer A, Tjaderhane L, Pashley E L:** Degradation of resin-bonded human dentin after 3 years of storage. *Am J Dent* 20: 109-113, 2007

**Geurtsen W, Schmahl V, Hilgers R:** Untersuchungen über den Verbund zweier Kompositstypen mit angeätztem Schmelz. *Dtsch Zahnärztl Z* 45: 299-302, 1990

**Giachetti L, Russo D S, Bertini F, Pierleoni F, Nieri M:** Effect of operator skill in relation to microleakage of total-etch and self-etch bonding systems. *J Dent* 35: 289-293, 2007

**Giachetti L, Scaminaci Russo D, Bambi C, Nieri M, Bertini F:** Influence of operator skill on microleakage of total-etch and self-etch bonding systems. *J Dent* 36: 49-53, 2008

**Givan D A, Anderson S A:** Thermocycling effects on bond-strength of flowable composite as repair material. *IADR San Diego, Abstr. No. 3369*, 2002

**Gordan V V, Vargas M A, Cobb D S, Denehy G E:** Evaluation of acidic primers in microleakage of Class V composite resin restorations. *Oper Dent* 23: 244-249, 1998

**Gueders A M, Charpentier J F, Albert A I, Geerts S O:** Microleakage after thermocycling of 4 etch and rinse and 3 self-etch adhesives with and without a flowable composite lining. *Oper Dent* 31: 450-5, 2006

**Gwinnett A J:** Altered tissue contribution to interfacial bond strength with acid conditioned dentin. *Am J Dent* 7: 243-246, 1994

**Gwinnett J A, Tay F R, Pang K M, Wei S H:** Comparison of three methods of critical evaluation of microleakage along restorative interfaces. *J Prosthet Dent* 74: 575-85, 1995

**Habelitz S, Marshall S J, Marshall jr G W, Balooch M:** Mechanical properties of human dental enamel on the nanometre scale. *Arch Oral Biol* 46: 173-183, 2001

**Hahn P, Weyen G, Fischer P, Plogmann S, Hannig M:** Marginal and internal adaptation of composite restorations to dentin in vivo and in vitro. *Am J Dent*, 21: 356-60, 2008

**Haller B:** Aktueller Stand der Komposit-Dentinhaftung. *Zahnärztl Mitt* 18: 86-97, 1992

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

**Haller B:** Wenig Fortschritte bei Adhäsiven. *Zahnärztl Mitt* 96: 60, 2006

**Haller B:** Die postoperative Hypersensibilität. *Zahnärztl Mitt* 99: 44-51, 2009

**Haller B, Fritzenschaft A:** Dentinhaftung von Ein- und Mehrkomponenten-Haftvermittlern bei Dry und Moist Bonding in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 54: 225-230, 1999

**Haller B, Blunck U:** Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme. *Zahnärztl Mitt* 7: 48-64, 2003

**Haller B, Klaiber B, Götze W, Piatka E:** Der Einfluß von Glasionomer-Zementen und Dentinadhäsiven auf die Randständigkeit zervikaler Kompositfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 42: 588, 1987

**Haller B, Albers P, Seibold K:** ESCA-Analysen der Dentinoberfläche nach Behandlung mit Cleansern und Primern. Vortrag Jahrestagung Arbeitsgemeinschaft für Grundlagenforschung in der DGZMK Mainz, 1991

**Haller B, Hofmann N, Klaiber B, Bloching U:** Effect of storage media on microleakage of five dentin bonding agents. Dent Mater 9: 191-7, 1993a

**Haller B, Hofmann N, Klaiber B, Pfankuch A:** Beständigkeit des Komposit-Dentinverbundes bei künstlicher Alterung. Dtsch Zahnärztl Z 48: 100-104, 1993b

**Hannig M, Bott B:** Randschlussverhalten von plastischen zahnfarbenen Füllungen in dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten. Dtsch Zahnärztl Z 55: 134-138, 2000

**Hannig M, Friedrichs C:** Comparative in vivo and in vitro investigation of interfacial bond variability. Oper Dent 26: 3-11, 2001

**Hannig M, Reinhardt K-J, Bott B:** Self-etching primer vs phosphoric acid: An alternative concept for composite-to-enamel bonding. Oper Dent 24: 172-1180, 1999

**Hansen E K:** Effect of Scotchbond dependent on cavity cleaning, cavity diameter and cavosurface angle. Scand J Dent Res 92: 141-7, 1984

**Hansen E K:** Effect of cavity depth and application technique on marginal adaptation of resins in dentin cavities. J Dent Res 65: 1319-21, 1986a

**Hansen E K:** Effect of three dentin adhesives on marginal adaptation of two light-cured composites. Scand J Dent Res 94: 82-6, 1986b

**Hansen E K, Asmussen E:** Cavity preparation for restorative resins used with dentin adhesives. Scand J Dent Res 93: 474-9, (Erratum in Scand J Dent Res 94: 87, 1986), 1985

**Hara A T, Amaral C M, Pimenta L A F:** Shear bond strength of hydrophilic adhesive systems to enamel. *Am J Dent* 12: 181-184, 1999

**Harada T S, Pazinato F B, Wang L, Atta M T:** Effect of the number of coats of simplified adhesive systems on microleakage of dentin-bordered composite restorations. *J Contemp Pract* 7: 34-41, 2006

**Hashimoto M, Ohno H, Kaga M, Endo K, Sano H, Oguchi H:** Resin-tooth adhesive interfaces after long-term function. *Am J Dent*; 14: 211-5, 2001

**Haunfelder D, Horch H-H, Hupfauf L, Heidemann D:** Praxis der Zahnheilkunde. Band 2: Kariologie und Füllungstherapie. Urban & Schwarzenberg, München, 1999

**Heintze S D:** Systematic reviews: I. The correlation between laboratory tests on marginal quality and bond strength. II. The correlation between marginal quality and clinical outcome. *J Adhes Dent* 9: 77-106, 2007

**Heintze S D, Cavalleri A, Peschke A, Schüpbach P:** Fluorescence microscopy for the evaluation of the margins of Class V restorations in vitro. *J Adhes Dent* 7: 19-28, 2005

**Heintze S D, Forjanic M, Cavalleri A:** Microleakage of Class II restorations with different tracers – comparison with SEM quantitative analysis. *J Adhes Dent* 10: 259-67, 2008

**Heintze S D, Blunck U, Göhring T N, Rousson V:** Marginal adaptation in vitro and clinical outcome of Class V restorations. *Dent Mater* 25: 605-620, 2009

**Hellwig E, Klimek J, Attin Th:** Einführung in die Zahnerhaltung, 5. Aufl., Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, 2009

**Herter M, Haller B, Moll K:** Schmelzrandschluss von selbstkonditionierenden Bondingsystemen im in-vitro-Langzeittest. Posterpräsentation 15. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung, Köln, 2001

**Hickel R:** Die zervikale Füllung. Dtsch Zahnärztl Z 49: 13-19, 1994

**Hickel R:** Moderne Füllungswerkstoffe. Dtsch Zahnärztl Z 52: 572-584, 1997

**Hickel R, Klaiber B:** Alternativen zu Amalgam. Dtsch Zahnärztl Z 47: 144-148, 1992

**Hilton T J:** Can modern restorative procedures and materials reliably seal cavities? In vitro investigations, part I. Am J Dent 15: 198-210, 2002

**Hofmann N, Hiltl O, Hugo B, Klaiber B:** Guidance of shrinkage vectors vs irradiation at reduced intensity for improving marginal seal of Class V resin-based composite restorations in vitro. Oper Dent 27: 510-5, 2002a

**Hofmann N, Renner J, Hugo B, Klaiber B:** Elution of leachable components from resin composites after plasma arc vs standard or soft-start halogen light irradiation. J Dent 30: 223-32, 2002b

**Hofmann N, Denner W, Hugo B, Klaiber B:** The influence of plasma arc vs. halogen standard or soft-start irradiation on polymerization shrinkage kinetics of polymer matrix composites. J Dent 31: 383-93, 2003a

**Hofmann N, Markert T, Hugo B, Klaiber B:** Effect of high intensity vs. soft-start halogen irradiation on light-cured resin-based composites. Part I. Temperature rise and polymerization shrinkage. Am J Dent 16: 421-30, 2003b

**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 28: 160-7, 2003c

**Hofmann N, Markert T, Hugo B, Klaiber B:** Effect of high intensity vs. soft-start halogen irradiation on light-cured resin-based composites. Part II: Hardness and solubility. Am J Dent 17: 38-42, 2004

**Holbrook W P, Gudmundsson K, Arnadottir I B:** Clinical findings in Referred Patients with Dental Erosion. IADR/ CED 35th Meeting, 83 Abstr.1, 1999

**Huber K, Fischer J, Haller B:** Simplified Bonding Systems and New Composites: Effects on Enamel Margins. J Dent Res 79: 149, 2000

**Ibarra G, Vargas M A, Armstrong S R, Cobb D S:** Microtensile bond strength of self-etching adhesives to ground and unground enamel. J Adhes Dent 4: 115-124, 2002

**Indriss S, Habib C, Omar A, Omar R:** Marginal adaptation of Class II resin composite restorations using incremental and bulk placement techniques: an ESEM study. J Oral Rehabil 30: 1000-1007, 2003

**Inoue H, Inoue S, Uno S, Takahashi A, Koase K, Sano H:** Microtensile bond strength of two single-step adhesive systems to bur-prepared dentin. J Adhes Dent 3: 129-136, 2001a

**Inoue S, Vargas M A, Abe Y, Yoshida Y, Lambrechts P, Vanherle G, Sano H, Van Meerbeek B:** Microtensile bond strength of eleven contemporary adhesives to dentin. J Adhes Dent 3: 237-245, 2001b

**International Organization for Standardization,** Technical Committee: 106/SC1/WG11: Dental materials: Guidance on testing of adhesion to tooth structure. Committee draft: ISO/TC 106/SC 1 N 236 resolution 6, 1991

**International Organization for Standardization:** ISO/DTS 11405. Iso copyright office, Geneva, 2001



**International Organization for Standardization:** ISO Dental materials-testing of adhesion to tooth structure. Technical Specification, No. 11405, 2003

**Jain P, Stewart G P:** Effect of dentin primer on shear bond strength of composite resin to moist and dry enamel. Oper Dent 25: 51-8, 2000

**Janda R:** Die Konditionierung der Zahnhartsubstanzen mit Säuren und Komplexbildnern - Teil 1: Der Zahnschmelz. Phillip J 5: 210, 1988

**Janda R:** Kunststoffverbundsysteme. Grundlagen, Anwendung, Verarbeitung, Prüfung. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1990

**Jedrychowski J, Bleier R G, Caputo A A:** Shrinkage stress associated with incremental composite filling techniques. J Dent Child 65: 111, 1998

**Jendresen M D, Glantz P O:** Microtopography and clinical adhesiveness of an acid etched tooth surface. Acta Odontol Scand 39: 47-53, 1981

**Johnson G H, Powell L V, Gordon G E:** Dentin bonding systems: a review of current products and techniques. J Am Dent Assoc 122: 34, 1991

**Jones J C G, Grieve A R, Harrington E:** A machine for thermal cycling in the investigation of marginal leakage, its development and use. Br Dent J 146: 207, 1979

**Kaaden C, Powers J M, Friedl K-H, Schmalz G:** Bond strength of self-etching adhesives to dental hard tissues. Clin Oral Invest 6: 155-160, 2002

**Kamann W K, Gängler P:** Füllungsreparatur und Reparaturfüllung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 110: 1054-1071, 2000

**Kanca J 3rd:** Microleakage of five dentin bonding systems. Dent Mater 5: 415-6, 1989

**Kaplan B A, Goldstein G R, Vijayaraghavan T V, Nelson I K:** The effect of three polishing systems on the surface roughness of four hybrid composites: A profilometric and scanning electron microscopy study. J Prosthet Dent 76: 34-38, 1996

**Kemp-Scholte C M, Davidson C L:** Marginal sealing of curing contraction gaps in Class V composite resin restorations. J Dent Res 67: 841-845, 1988

**Kemp-Scholte C M, Davidson C L:** Marginal integrity related to bond strength and strain capacity of composite resin restorative systems. J Prosthet Dent 64: 658-664, 1990a

**Kemp-Scholte C M, Davidson C L:** Complete marginal seal of Class V resin composite restorations effected by increased flexibility. J Dent Res 69: 1240-1243, 1990b

**Kirk P C, Fitchie J G, Phillips S M, Puckett A D:** Microleakage evaluation of four self-etching adhesive systems. Gen Dent 58: 104-9, 2010

**Klaiber B:** Alles noninvasiv – Zahnformveränderungen, Lückenschluss, Reduktion schwarzer Dreiecke. Zahnmed Mitt 96: 52-59, 2006

**Klaiber B, Haller B:** Innovationen bei ästhetischen Restaurationen im Seitenzahnbereich mit Komposit. Dtsch Zahnärztl Z 43: 893, 1988

**Kleber J; Blunck U, Roulet J-F:** Marginal adaptation of five adhesive systems combined with three different composite resins in Class V cavities - an in vitro study. IADR San Diego, Abstr. No. 3363, 2002

**Klimm W, Graehn G:** Der keilförmige Defekt. Quintessenz, Berlin, 1993

**Kluschke A:** SDR – die Zukunft in der Adhäsivtechnik? Teil 2. zp online-Bericht (aktualisiert am 17. 03. 2010): 1-3, www.zp-aktuell.de, 2010

**Knobloch L A, Gailey D, Azer S, Johnston W M, Clelland N, Kerby R E:** Bond strengths of one- and two-step self-etch adhesive systems. J Prosthet Dent 97: 216-222, 2007

**Koibuchi H, Yasuda N, Nakabayashi N:** Bonding to dentin with a self-etching primer: the effect of smear layers Dent Mater 17: 122-126, 2001

**Konvarik R E, Ergle J W:** Fracture toughness of posterior composite resins fabricated by incremental layering. J Prosth Dent 69: 557, 1993

**Krejci I, Lutz F:** Marginal adaptation of Class V restorations using different restorative techniques. J Dent 19: 24-32, 1991

**Krejci I, Kuster M, Lutz F:** Influence of dentinal fluid and stress on marginal adaptation of resin composites. J Dent Res 72: 490-4, 1993

**Kubo S, Yokota H, Sata Y, Hayashi Y:** Microleakage of self-etching primers after thermal and flexural load cycling. Am J Dent 14: 163-169, 2001

**Kubo S, Kawasaki K, Yokota H, Hayashi Y:** Five-year clinical evaluation of two adhesive systems in non-cariou cervical lesions. J Dent 34: 97-105, 2006

**Kugel G, Ferrari M:** The science of bonding: From first to sixth generation. J Am Dent Assoc 131: 205-255, 2000

**Kuijs R H, Fennis W M, Kreulen C M, Barink M, Verdonschot N:** Does layering minimize shrinkage stresses in composite restorations? J Dent Res 82: 967-71, 2003

**Kunzelmann K-H, Hickel R:** Dentinhaftung von Kompositfüllungen und Keramikinlays in Klasse-II-Kavitäten. Dtsch Zahnärztl Z 48: 724-727, 1993

**Kwong S M, Cheung G S P, Kei L H, Itthagarun A, Smales R J, Tay F R, Pashley D H:** Micro-tensile bond strengths to sclerotic dentin using a self-etching and a total-etching technique. Dent Mater 18: 359-369, 2002

**Leevailoj C, Cochram M A, Matis B A, Moore B K, Platt J A:** Microleakage of posterior packable resin composites with and without flowable liners. Oper Dent 26: 302-307, 2001

**Legler L G, Retief D H, Bradley E L:** Effect of phosphoric acid concentration and etch duration on enamel depth of etch: an in vitro study. Am J Orthod Dentofacial Orthop 98: 154-160, 1990

**Lehmann K M, Hellwig E:** Einführung in die restaurative Zahnheilkunde, 8. Aufl., Urban & Fischer, 1998

**Li H, Burrow M F, Tyas M J:** Nanoleakage of cervical restorations of four dentin bonding systems. J Adhes Dent 2: 57-65, 2000

**Li H, Burrow M F, Tyas M J:** The effect of long-term storage on nanoleakage. Operative Dentistry 26: 609-616, 2001

**Li H, Burrow M F, Tyas M J:** The effect of load cycling on the nanoleakage of dentin bonding systems. Dent Mater 18, 111-119, 2002

**Li Q, Jepsen S, Albers H-K, Eberhard J:** Flowable materials as an intermediate layer could improve the marginal and internal adaptation of composite restorations in Class-V-cavities. Dent Mat 22: 250-257, 2006

**Lindberg A, Van Dijken J W, Lindberg M:** 3-year evaluation of a new open sandwich technique in Class II cavities. *Am J Dent* 16: 33-6, 2003

**Löchelt, Anja:** Der Einfluss drei verschiedener Schichttechniken in Kombination mit vier Adhäsivsystemen auf die Randqualität von Seitenzahn-Kompositfüllungen im Dentin. Eine In-vitro Studie. Med Diss, Frankfurt/Oder, 2008

**Lopes G C, Cardoso P C, Vieira L C, Baratieri L N, Rampinelli K, Costa G:** Shear bond strength of acetone-based one-bottle adhesive systems. *Braz Dent J* 17: 39-43, 2006

**Lovell L G, Newman S M, Bowman C N:** The effect of light intensity, temperature, and comonomer composition on the polymerization behaviour of dimethacrylate dental resins. *J Dent Res* 78: 1469-1476, 1999

**Luckenbach T, Lösche G M, Roulet J-F:** Opazität und Opazitätsveränderungen von Kompositen. *Dtsch Zahnärztl Z* 46: 621-625, 1991

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

**Lutz F, Phillips R W, Roulet J-F, Imfeld T:** Komposites-Klassifikation und Wertung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 93: 914-929, 1983

**Lutz F, Phillips R W, Roulet J-F, Setcos J C:** Potential posterior composites - An in vivo and in vitro comparison of wear. *J Dent Res* 63: 914-920, 1984

**Magni E, Radovic I, Coniglio I, Papacchini F, Mazzitelli C:** Bonding of self-etching adhesive/flowable composite combinations to enamel and dentin: a microtensile bond strength evaluation. *Int Dent SA* 9: 6-18, 2007

**Magni E, Zhang L, Hickel R, Bossu M, Polimeni A, Ferrari M:** SEM and microleakage evaluation of the marginal integrity of two types of Class V restorations with or without the use of a light-cureable coating material and of polishing. *J Dent* 36: 885-891, 2008

**Manhart J:** A new concept for dentin replacement in posterior composite restorations. *ZWR* 119 (Thieme eJournals/Abstract): 118-125, 2010

**Manhart J, Chen H Y, Kunzelmann K H, Hickel R:** Haftkraft und Randverhalten moderner Einflaschen-Haftvermittlersysteme und Komposite zum Dentin. *Dtsch Zahnärztl Z* 55: 128-133, 2000

**Manhart J, Chen H Y, Mehl A, Weber K, Hickel R:** Marginal quality and microleakage of adhesive Class V restorations. *J Dent* 29: 123-30, 2001

**Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R:** Buonocore Memorial Lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Oper Dent* 29: 481-508; 2004

**Marinelli S M, Eichmiller F:** Comparing three dimensional vs. two dimensional evaluation of microleakage in composite restorations. *J Dent Res* 72: 197, 1993

**Marquezini jr L, Carvalho R M, Pereira L C G, Silva N R F A, Tay F R, Pashley D H:** Effects of application time on bond strength of self-etching primers to enamel. *IADR San Diego, Abstr. No. 1133*, 2002

**Marshall jr G W, Marshall S J, Kinney J H, Balooch M:** The dentin substrate: structure and properties related to bonding. *J Dent* 25: 441-458, 1997

**Mazur R, Saad J, Vieiras R:** Evaluation of marginal microleakage in Class V cavities restored with composite resin using different light intensities. *IADR San Diego, Abstr. No. 1158*, 2002

**Mente J, Ferk S, Dreyhaupt J, Deckert A, Legner M, Staehle H J:** Assessment of different dyes used in leakage studies. *Clin Oral Invest* 14: 331-338, 2010

**Micheelis W:** Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Institut der Deutschen Zahnärzte (Hrsg.): 17–21, Zusammenfassung/Abstract, Köln, 2006

**Millar B J, Robinson P B, Davies B R:** Effects of the removal of composite resin restorations on Class II cavities. *Br Dent J* 10: 210, 1992

**Mitchem J C, Gronas D G:** Effects of time after extraction and depth of dentin on resin dentin adhesives. *J Am Dent Assoc* 113: 285, 1986

**Miyazaki M, Sato M, Onose H, Moore B K:** Influence of thermal cycling on dentin bond strength of two-step bonding systems. *Am J Dent* 11: 118-122, 1998

**Miyazaki M, Onose H, Moore B K:** Effect of operator variability on dentin bond strength of two-step bonding systems. *Am J Dent* 13: 101-104, 2000

**Mjör I A, Sveen O B, Heyeraas K J:** Pulp-dentin biology in restorative dentistry. Part 1: Normal structure and physiology. *Quintessence Int* 32: 427-446, 2001

**Moll K, Gärtner T, Haller B:** Effect of moist bonding on composite/enamel bond strength. *Am J Dent* 15: 85-90, 2002a

**Moll K, Park H-J, Haller B:** Bond strength of adhesive/composite combinations to dentin involving total- and self-etch adhesives. *J Adhes Dent* 4: 171-180, 2002b

**Moll K, Fritzenschaft A, Haller B:** In vitro comparison of dentin bonding systems: effect of testing method and operator. *Quintessence Int.* 35: 845-52, 2004

**Momoi Y, McCabe J F:** Hygroscopic expansion of resin based composites during 6 months of water storage. *Br Dent J* 176: 91-6, 1994

**Montes M A J R, De Goes M F, Da Cunha M R B, Soares A B:** A morphological and tensile bond strength evaluation of an unfilled adhesive with low-viscosity composites and a filled adhesive in one and two coats. *J Dent* 29: 435-441, 2001

**Monticelli F, Toledano M, Silva A S, Osorio E, Osorio R:** Sealing effectiveness of etch-and-rinse vs self-etching adhesives after water aging: influence of acid etching and NaOCl dentin pretreatment. *J Adhes Dent* 10: 183-8, 2008

**Müllejjans R, Lang H, Schüler N, Baldawi M O, Raab W H:** Increment technique for extended Class V restorations: an experimental study. *Oper Dent* 28: 352-6, 2003

**Nakajima M, Ogata M, Okuda M, Tagami J, Sano H, Pashley D H:** Bonding to caries-affected dentin using self-etching primers. *Am J Dent* 12: 309-314, 1999

**Nakajima M, Hosaka K, Ymanti M, Foxton R M, Tagami J:** Bonding durability of a self-etching primer system to normal and caries-affected dentin under hydrostatic pressure in vitro. *Am J Dent* 19: 147-150, 2006

**Nakaoki Y, Nagano F, Horiuchi S, Sasakawa W, Ikeda T, Inoue S, Uno S, Sano H, Ide T, Shimada Y, Nikaido T, Tagami J:** Auswirkung einer zweimaligen Applikation von All-in-One-Adhäsiven auf die Dentinhaftung. *IADR Honolulu, Abstr. No. 0029*, 2004

**Nalcaci A, Salbas M, Ulusoy N:** The effects of soft-start vs continuous-light polymerisation on microleakage in Class II resin composite restorations. *J Adhes Dent* 7: 309-314, 2005

**Nikaido T:** Formulation of photocurable bonding liner and adhesion to dentin: effect of photoinitiator, monomer and photoirradiation. *J Jpn Dent Mater* 8: 862, 1989



**Nikaido T, Kunzelmann K-H, Ogata M, Harada N, Yamaguchi S, Cox C F, Hickels R, Tagami J:** The in vitro dentin bond strengths of two adhesive systems in Class I cavities of human molars. *J Adhes Dent* 4: 31-39, 2002

**O'Brien W J:** Dental materials and their selection. Quintessence, Chicago, 1997

**Ogata M, Harada N, Yamaguchi S, Nakajima M, Pereira P N R, Tagami J:** Effects of different burs on dentin bond strengths of self-etching primer bonding systems. *Oper Dent* 26: 375-382, 2001

**Ogata M, Harada N, Yamaguchi S, Nakajima M, Tagami J:** Effect of self-etching primer vs phosphoric acid etchant on bonding to bur-prepared dentin. *Oper Dent* 27: 447-454, 2002

**Okuda M, Pereira P N R, Nakajima M, Tagami J, Pashley D H:** Long-term durability of resin dentin interface: nanoleakage vs microtensile bond strength. *Oper Dent* 27: 289-296, 2002

**Olsen M E, Bishara S E, Damon P, Jakobsen J:** Comparison of shear bond strength and surface structure between conventional acid etching and air-abrasion of human enamel. *Am J Orthod Dentofac Orthod* 112: 502-506, 1997

**Opdam N J, Roeters J J, Kuijs R, Burgersdijk R C:** Necessity of bevels for box only Class II composite restorations. *J Prosthet Dent* 80: 274-279, 1998

**Owens B M, Johnson W W:** Effect of insertion technique and adhesive system on microleakage of Class V resin composite restorations. *J Adhes Dent* 7: 303-8, 2005

**Owens B M, Johnson W W:** Effect of single step adhesives on the marginal permeability of Class V resin composites. *Oper Dent* 32: 67-72, 2007

**Palamara D, Palamara J E, Tyas M J, Messer H H:** Strain patterns in cervical enamel of teeth subjected to occlusal loading. *Dent Mater* 16: 412-9, 2000

**Pantke A, Schüttler D, Hüttemann R W, Pantke H:** Vergleichende Untersuchungen verschiedener Methoden zur Beurteilung von Oberflächenstrukturen präparierter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 40: 368-391, 1985

**Pashley D H, Pashley E L:** Dentin permeability and restorative dentistry: a status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 4: 5-9, 1991

**Pashley D H, Tay F R:** Aggressiveness of contemporary self-etching adhesives. Part II: etching effects on unground enamel. *Dent Mater* 17: 430-444, 2001

**Pashley D H, Ciucchi B, Sano H:** Dentin as a bonding substrate. *Dtsch Zahnärztl Z* 49: 760, 1994

**Perdigao J, Lopez M:** Dentin bonding – questions for the new millennium. *J Adhes Dent* 1: 191-209, 1999

**Perdigao J, Lambrechts P, Van Meerbeek B, Braem M, Yildiz E, Yücel T, Vanherle G:** The interaction of adhesive systems with human dentin. *Am J Dent* 9: 167-173, 1996

**Perdigao J, Van Meerbeek B, Lopes M M, Ambrose W W:** The effect of a re-wetting agent on dentin bonding. *Dent Mater* 15: 282-295, 1999

**Perdigao J, Frankenberger R, Rosa B T, Breschi L:** New Trends in dentin/enamel adhesion. *Am J Dent* 13: 25D-30D, 2000a

**Perdigao J, Geraldini S, Heymann H O, Rosa B T:** Effect of conditioner and restorative resin on enamel bond strengths. *Am J Dent* 13: 88-92, 2000b

**Peumans M, De Munck J, Van Meerbeek B, et al:** Three year clinical effectiveness of a two step etch adhesive in cervical lesions. *Eur J Oral Sci* 113: 512-518, 2005a

**Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P; Van Meerbeek B:** Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater* 21: 864-881, 2005b

**Peumans M, De Munck J, Van Landuyt K L, Kanumilli P, Yoshida Y, Inoue S, Lambrechts P, Van Meerbeek B:** Restoring cervical lesions with flexible composites. *Dent Mater* 23: 749-754, 2007

**Peutzfeldt A, Vigild M:** A survey of the use of dentin-bonding systems in Denmark. *Dent Mater* 17: 211-216, 2001

**Pilecki P, Stone D G, Sherriff M, Watson T F:** Microtensile bond strengths to enamel of self-etching and one bottle adhesive Systems. *J Oral Rehabil* 32: 531-540, 2005

**Plasmans P J, Creugers N H, Hermesen R J, Vrijhoef M M:** Intraoral humidity during operative procedures. *J Dent* 22: 89-91, 1994

**Prati C, Nucci C, Montainari G:** Shear bond strength and microleakage of dentin bonding systems. *J Prosth Dent* 65: 401-407, 1991

**Prati C, Tao L, Simpson M, Pashley D H:** Permeability and microleakage of Class II resin composite restorations. *J Dent* 22: 49-56, 1994

**Prati C, Chersoni S, Cretti L, Mongiorgi R:** Marginal morphology of Class V composite restorations. *Am J Dent* 10: 231-236, 1997

**Prevost A P, Fuller J L, Peterson L C:** The use of an intermediate resin in the acid-etch procedure: retentive strength, mikroleakage, and failure mode analysis. J Dent Res 61: 412-418, 1982

**Produktinformation Adper™ Prompt™ L-Pop™:** Packungsbeilage, 3M ESPE Dental Products, D-82229 Seefeld-Germany, 2006

**Produktinformation Filtek™ Supreme XT Body Shade:** Packungsbeilage, 3M ESPE Dental Products, D-82229 Seefeld-Germany, 2005

**Produktinformation Filtek™ Supreme XT Flowable Restorative:** Packungsbeilage, 3M ESPE Dental Products, D-82229 Seefeld-Germany, 2005

**Produktinformation Filtek™ Supreme XT:** Lösungen für die Füllungstherapie. 3M ESPE, 3M ESPE AG, 82229 Seefeld-Germany, 2010

**Produktinformation Ultra-Etch®:** Packungsbeilage, Ultradent Products Inc., South Jordan, UT 84095 USA, 2005

**Produktinformation OptiBond™ FL:** Packungsbeilage, Kerr GmbH, D-76158 Karlsruhe, 2006

**Purk J H, Dusevich V, Glaros A, Eick D:** Adhesive analysis of voids in Class II composite resin restorations at the axial and gingival cavity walls restored under in vivo versus in vitro conditions. Dent Mater 23: 871-877, 2007

**Radlanski R J, Jäger A, Seidl W, Steding G:** Durchmesser und Anordnung der Prismen im Zahnschmelz – Eine morphologische Untersuchung. Dtsch Zahnärztl Z 43: 1182-1192, 1988

**Raskin A D, Hoore W, Gonthie S, Degrange M, Dejou J:** Reliability of in vitro microleakage tests: a literature review. *J Adhes Dent* 3: 295-308, 2001

**Raskin A, Tassery H, D'Hoore W, Gonthier S, Vreven J, Degrange M, Dejou J:** Influence of the number of sections on reliability of in vitro microleakage evaluations. *Am J Dent* 16: 207-10, 2003

**Rees J S:** The role of cuspal flexure in the development of abfraction lesions: a finite element study. *Europ J Oral Scienc* 106: 1028-1032, 1998

**Renggli H H:** Überempfindliche Zahnhäule und Wurzelkaries. *Zahnmed Mitt* 89: 50-52, 2000

**Retief D H:** Effect of conditioning the enamel surface with phosphoric acid. *J Dent Res* 52: 333-341, 1973

**Ritter A V, Swift E J, Heymann H O, Sturdevant J R, Wilder A D jr:** An eight-year clinical evaluation of filled and unfilled one-bottle dental adhesives. *J Am Dent Assoc* 140: 28-37, 2009

**Rosa B T, Perdigao J:** Bond strengths of nonrising adhesives. *J Prosth Dent* 83: 353-358, 2000

**Rosales-Leal J I:** Microleakage of Class V composite restorations placed with etch-and-rinse and self-etching adhesives before and after thermocycling. *J Adhes Dent* 9: 255-9, 2007

**Rosenbauer K A, Engelhardt J P, Koch H, Stüttgen U:** Klinische Anatomie der Kopf- und Halsregion für Zahnmediziner. Thieme, Stuttgart, 1998

**Roulet J F:** Degradation of dental polymers. Karger, Basel, 1986

**Roulet J F:** A materials scientist's view: assessment of wear and marginal integrity. *Quintessence Int* 18: 543-52, 1987

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

**Rueggeberg F A:** Substrate for adhesion testing to tooth structure – Review of the literature. *Dent Mater* 7: 2-10, 1991

**Ruyter I E:** Die chemischen Grundlagen dentaler Adhäsivsysteme. *Phillip J* 12: 481-488, 1995

**Saboia V P A, Pimenta L A F, Ambrosano G M B:** Effect of collagen removal on microleakage of resin composite restorations. *Oper Dent* 27: 38-43, 2002

**Sadeghi M:** Influence of flowable materials on microleakage of nanofilled and hybrid Class II composite restorations with LED and QTH LCUs. *Indian J Dent Res* 20: 159-163, 2009

**Salim S, Santini A, Husham A:** An in-vitro study of microleakage around Class V cavities bonded with a self-etching material versus a conventional two-bottle system. *Prim Dent Care* 13: 107-111, 2006

**Sanares A M E, Itthagarun A, King N M, Tay F R, Pashley D H:** Adverse surface interactions between one-bottle light-cured adhesives and chemical-cured composites. *Dent Mater* 17: 542-556, 2001

**Santini A, Plasschaert A J M, Mitchell S:** Marginal leakage of filled dentin adhesives used with wet and dry bonding techniques. *Am J Dent* 13: 93-97, 2000

**Santini A, Plasschaert A J, Mitchell S:** Effect of composite resin placement techniques on the microleakage of two self-etching dentin-bonding agents. *Am J Dent* 14: 132-6, 2001

**Santini A, Ivanovic V, Ibbetson R, Milia E:** Influence of marginal bevels on microleakage around Class V cavities bonded with seven self-etching agents. *Am J Dent* 17: 257-61, 2004

**Sauro S, Pashley D H, Mannocci F, Tay F R, Pilecki P, Sheriff M, Watson T F:** Micropermeability of current self-etching and etch-and-rinse adhesives bonded to deep dentine: a comparison study using a doublestaining/confocal microscopy technique. *Eur J Oral Sci* 116: 184-193, 2008

**Schäfer E:** Geschichtliche Entwicklung, Klassifizierung und Haftmechanismen der Dentinadhäsive; Teil 1: Grundlagen der Dentinadhäsion und Adhäsive der 1. bis 3. Generation. *Zahnärztliche Welt. Zahnärztliche Rundschau. Zahnärztliche Reform. Das Deutsche Zahnärzteblatt* 108: 218-225, 1999a

**Schäfer E:** Geschichtliche Entwicklung, Klassifizierung und Haftmechanismen der Dentinadhäsive; Teil 2: Von der Einführung der 4. Generation bis zu den sogenannten Einschicht-Adhäsiven. *Zahnärztliche Welt. Zahnärztliche Rundschau. Zahnärztliche Reform. Das Deutsche Zahnärzteblatt* 108: 306-311, 1999b

**Schäfer E:** Geschichtliche Entwicklung, Klassifizierung und Haftmechanismen der Dentinadhäsive; Teil 3: Aktuelle Konzepte der Dentinadhäsion. *Zahnärztliche Welt. Zahnärztliche Rundschau. Zahnärztliche Reform. Das Deutsche Zahnärzteblatt* 108: 390-396, 1999c

**Schirrmeister J F, Huber K, Hellwig E, Hahn P:** Two-year evaluation of a new nanoceramic restorative material. *Clin Oral Invest* 10: 181-186, 2006

**Schmidseder J:** Ästhetische Zahnmedizin, Bd. 15, Georg Thieme Verlag, Stuttgart - New York: 85-114, 1998

**Schroeder H E:** Orale Strukturbiologie. 5. Aufl., Thieme, Stuttgart, 2000

**Schuckar M, Geurtsen W:** Proximo-cervical adaptation of Class II - composite restorations after thermocycling: a quantitative and qualitative study. J Oral Rehabil 24: 766-75, 1997

**Schumacher M, Schulgen G:** Methodik klinischer Studien. 2. Aufl., Springer, Berlin, Heidelberg, 2007

**Seichter U:** REM-Untersuchungen über den zervikalen Randspalt bei Komposit-Restaurationen mit Haftvermittlern. Dtsch Zahnärztl Z 41: 739, 1986

**Sensi L G, Marson F C, Monteiro S jr, Baratieri L N, Caldeira de Andrada M A:** Flowable composites as „filled adhesives“: a microleakage study. J Contemp Dent Pract 5: 32-41, 2004

**Sensi L G, Marson F C, Baratieri L N, Monteiro S jr:** Effect of placement techniques on the marginal adaptation of Class V composite restorations. J Contemp Dent Pract 6: 17-25, 2005

**Shehata S:** Marginal adaptation of Class-V cavities restored with nanofill, low-shrinkage composite resins and compomer restorations. Egyptian Dent Assoc 51: 119, 2005

**Shono Y, Terashita M, Shimada J, Kozono Y, Carvalho R M, Russell C M, Pashley D H:** Durability of resin-dentin bonds. J Adhes Dent 1: 211-218, 1999



**Silva Santana S V, Bombana A C, Florio F M, Basting R T:** Effect of surface sealants on marginal microleakage in Class V resin composite restorations. *J Esthet Restor Dent* 21: 397-404, 2009

**Silveira de Araujo C, Incerti da Silva T, Ogliari F A, Meireless S S, Piva E, Demarco F F:** Microleakage of seven adhesive systems in enamel and dentin. *J Contemp Dent Pract* 7: 26-33, 2006

**Simkowski N:** Marginale Füllungsrandqualität in Klasse-V-Kavitäten unter Verwendung vorgewärmter Komposite in Kombination mit einem Self-Etch-Adhäsiv. *Med Diss, Erlangen*, 2010

**Soares C J, Celiberto L, Dechichi P, Fonseca R B, Martins L R:** Marginal integrity and marginal leakage of direct and indirect composite inlays: SEM and stereomicroscopic evaluation. *Braz Oral Res* 19: 295-301, 2005

**Söderholm K J:** Correlation of in vivo and in vitro performance of adhesive restorative materials: a report of the ASC MD156 task group on test methods for the adhesion of restorative materials. *Dent Mater* 7: 74-83, 1991

**Söderholm K-J, Mariotti A:** BIS-GMA-based resins in dentistry: Are they safe? *J Am Dent Assoc* 130: 210-208, 1999

**Sousa Neto M D, Consani S:** Influence of the methodology and evaluating criteria on determining marginal leakage in dentin-restorative interfaces. *Clin Oral Investig* 10: 317-23, 2006

**Spohr A M, Conceicao E N, Pacheco J F M:** Tensile bond strength of four adhesive systems to dentin. *Am J Dent* 14: 247-251, 2001

**Staninec M, Kawakami M:** Adhesion and microleakage tests of a new dentin bonding system. *Dent Mater* 9:204-208, 1993

**Stewart B L, H J K, Tyas M:** Determination of adhesive bond strength to dentine. A new method. *Aust Dent J* 35: 454-458, 1990

**St Georges A J, Wilder A D, Perdigao J, Swift E J jr:** Microleakage of Class V composites using different placement and curing techniques: an in vitro study. *Am J Dent* 15: 244-7, 2002

**Strickland S S, Retief D H, Russell C M, Denys F R:** Gluma shear bond strength to enamel and dentin treated with pyruvic acid and glycine. *Am J Dent* 5: 97-102, 1992

**Swift E J jr:** Dentin/enamel adhesives: review of the literature. *Pediatr Dent* 24: 456-461, 2002

**Swift E J jr, Triolo P T Jr, Barkmeier W W, Bird J L, Bounds S J:** Effect of low-viscosity resins on the performance of dental adhesives. *Am J Dent* 9: 100-104, 1996

**Takahashi A, Inoue S, Kawamoto C, Ominato R, Tanaka T, Sato Y, et al:** In vivo long-term durability of the bond to dentin using two adhesive systems. *J Adhes Dent* 4: 151-159, 2002

**Tay F R, Pashley D H:** Aggressiveness of contemporary self-etching systems. I: Depth of penetration beyond dentin smear layers. *Dent Mater* 17: 296-308, 2001

**Tay F R, Gwinnett A J, Pang K M, Wei S H Y:** Variability in microleakage observed in total-etch wet-bonding technique under different handling conditions. *J Dent Res* 74: 1168-1178, 1995

**Tay F R, Kwong S-M, Itthagarun A, King N M, Yip H-K, Moulding K M, Pashley D H:** Bonding of a self-etching primer to non-cariou cervical sclerotic dentin: Interfacial ultrastructure and microtensile bond strength evaluation. *J Adhes Dent* 2: 9-28, 2000

**Tay F R, King N M, Suh B I, Pashley D H:** Effect of delayed activation of light-cured resin composites on bonding of all-in-one adhesives. *J Adhes Dent* 3: 207-225, 2001

**Tay F R, King N M, Chan K, Pashley D:** How can nanoleakage occur in self-etching adhesive systems that demineralize and infiltrate simultaneously? *J Adhes Dent* 4: 142-51, 2002a

**Tay F R, Pashley D H, Yoshiyama M:** Two modes of nanoleakage expression in single-step adhesives. *J Dent Res* 81: 472-476, 2002b

**Tjan A H L, Castelnuovo J, Liu P:** Bond strength of multi-step and simplified-step systems. *Am J Dent* 9: 269-272, 1996

**Toledano M, Osorio R, de Leonardi G, Rosales-Leal J I, Ceballos L, Cabrerizo-Vilchez M A:** Influence of self-etching primer on the resin adhesion to enamel and dentin. *Am J Dent* 14: 205-210, 2001

**Torstenson B, Brännström M:** Contraction gap under composite resin restorations: effect of hygroscopic expansion and thermal stress. *Oper Dent* 13: 24, 1988

**Torstenson B, Oden A:** Effects of bonding agent types and incremental techniques on minimizing contraction gaps around resin composites. *Dent Mater* 5: 218-23, 1989

**Tronstad L:** *The endodontium*. 3. Aufl., Thieme, Stuttgart, 2008

**Uno S, Tanaka T, Inoue S, Sano H:** The influence of configuration factors on cavity adaptation in compomer restorations. *Dent Mater* 18: 19-31, 1999

**Vandewalle K S, Vigil G:** Guidelines for the restoration of Class V lesions. *Gen Dent* 45: 254-60, 1997

**Van Dijken J W:** A clinical evaluation of anterior conventional, microfiller, and hybrid composite resin fillings. A 6-year follow-up study. *Acta Odontol Scand* 44: 357-367, 1986

**Van Dijken J W:** A 6-year evaluation of a direct composite resin inlay/onlay system and glass ionomer cement-composite resin sandwich restorations. *Acta Odontol Scand*. 52: 368-376, 1994

**Van Dijken J W:** Clinical effectiveness of 12 adhesive systems in Class V non-retentive lesions: a 5-year evaluation. *J Dent Res* 80: 1272, 2001

**Van Landuyt K L, Mine A, De Munck J, Jaecques S, Peumans M, Lambrechts P, Van Meerbeek B:** Are one-step adhesives easier to use and better performing? Multifactorial assessment of contemporary one-step-etching adhesives. *J Adhes Dent* 11: 175-190, 2009

**Van Meerbeek B:** Kunststoff-Dentin-Grenzflächen nach Total-Etch/Total-Bonding. *Phillip J* 14: 313-315, 1997

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

**Van Meerbeek B, Lambrechts P, Inokoshi S, Braem M, Vanherle G:** Factors affecting adhesion to mineralized tissues. *Oper Dent* 5: 111-124, 1992b

**Van Meerbeek B, Willems G, Celis J P, et al:** Assessment by nanoindentation of the hardness and elasticity of the resin-dentin bonding area. *J Dent Res* 72: 1434-1442, 1993

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

**Van Meerbeek B, Yoshida Y, Snauwaert J, Hellemans L, Lambrechts P, Vanherle G, Wakasa K, Pashley D H:** Hybridization effectiveness of a two-step versus a three-step smear layer removing adhesive system examined correlatively by TEM and AFM. J Adhes Dent 1: 7-23, 1999

**Van Meerbeek B, Vargas M, Inoue A, Yoshida Y, Perdigao J, Lambrechts P, Vanherle G:** Microscopy investigations. Techniques, results, limitations. Am J Dent, 13: 3-17, 2000

**Van Meerbeek B, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Peumans, M:** A randomized controlled trial evaluation the three-year clinical effectiveness of too etch&rinse adhesives in cervical lesions. Oper Dent 29: 376-385, 2004

**Van Noort R, Noroozi S, Howard I C, Cardew G:** A critique of bond strength measurements. J Dent 17: 61, 1989

**Versluis A, Douglas W H, Cross M, Sakaguchi R L:** Does an incremental filling technique reduce polymerization shrinkage stress? J Dent Res 75: 871-8, 1996

**Weiß Ch:** Basiswissen Medizinische Statistik. 4. Aufl., Springer, Heidelberg, 2008

**Winkler M M, Katona T R, Paydar N H:** Finite element stress analysis of three filling techniques for Class V light-cured composite resins. J Dent Res 75: 1477, 1996

**Witzel M. F, Braga R R, Singer Jde M, Azevedo C L:** Bond strength between polymer resin-based cement and porcelain-dentin surfaces: influence of polymerization mode and early cyclic loading. Int J Prosthodont 16: 145-9, 2003

**Xie J, Powers J M, McGuckin R S:** In-vitro bond strength of two adhesives to enamel and dentin under normal and contaminated conditions. *Dent Mater* 9: 295-299, 1993

**Yalcin F, Korkmaz Y, Baseren M:** The effect of two different polishing techniques on microleakage of new composites in Class V restorations. *J Contemp Dent Pract* 7: 18-25, 2006

**Yaman P, Dennison J B, Herrero A A:** Clinical comparison of a micro-hybrid and a packable composite in posterior restoration: two-year report. *IADR Göteborg, Abstr. No. 2369*, 2003

**Yazici A R, Ozgünlaltay G, Dayangac B:** The effect of different types of flowable restorative resins on microleakage of Class V cavities. *Oper Dent* 28: 773-8, 2003

**Yazici A R, Celik C, Ozgünlaltay G, Dayangac B:** Bond strength of different adhesive systems to dental hard tissues. *Oper Dent* 32: 166-172, 2007

**Yesil Z D, Alapati S, Johnston W, Seghi R R:** Evaluation of the wear resistance of new nanocomposite resin restorative materials. *J Prosthet Dent* 99: 435-443, 2008

**Yoshiyama M, Urayama A, Kimochi T, Matsuo T, Pashley D H:** Comparison of conventional vs self-etching adhesive bonds to caries-affected dentin. *Oper Dent* 25: 163-169, 2000

**Yoshiyama M, Tay F R, Doi J, Nishitani Y, Yamada T, Itou K, Carvalho R M, Nakajima M, Pashley D H:** Bonding of self-etch and total-etch adhesives to carious dentin. *J Dent Res* 81: 556-560, 2002

## Tabellen und Abbildungen

		Anzahl Zähne	%
Adhäsiv	Ein-Schritt-Adhäsivsystem	70	50,00
	Mehr-Schritt-Adhäsivsystem	70	50,00
Schichtung	Einschicht-Füllungen (Bulk)	40	28,57
	Mehrschicht-Füllungen	60	42,86
	Mehrschicht-Füllungen mit Flowable-U.	40	28,57
Reihenfolge	entfällt	40	28,57
	von apikal nach coronal	60	42,86
	von coronal nach apikal	40	28,57
Material	Flowable (fließfähig)	40	28,57
	Body (modellierbar)	60	42,86
	gemischt (Body mit Flowable-U.)	40	28,57

Tabelle 5. Füllungsverfahren. Anzahl und Prozentsatz der 140 Füllungen. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen.

	Penetration [mm]						
	n	MW	ST	68%-CI	95%-CI		
arithmetisches Mittel	140	0,458	0,228	0,230	0,686	0,011	0,905
geometrisches Mittel	140	0,417	1,536	0,271	0,640	0,180	0,966
Median	140	0,410	–	0,280	0,610	0,190	0,859

Tabelle 6. Penetration. Verschiedene Schätzwerte. CI = Konfidenzintervall.

		Penetration [mm]			
		n	MW	ST	p
Adhäsiv	Ein-Schritt-Adhäsivsystem	70	0,494	0,265	0,029* <sub>U</sub>
	Mehr-Schritt-Adhäsivsystem	70	0,421	0,178	
Schichten	Einschicht	40	0,491	0,322	0,068
	Mehrschicht	60	0,480	0,194	
	Mehrschicht mit Flowable-U.	40	0,391	0,136	
Reihenfolge	entfällt	40	0,491	0,322	0,90
	von apikal nach coronal	60	0,446	0,188	
	von coronal nach apikal	40	0,441	0,163	
Material	Flowable (fließfähig)	40	0,430	0,305	0,00045***
	Body (modellierbar)	60	0,520	0,203	
	gemischt (Body mit Flowable-U.)	40	0,391	0,136	

Tabelle 7. Füllungsverfahren und Penetration. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis bzw. (U) dem U-Test nach Mann und Whitney.

**Test auf Gaußsche Normalverteilung**

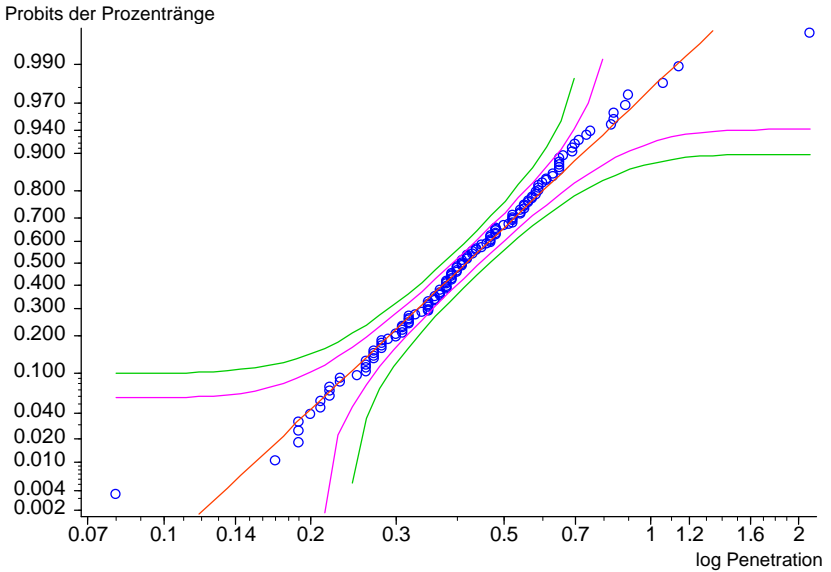
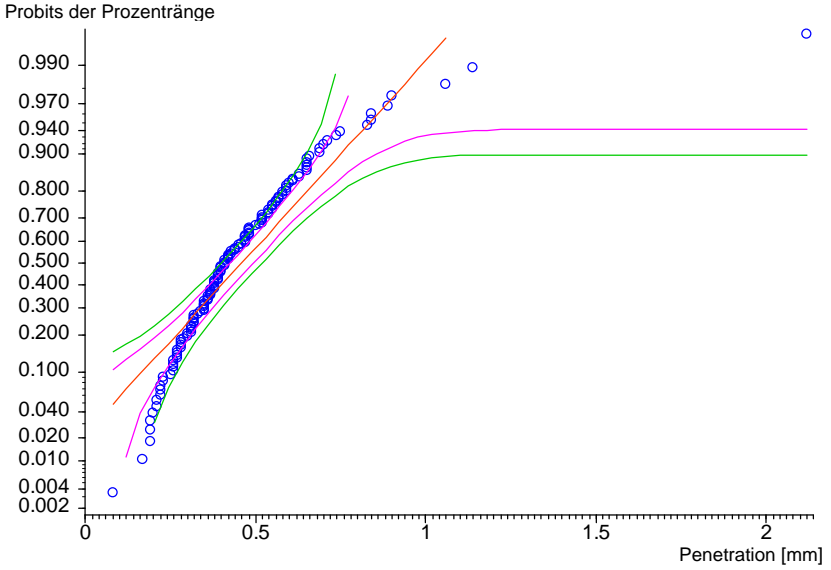


Abbildung 29. Probits der Prozentränge von Penetration und deren Logarithmus. Die mittlere rote Linie stellt den Idealverlauf einer Gaußschen Normalverteilung dar, die seitlichen gebogenen Linien begrenzen den 30%- und den 0,1%-Konfidenzintervall einer Gaußschen Normalverteilung nach Lillefors.



Versuch	Verfahren	Penetration [mm]			p
		n	MW	ST	
Mehr-Schritt-Adhäsivsystem					
1	Einschicht Body.	10	0,348	0,094	0,00003***
2	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,289	0,092	
3	Einschicht Flowable.	10	0,576	0,269	
4	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	0,557	0,152	
5	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	0,398	0,117	
6	Flowable-U., 2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,441	0,161	
7	Flowable-U., 2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	0,337	0,102	
Ein-Schritt-Adhäsivsystem					
8	Einschicht Body.	10	0,636	0,526	
9	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,446	0,182	
10	Einschicht Flowable.	10	0,405	0,168	
11	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	0,561	0,253	
12	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	0,626	0,132	
13	Flowable-U., 2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,385	0,135	
14	Flowable-U., 2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	0,402	0,140	

*Tabelle 8. Die 14 Füllungsverfahren und Penetration. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

			Penetration [mm]			p
			n	MW	ST	
Gruppe	Einschicht	Body	20	0,492	0,397	0,42
		Flowable	20	0,490	0,235	
Gruppe	3 Schichten Flowable	von apikal nach coronal	20	0,559	0,203	0,45
		von coronal nach apikal	20	0,512	0,168	
Gruppe	2 Schichten von apikal nach coronal	Body ohne Flowable-U.	20	0,368	0,162	0,31
		Body mit Flowable-U.	20	0,413	0,148	
Gruppe	2 Schichten mit Flowable-U.	Body von apikal nach coronal	20	0,413	0,148	0,34
		Body von coronal nach apikal	20	0,370	0,124	
Schichten		1	40	0,491	0,322	0,00013*** <sub>K</sub>
		2	60	0,383	0,144	
		3	40	0,536	0,186	
von apikal nach coronal		ja	60	0,447	0,188	0,81
		nein	80	0,466	0,255	
von coronal nach apikal		ja	40	0,441	0,163	0,85
		nein	100	0,464	0,250	
Material		Body	80	0,410	0,236	0,00008***
		Flowable	60	0,521	0,203	
Flowable-U.		ja	40	0,391	0,136	0,023*
		nein	100	0,484	0,252	

*Tabella 9. Füllungsverfahren und Penetration. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem U-Test nach Mann und Whitney bzw. (K) der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

### Test auf Gaußsche Normalverteilung

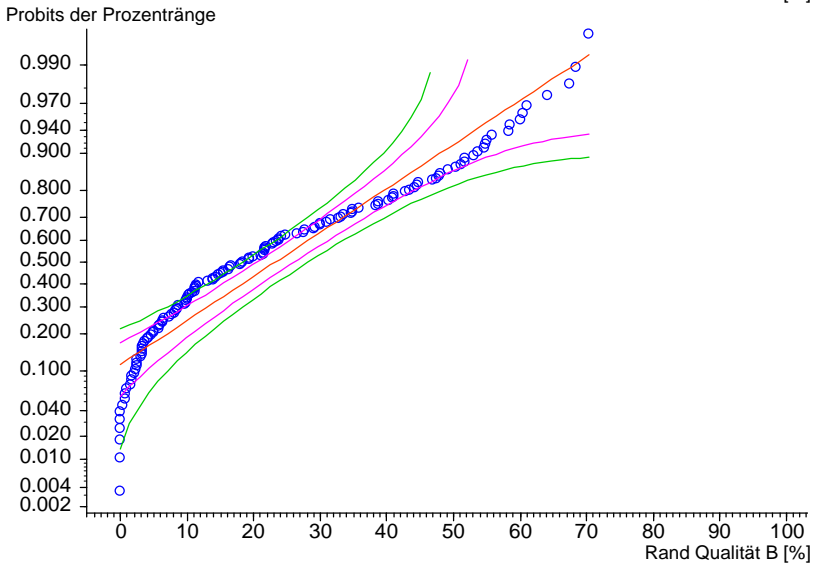
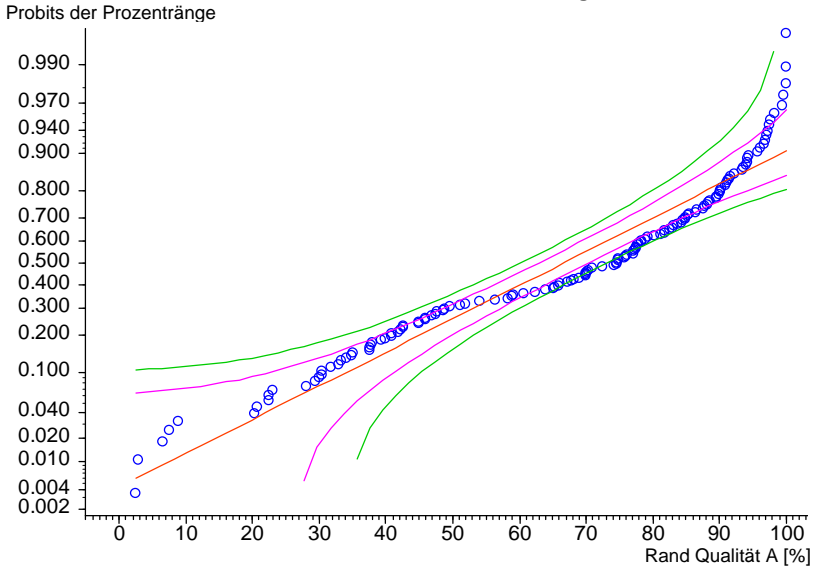


Abbildung 30a. Probits der Prozentränge der Anteile der vier Qualitäten A bis D am Gesamtrand der Füllung. Die mittlere rote Linie stellt den Idealverlauf einer Gaußschen Normalverteilung dar, die seitlichen gebogenen Linien begrenzen den 30%- und den 0.1%-Konfidenzintervall einer Gaußschen Normalverteilung nach Lillefors.

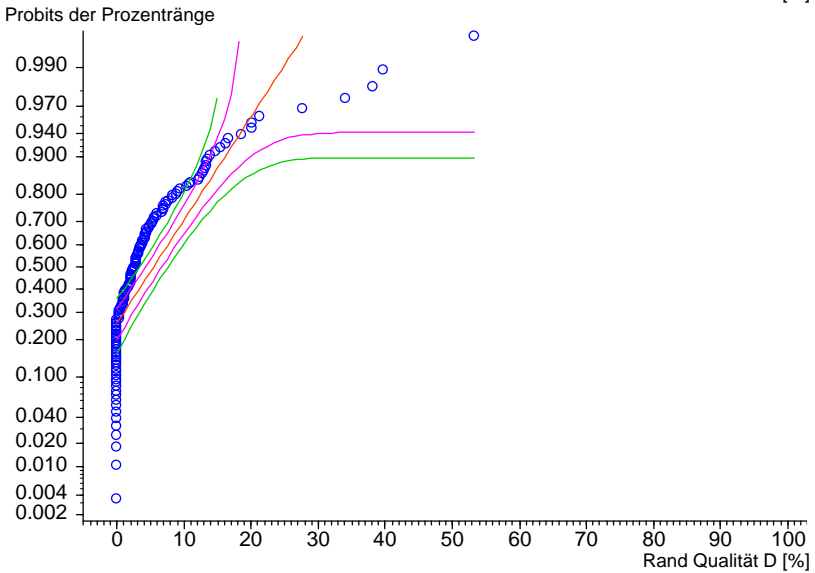
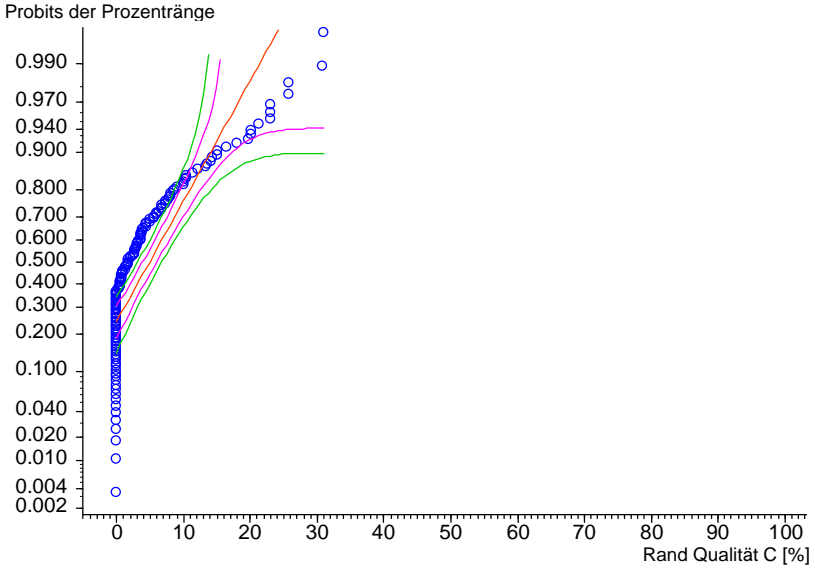


Abbildung 30b. Probits der Prozentränge der Anteile der vier Qualitäten A bis D am Gesamtrand der Füllung. Die mittlere rote Linie stellt den Idealverlauf einer Gaußschen Normalverteilung dar, die seitlichen gebogenen Linien begrenzen den 30%- und den 0.1%-Konfidenzintervall einer Gaußschen Normalverteilung nach Lillefors.

Qualität	Anteil der Qualität [%]							
	n	MW	ST	Median	68%-CI		Min	Max
A	140	66,506	25,422	74,643	37,659	91,499	2,408	100
B	140	23,183	19,300	18,282	3,351	47,450	0	70,434
C	140	4,901	7,086	1,624	0,000	10,347	0	31,030
D	140	5,410	8,307	2,618	0,000	11,014	0	53,347

Tabelle 10. Prozentsatz der Ränder der genannten Qualität am gesamten Füllungsrand. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, CI = Konfidenzintervall.

Qualität	Anteil der Schmelz-Qualität [%]							
	n	MW	ST	Median	68%-CI		Min	Max
A	140	75,300	26,403	85,517	47,278	99,561	0	100
B	140	16,836	18,664	9,241	0,000	37,446	0	71,368
C	140	4,032	8,403	0,000	0,000	8,431	0	40,042
D	140	3,832	8,547	0,000	0,000	7,306	0	64,567

Tabelle 11. Prozentsatz der Ränder der genannten Qualität am Schmelz. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, CI = Konfidenzintervall.

Qualität	Anteil der Dentin-Qualität [%]							
	n	MW	ST	Median	68%-CI		Min	Max
A	140	55,966	32,754	61,291	14,280	91,428	0	100
B	140	30,561	27,236	21,854	1,374	60,693	0	100
C	140	6,162	9,903	1,054	0,000	13,448	0	44,266
D	140	7,311	12,751	1,828	0,000	14,982	0	79,678

Tabelle 12. Prozentsatz der Ränder der genannten Qualität am Dentin. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, CI = Konfidenzintervall.

#### Korrelation der Penetration mit % Randqualität

	n	tau	p
A: kontinuierlich	140	-0,3891	<0,000005***
B: kein Spaltmass, Randunregelmäßigkeiten	140	0,2637	<0,000005***
C: Haarriss, keine Randunregelmäßigkeiten	140	0,2259	0,00008***
D: mass. Randspalt, Randunregelmäßigkeiten	140	0,2510	0,00001***

Tabelle 13. Korrelation der relativen Länge der Randqualitäten im Dentin mit der Penetration. Tau und p aus der Kendallschen Rangkorrelation.

#### Korrelation des Anteils im Schmelz mit dem Anteil im Dentin von Qualität

Qualität	n	tau	p
A	140	0,3449	<0,000005***
B	140	0,3204	<0,000005***
C	140	0,2815	<0,000005***
D	140	0,1463	0,010*

Tabelle 14. Korrelation des Anteils einer Qualität im Schmelz mit dem Anteil der entsprechenden Qualität im Dentin. Tau und p aus der Kendallschen Rangkorrelation.

FS	Qualität [%]		
	n	MW	ST p
<b>A: kontinuierlich</b>			
1	M	Einschicht Body.	10 77,7804 15,9309
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 92,4850 6,6550
3	M	Einschicht Flowable.	10 67,7943 18,8351
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 63,4184 19,6647
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10 74,1714 22,9799
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10 69,0069 21,0735
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 87,3159 14,7614 <0,000005***
8	E	Einschicht Body.	10 76,2961 15,6684
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 80,6246 10,1470
10	E	Einschicht Flowable.	10 54,0361 28,1842
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 25,7110 12,1443
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal. Flowable-U.,	10 27,6638 15,4222
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10 63,8976 22,0467
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 70,8811 15,0139

*Tabelle 15a. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität. FS = Flaschen-System: M = Mehr-Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

FS	Qualität [%]					
	n	MW	ST	p		
<b>B: Randunregelm.</b>						
1	M	Einschicht Body.	10	13,5320	13,8621	
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	5,6337	5,2870	
3	M	Einschicht Flowable.	10	19,8649	16,4710	
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	20,8151	13,8440	
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	13,2429	18,5398	
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10	28,9114	19,1431	
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	12,3672	14,8272	0,00000***
8	E	Einschicht Body.	10	9,5816	7,7742	
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	13,0577	7,5948	
10	E	Einschicht Flowable.	10	35,1109	20,6423	
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	52,2564	8,9547	
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal. Flowable-U.,	10	48,9417	14,6253	
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10	27,8906	17,0306	
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	23,3601	9,6236	

*Tabelle 15b. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität. FS = Flaschen-System; M = Mehr-Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

FS	n	Qualität [%]				
		MW	ST	p		
<b>C: Haarriss</b>						
1	M	Einschicht Body.	10	3,7179	4,7227	
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,8939	1,8285	
3	M	Einschicht Flowable.	10	6,2277	8,5613	
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	9,6576	9,2268	
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	4,7213	5,6224	
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,6673	1,4123	
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	0,0000	0,0000	0,00000***
8	E	Einschicht Body.	10	4,3834	6,1215	
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	2,2854	3,2041	
10	E	Einschicht Flowable.	10	8,5794	12,3773	
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	11,1917	8,0858	
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	10,9203	6,8142	
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	3,6717	4,8699	
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	1,6909	2,8111	

*Tabelle 15c. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität. FS = Flaschen-System; M = Mehr-Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*



FS	Qualität [%]					
	n	MW	ST	p		
<b>D: Mass. Randspalt</b>						
1	M	Einschicht Body.	10	4,9697	4,1228	
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,9875	1,3370	
3	M	Einschicht Flowable.	10	6,1130	10,1530	
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	6,1089	6,8391	
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	7,8644	16,1947	
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10	1,4144	2,8372	
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	0,3169	0,6846	0,00001***
8	E	Einschicht Body.	10	9,7389	5,8896	
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	4,0322	3,7688	
10	E	Einschicht Flowable.	10	2,2737	3,2494	
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	10,8409	12,3839	
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal. Flowable-U.,	10	12,4742	11,4248	
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10	4,5401	5,7313	
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	4,0679	6,9909	

*Tabelle 15d. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität. FS = Flaschen-System; M = Mehr-Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

Qualität	Anteil am Rand [%]			p	
	n	MW	ST		
A Flaschensystem	Einflaschensystem	70	57,016	27,013	0,00001***
	Mehrflaschensystem	70	75,996	19,736	
B Flaschensystem	Einflaschensystem	70	30,028	19,897	0,00002***
	Mehrflaschensystem	70	16,338	16,107	
C Flaschensystem	Einflaschensystem	70	6,103	7,690	0,0057**
	Mehrflaschensystem	70	3,698	6,251	
D Flaschensystem	Einflaschensystem	70	6,853	8,344	0,00054***
	Mehrflaschensystem	70	3,968	8,072	
A Schichtung	Einschicht	40	68,9767	21,7165	0,17
	Mehrschicht	60	60,6790	29,7287	
	Mehrsch./Flowable-U.	40	72,7754	19,8981	
B Schichtung	Einschicht	40	19,5223	17,7794	0,36
	Mehrschicht	60	25,6579	21,8257	
	Mehrsch./Flowable-U.	40	23,1323	16,3616	
C Schichtung	Einschicht	40	5,72710	8,34930	0,00001***
	Mehrschicht	60	6,61171	7,38475	
	Mehrsch./Flowable-U.	40	1,50747	3,11932	
D Schichtung	Einschicht	40	5,77385	6,7469	0,0013**
	Mehrschicht	60	7,05136	10,4089	
	Mehrsch./Flowable-U.	40	2,58484	4,9030	
A Schichtung	Einschicht	40	68,977	21,716	0,23
	Mehrschicht	60	60,679	29,729	
B Schichtung	Einschicht	40	19,522	17,779	0,23
	Mehrschicht	60	25,658	21,826	
C Schichtung	Einschicht	40	5,727	8,349	0,30
	Mehrschicht	60	6,612	7,385	
D Schichtung	Einschicht	40	5,774	6,747	0,87
	Mehrschicht	60	7,051	10,409	

*Tabelle 16a. Vergleich des prozentualen Anteils der Randqualitäten zwischen den Einflussgrößen. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem U-Test nach Mann und Whitney bzw. bei drei Gruppen der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

A	Reihenfolge	entfällt	40	68,9767	21,7165	
		von apikal nach coronal	60	65,8572	26,0669	0,93
		von coronal nach apikal	40	65,0080	28,1890	
B	Reihenfolge	entfällt	40	19,5223	17,7794	
		von apikal nach coronal	60	24,7608	19,3714	0,35
		von coronal nach apikal	40	24,4780	20,6043	
C	Reihenfolge	entfällt	40	5,72710	8,34930	
		von apikal nach coronal	60	4,72794	6,82968	0,63
		von coronal nach apikal	40	4,33314	6,13214	
D	Reihenfolge	entfällt	40	5,77385	6,7469	
		von apikal nach coronal	60	4,65402	7,0837	0,26
		von coronal nach apikal	40	6,18084	11,0849	
A	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	65,857	26,067	0,96
		von coronal nach apikal	40	65,008	28,189	
B	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	24,761	19,371	0,77
		von coronal nach apikal	40	24,478	20,604	
C	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	4,728	6,830	0,89
		von coronal nach apikal	40	4,333	6,132	
D	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	4,654	7,084	0,77
		von coronal nach apikal	40	6,181	11,085	
A	Material	Body (modellierbar)	40	81,7965	13,8109	
		Flowable (fließfähig)	60	52,1325	27,1939	0,00000***
		gemischt (Flowable-U.)	40	72,7754	19,8981	
B	Material	Body (modellierbar)	40	10,4512	9,4007	
		Flowable (fließfähig)	60	31,7053	21,4115	0,00000***
		gemischt (Flowable-U.)	40	23,1323	16,3616	
C	Material	Body (modellierbar)	40	2,82015	4,33512	
		Flowable (fließfähig)	60	8,54968	8,66929	0,00000***
		gemischt (Flowable-U.)	40	1,50747	3,11932	
D	Material	Body (modellierbar)	40	4,93209	5,0735	
		Flowable (fließfähig)	60	7,61253	10,9161	0,0012**
		gemischt (Flowable-U.)	40	2,58484	4,9030	
A	Material	Body (modellierbar)	40	81,797	13,811	<0,000005***
		Flowable (fließfähig)	60	52,132	27,194	
B	Material	Body (modellierbar)	40	10,451	9,401	<0,000005***
		Flowable (fließfähig)	60	31,705	21,411	
C	Material	Body (modellierbar)	40	2,820	4,335	0,00028***
		Flowable (fließfähig)	60	8,550	8,669	
D	Material	Body (modellierbar)	40	4,932	5,073	0,69
		Flowable (fließfähig)	60	7,613	10,916	

*Tabelle 16b. Vergleich des prozentualen Anteils der Randqualitäten zwischen den Einflussgrößen. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem U-Test nach Mann und Whitney bzw. bei drei Gruppen der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

FS	Qualität [%]		
	n	MW	ST p
<b>A: kontinuierlich</b>			
1	M	Einschicht Body.	10 85,5430 16,1877
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 93,0357 9,9776
3	M	Einschicht Flowable.	10 85,9789 21,5466
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 85,1481 18,2164
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10 80,5827 21,1306
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 87,6977 12,8315
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 97,2261 3,6180 <0,000005***
8	E	Einschicht, Body.	10 80,9720 13,1776
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 84,9194 16,1948
10	E	Einschicht Flowable.	10 62,9901 27,1162
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 22,2785 14,1874
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10 37,5600 24,9556
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 74,0023 16,5513
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 76,2635 16,2071

*Tabelle 17a. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität im Schmelz. FS = Flaschen-System: M = Mehr-Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal u. Wallis.*

FS	Qualität [%]		
	n	MW	ST p
<b>B: Randunregelm.</b>			
1	M	Einschicht Body.	10 8,6961 13,5059
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 6,4880 9,0677
3	M	Einschicht Flowable.	10 12,1877 17,8744
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 7,5324 15,5045
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10 14,9761 22,0026
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 9,2013 9,5769
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 2,3994 3,5175 <0,000005***
8	E	Einschicht, Body.	10 8,4267 8,1170
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 10,3549 10,0928
10	E	Einschicht Flowable.	10 27,1588 18,3012
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 50,1976 14,5574
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10 37,3900 16,1225
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 21,9136 15,2685
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 18,7804 12,8137

*Tabelle 17b. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität im Schmelz. FS = Flaschen-System: M = Mehr-Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal u. Wallis.*

FS	n	Qualität [%]				
		MW	ST	p		
<b>C: Haarriss</b>						
1	M	Einschicht Body.	10	1,4543	3,1205	
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,0000	0,0000	
3	M	Einschicht Flowable.	10	1,5247	3,8581	
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	7,3195	13,2102	
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	2,5229	5,4033	
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10	0,6781	2,1443	
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	0,0000	0,0000	<0,000005***
8	E	Einschicht, Body.	10	2,4855	4,2784	
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	1,2237	3,8696	
10	E	Einschicht Flowable.	10	8,3673	13,4711	
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	14,1170	13,0171	
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal. Flowable-U.,	10	13,2794	11,0566	
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10	2,3680	4,0123	
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	1,1090	2,1743	

*Tabelle 17c. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität im Schmelz. FS = Flaschen-System; M = Mehr-Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal u. Wallis.*

FS	Qualität [%]		
	n	MW	ST p
<b>D: Mass. Randspalt</b>			
1	M	Einschicht Body.	10 4,3066 5,2363
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 0,4764 1,1743
3	M	Einschicht Flowable.	10 0,3087 0,9762
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 0,0000 0,0000
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10 1,9183 3,6570
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10 2,4229 5,2919
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 0,3745 1,1842 0,00001***
8	E	Einschicht Body.	10 8,1158 6,3152
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 3,5020 6,7311
10	E	Einschicht Flowable.	10 1,4839 1,7599
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 13,4068 21,6850
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal. Flowable-U.,	10 11,7707 13,0228
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10 1,7161 2,6451
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 3,8471 7,3845

*Tabelle 17d. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität im Schmelz. FS = Flaschen-System: M = Mehr-Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal u. Wallis.*

Qualität		Anteil am Rand [%]			p	
		n	MW	ST		
A	Flaschensystem	Einflaschensystem	70	62,712	28,701	<0,000005***
		Mehrflaschensystem	70	87,887	16,095	
B	Flaschensystem	Einflaschensystem	70	24,889	19,281	<0,000005***
		Mehrflaschensystem	70	8,783	14,086	
C	Flaschensystem	Einflaschensystem	70	6,136	9,863	0,00012***
		Mehrflaschensystem	70	1,929	6,000	
D	Flaschensystem	Einflaschensystem	70	6,263	11,115	<0,000005***
		Mehrflaschensystem	70	1,401	3,407	
A	Schichtung	Einschicht	40	78,8710	21,622	0,096
		Mehrschicht	60	67,2541	32,278	
		Mehrsch./Flowable-U.	40	83,7974	15,942	
B	Schichtung	Einschicht	40	14,1173	16,3928	0,41
		Mehrschicht	60	21,1565	22,1894	
		Mehrsch./Flowable-U.	40	13,0737	13,3100	
C	Schichtung	Einschicht	40	3,45795	7,7585	0,0023**
		Mehrschicht	60	6,41040	10,4949	
		Mehrsch./Flowable-U.	40	1,03877	2,5751	
D	Schichtung	Einschicht	40	3,55372	5,0741	0,21
		Mehrschicht	60	5,17903	11,6694	
		Mehrsch./Flowable-U.	40	2,09013	4,7534	
A	Schichtung	Einschicht	40	78,871	21,622	0,18
		Mehrschicht	60	67,254	32,278	
B	Schichtung	Einschicht	40	14,117	16,393	0,25
		Mehrschicht	60	21,156	22,189	
C	Schichtung	Einschicht	40	3,458	7,758	0,11
		Mehrschicht	60	6,410	10,495	
D	Schichtung	Einschicht	40	3,554	5,074	0,59
		Mehrschicht	60	5,179	11,669	

*Tabelle 18a. Vergleich des prozentualen Anteils der Randqualitäten im Schmelz zwischen den Einflussgrößen. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem U-Test nach Mann und Whitney bzw. bei drei Gruppen der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*



A	Reihenfolge	entfällt	40	78,8710	21,6225	
		von apikal nach coronal	60	74,5136	28,1256	0,83
		von coronal nach apikal	40	72,9081	28,2913	
B	Reihenfolge	entfällt	40	14,1173	16,3928	
		von apikal nach coronal	60	17,6146	19,7192	0,66
		von coronal nach apikal	40	18,3865	19,3289	
C	Reihenfolge	entfällt	40	3,45795	7,75850	
		von apikal von coronal	60	4,28436	9,13138	0,75
		von coronal nach apikal	40	4,22782	8,05420	
D	Reihenfolge	entfällt	40	3,55372	5,0741	
		von apikal nach coronal	60	3,58736	10,2558	0,30
		von coronal nach apikal	40	4,47763	8,6526	
A	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	74,514	28,126	0,74
		von coronal nach apikal	40	72,908	28,291	
B	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	17,615	19,719	0,67
		von coronal nach apikal	40	18,386	19,329	
C	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	4,284	9,131	0,51
		von coronal nach apikal	40	4,228	8,054	
D	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	3,587	10,256	0,33
		von coronal nach apikal	40	4,478	8,653	
A	Material	Body (modellierbar)	40	86,1175	14,267	
		Flowable (fließfähig)	60	62,4230	32,293	0,00055***
		gemischt (Flowable-U.)	40	83,7974	15,942	
B	Material	Body (modellierbar)	40	8,4914	10,0853	
		Flowable (fließfähig)	60	24,9071	22,6562	0,0029**
		gemischt (Flowable-U.)	40	13,0737	13,3100	
C	Material	Body (modellierbar)	40	1,29087	3,2753	
		Flowable (fließfähig)	60	7,85512	11,3516	<0,000005***
		gemischt (Flowable-U.)	40	1,03877	2,5751	
D	Material	Body (modellierbar)	40	4,10018	5,8232	
		Flowable (fließfähig)	60	4,81473	11,4737	0,16
		gemischt (Flowable-U.)	40	2,09013	4,7534	
A	Material	Body (modellierbar)	40	86,118	14,267	0,00062***
		Flowable (fließfähig)	60	62,423	32,293	
B	Material	Body (modellierbar)	40	8,491	10,085	0,0013**
		Flowable (fließfähig)	60	24,907	22,656	
C	Material	Body (modellierbar)	40	1,291	3,275	0,00006***
		Flowable (fließfähig)	60	7,855	11,352	
D	Material	Body (modellierbar)	40	4,100	5,823	0,37
		Flowable (fließfähig)	60	4,815	11,474	

Tabelle 18b. Vergleich des prozentualen Anteils der Randqualitäten im Schmelz zwischen den Einflussgrößen. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem U-Test nach Mann und Whitney bzw. bei drei Gruppen der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.

FS	Qualität [%]		
	n	MW	ST p
<b>A: kontinuierlich</b>			
1	M	Einschicht Body.	10 69,4937 18,752
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 92,5045 11,001
3	M	Einschicht Flowable.	10 46,6983 28,977
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 37,1500 27,843
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10 70,0926 24,818
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10 46,5028 31,125
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 76,4796 26,817 <0,000005***
8	E	Einschicht Body.	10 68,1018 29,007
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 74,8610 19,474
10	E	Einschicht Flowable.	10 37,7843 39,786
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 31,6722 22,466
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal. Flowable-U.,	10 14,5836 17,212
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10 51,1832 33,833
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 66,4162 28,826

*Tabelle 19a. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität im Dentin. FS = Flaschen-System: M = Mehr- Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal u. Wallis.*

FS	Qualität [%]		
	n	MW	ST p
<b>B: Randunregelm.</b>			
1	M	Einschicht Body.	10 17,9542 16,786
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 3,9626 6,814
3	M	Einschicht Flowable.	10 28,4180 25,338
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 35,7205 22,322
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10 8,2966 8,630
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10 52,3992 31,513
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 23,2030 26,414 <0,000005***
8	E	Einschicht Body.	10 11,0369 9,975
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10 16,4383 14,153
10	E	Einschicht Flowable.	10 50,1134 32,877
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10 54,6433 22,791
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal. Flowable-U.,	10 64,0582 17,197
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10 35,0924 23,812
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10 26,5163 17,874

*Tabelle 19b. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität im Dentin. FS = Flaschen-System: M = Mehr- Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal u. Wallis.*

FS	n	Qualität [%]				
		MW	ST	p		
<b>C: Haarriss</b>						
1	M	Einschicht Body.	10	6,2574	8,6758	
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	1,9652	3,9895	
3	M	Einschicht Flowable.	10	12,1419	16,5648	
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	13,6842	11,3672	
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	8,5890	11,4711	
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10	0,7970	2,5202	
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	0,0000	0,0000	0,0044**
8	E	Einschicht Body.	10	8,2428	13,6457	
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	3,3563	3,9402	
10	E	Einschicht Flowable.	10	9,0157	12,8041	
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	6,6830	10,8626	
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal. Flowable-U.,	10	7,3832	5,5606	
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal. Flowable-U.,	10	5,6389	9,9344	
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	2,5199	5,1131	

*Tabelle 19c. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität im Dentin. FS = Flaschen-System: M = Mehr- Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal u. Wallis.*

FS	Qualität [%]					
	n	MW	ST	p		
<b>D: Mass. Randspalt</b>						
1	M	Einschicht Body.	10	6,2946	6,9198	
2	M	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	1,5678	2,8998	
3	M	Einschicht Flowable.	10	12,7419	21,8841	
4	M	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	13,4453	15,0427	
5	M	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	13,0218	24,0047	
6	M	2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	0,3011	0,5659	
7	M	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	0,3175	1,0039	0,00072***
8	E	Einschicht Body.	10	12,6185	14,5827	
9	E	Zwei Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	5,3444	6,2564	
10	E	Einschicht Flowable.	10	3,0866	6,0171	
11	E	3 Schichten Flowable, von apikal nach coronal.	10	7,0016	11,0315	
12	E	3 Schichten Flowable, von coronal nach apikal.	10	13,9749	13,2964	
13	E	2 Schichten Body, von apikal nach coronal.	10	8,0855	9,4103	
14	E	2 Schichten Body, von coronal nach apikal.	10	4,5476	11,2020	

*Tabelle 19d. Die 14 Füllungsverfahren und Randqualität im Dentin. FS = Flaschen-System: M = Mehr- Schritt-System, E = Ein-Schritt-System, Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen (zählt bei der Zahl der Schichten nicht mit). MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus der Rangvarianzanalyse nach Kruskal u. Wallis.*

Qualität		Anteil am Rand [%]			p	
		n	MW	ST		
A	Flaschensystem	Einflaschensystem	70	49,229	33,995	0,015*
		Mehrflaschensystem	70	62,703	30,222	
B	Flaschensystem	Einflaschensystem	70	36,843	27,452	0,0030**
		Mehrflaschensystem	70	24,279	25,703	
C	Flaschensystem	Einflaschensystem	70	6,120	9,411	0,41
		Mehrflaschensystem	70	6,205	10,440	
D	Flaschensystem	Einflaschensystem	70	7,808	10,910	0,067
		Mehrflaschensystem	70	6,813	14,422	
A	Schichtung	Einschicht	40	55,5195	32,026	0,68
		Mehrschicht	60	53,4773	34,283	
		Mehrsch./Flowable-U.	40	60,1454	31,500	
B	Schichtung	Einschicht	40	26,8806	26,6342	0,37
		Mehrschicht	60	30,5199	27,9298	
		Mehrsch./Flowable-U.	40	34,3027	26,9446	
C	Schichtung	Einschicht	40	8,91443	12,8877	0,00016****
		Mehrschicht	60	6,94349	9,0488	
		Mehrsch./Flowable-U.	40	2,23893	5,9226	
D	Schichtung	Einschicht	40	8,68539	14,0245	0,0054**
		Mehrschicht	60	9,05930	14,0637	
		Mehrsch./Flowable-U.	40	3,31292	7,7819	
A	Schichtung	Einschicht	40	55,520	32,026	0,88
		Mehrschicht	60	53,477	34,283	
B	Schichtung	Einschicht	40	26,881	26,634	0,52
		Mehrschicht	60	30,520	27,930	
C	Schichtung	Einschicht	40	8,914	12,888	0,76
		Mehrschicht	60	6,943	9,049	
D	Schichtung	Einschicht	40	8,685	14,025	0,90
		Mehrschicht	60	9,059	14,064	

*Tabelle 20a Vergleich des prozentualen Anteils der Randqualitäten im Dentin zwischen den Einflussgrößen. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem U-Test nach Mann und Whitney bzw. bei drei Gruppen der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

A	Reihenfolge	entfällt	40	55,5195	32,026	
		von apikal nach coronal	60	55,6456	32,553	0,94
		von coronal nach apikal	40	56,8930	34,547	
B	Reihenfolge	entfällt	40	26,8806	26,6342	
		von apikal nach coronal	60	33,0427	27,6664	0,49
		von coronal nach apikal	40	30,5185	27,4417	
C	Reihenfolge	entfällt	40	8,91443	12,8877	
		von apikal nach coronal	60	5,35408	8,7605	0,15
		von coronal nach apikal	40	4,62305	7,4924	
D	Reihenfolge	entfällt	40	8,68539	14,0245	
		von apikal nach coronal	60	5,95761	9,6488	0,50
		von coronal nach apikal	40	7,96545	15,3874	
A	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	55,646	32,553	0,79
		von coronal nach apikal	40	56,893	34,547	
B	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	33,043	27,666	0,67
		von coronal nach apikal	40	30,519	27,442	
C	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	5,354	8,761	0,93
		von coronal nach apikal	40	4,623	7,492	
D	Reihenfolge	von apikal nach coronal	60	5,958	9,649	0,82
		von coronal nach apikal	40	7,965	15,387	
A	Material	Body (modellierbar)	40	76,2403	22,085	
		Flowable (fließfähig)	60	39,6635	31,438	<0,000005***
		gemischt (Flowable-U.)	40	60,1454	31,500	
B	Material	Body (modellierbar)	40	12,3480	13,2569	
		Flowable (fließfähig)	60	40,2083	28,6786	<0,000005***
		gemischt (Flowable-U.)	40	34,3027	26,9446	
C	Material	Body (modellierbar)	40	4,95541	8,5878	
		Flowable (fließfähig)	60	9,58283	11,6530	0,00005***
		gemischt (Flowable-U.)	40	2,23893	5,9226	
D	Material	Body (modellierbar)	40	6,4563	9,3427	
		Flowable (fließfähig)	60	10,5454	16,2284	0,0044**
		gemischt (Flowable-U.)	40	3,3129	7,7819	
A	Material	Body (modellierbar)	40	76,240	22,085	<0,000005***
		Flowable (fließfähig)	60	39,663	31,438	
B	Material	Body (modellierbar)	40	12,348	13,257	<0,000005***
		Flowable (fließfähig)	60	40,208	28,679	
C	Material	Body (modellierbar)	40	4,955	8,588	0,081
		Flowable (fließfähig)	60	9,583	11,653	
D	Material	Body (modellierbar)	40	6,456	9,343	0,43
		Flowable (fließfähig)	60	10,545	16,228	

*Tabelle 20b Vergleich des prozentualen Anteils der Randqualitäten im Dentin zwischen den Einflussgrößen. Flowable-U = nach dem Adhäsiv wird als erste Schicht ein fließfähiges Komposit aufgetragen. MW = Mittelwert, ST = Standardabweichung, p aus dem U-Test nach Mann und Whitney bzw. bei drei Gruppen der Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis.*

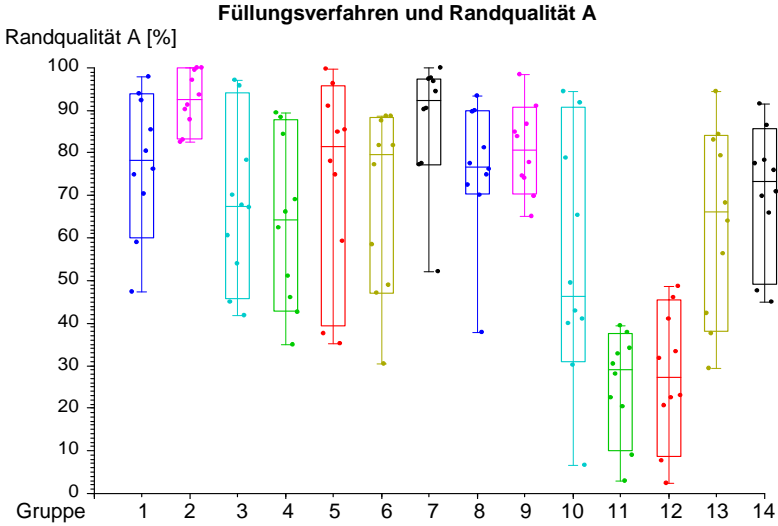


Abbildung 31. Prozentualer Anteil der Randqualität A am gesamten Füllungsrand, getrennt nach Füllungsverfahren. Boxplot: die Box stellt den Median mit dem 68%-CI des Medians dar, die Whiskers die Spanne. Die jeweils 10 Einzelmessungen sind als Punkte eingezeichnet.

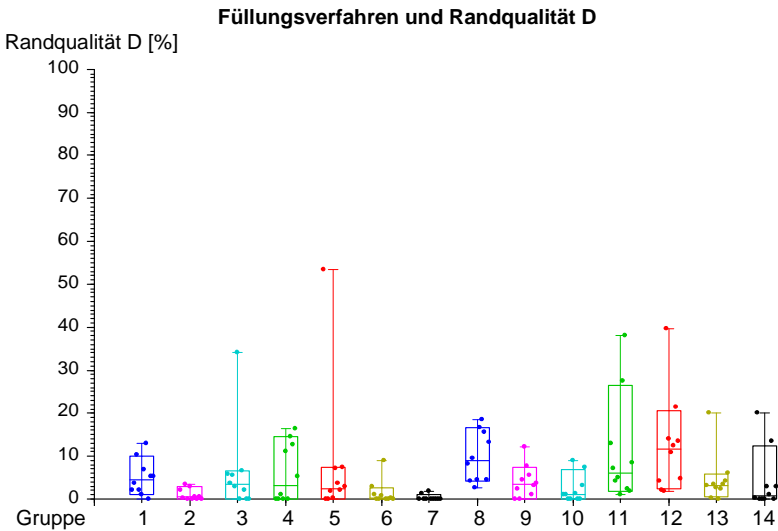


Abbildung 32. Prozentualer Anteil der Randqualität D am gesamten Füllungsrand, getrennt nach Füllungsverfahren. Boxplot: die Box stellt den Median mit dem 68%-CI des Medians dar, die Whiskers die Spanne. Die jeweils 10 Einzelmessungen sind als Punkte eingezeichnet.



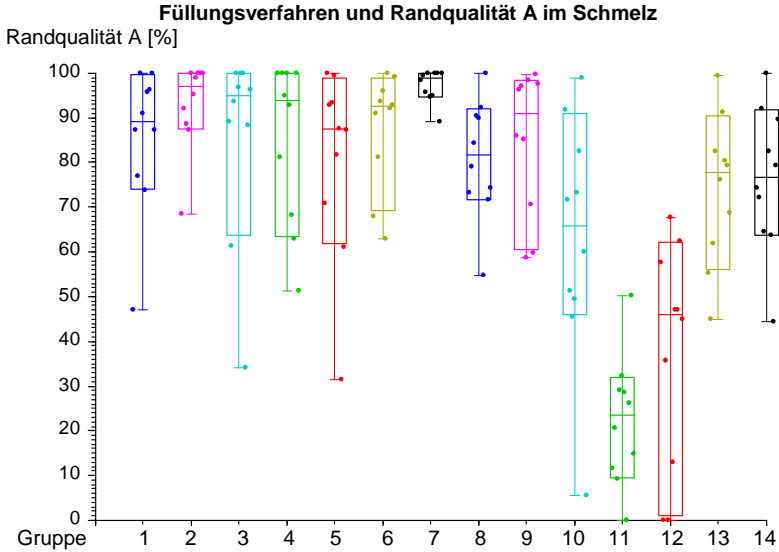


Abbildung 33. Prozentualer Anteil der der Randqualität A am Rand der Füllung im Schmelz, getrennt nach Füllungsverfahren. Boxplot: die Box stellt den Median mit dem 68%-CI des Medians dar, die Whiskers die Spanne. Die jeweils 10 Einzelmessungen sind als Punkte eingezeichnet.

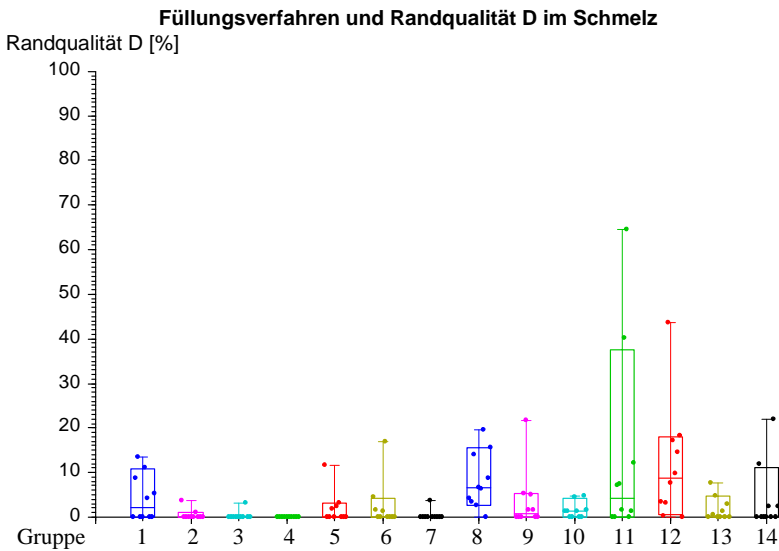


Abbildung 34. Prozentualer Anteil der der Randqualität D am Rand der Füllung im Schmelz, getrennt nach Füllungsverfahren. Boxplot: die Box stellt den Median mit dem 68%-CI des Medians dar, die Whiskers die Spanne. Die jeweils 10 Einzelmessungen sind als Punkte eingezeichnet.

**Füllungsverfahren und Randqualität A im Dentin**

Randqualität A [%]

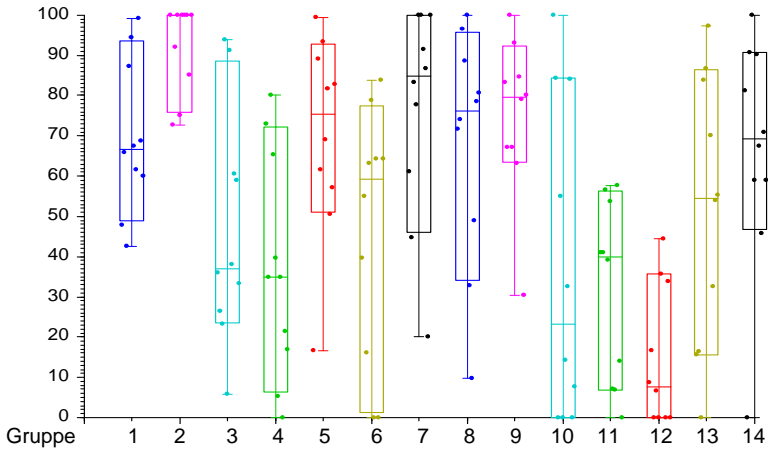


Abbildung 35. Prozentualer Anteil der Randqualität A am Rand der Füllung im Dentin, getrennt nach Füllungsverfahren. Boxplot: die Box stellt den Median mit dem 68%-CI des Medians dar, die Whiskers die Spanne. Die jeweils 10 Einzelmessungen sind als Punkte eingezeichnet.

**Füllungsverfahren und Randqualität D im Dentin**

Randqualität D [%]

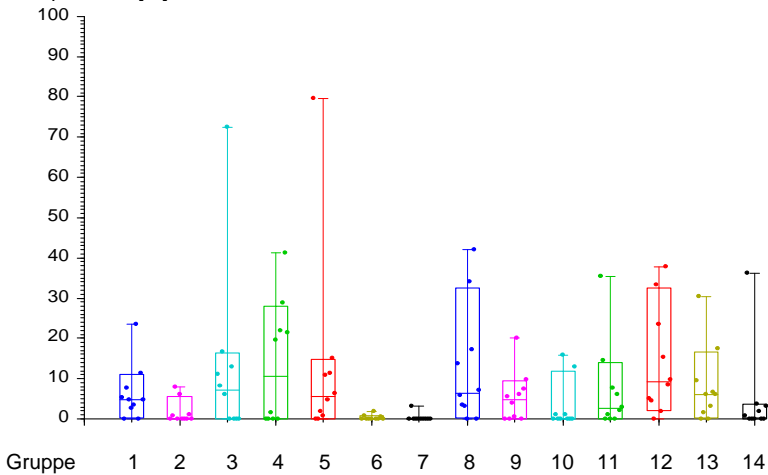


Abbildung 36. Prozentualer Anteil der Randqualität D am Rand der Füllung im Dentin, getrennt nach Füllungsverfahren. Boxplot: die Box stellt den Median mit dem 68%-CI des Medians dar, die Whiskers die Spanne. Die jeweils 10 Einzelmessungen sind als Punkte eingezeichnet.

## **Danksagung**

Herrn Prof. Dr. B. Klaiber danke ich für die freundliche Überlassung des Themas der Arbeit und ferner für die Übernahme des Referates.

Für die Übernahme des Koreferates danke ich Herrn Prof. Dr. Th. Holste ganz herzlich.

Mein ganz besonderer Dank geht an Frau Dr. S. Feierabend für die außergewöhnliche Betreuung dieser Arbeit.

Ein großes Lob und ein herzliches Dankeschön sind an Frau Dr. I. Haubitz gerichtet für die hilfreiche Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Untersuchungsergebnisse.

Für die geduldige Einführung am REM möchte ich mich bei den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der FMZ der Uni Würzburg ganz herzlich bedanken.

Den wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Uni Würzburg danke ich besonders für die hilfsbereite Unterstützung im Labor.

Ein großes Dankeschön allen, die mich während der Entstehungsphase dieser Dissertation durch hilfreiche Ideen und zugesprochenen Mut unterstützt und an mich geglaubt haben!

## **Lebenslauf**

### **Angaben zur Person**

Name: Tina Lydia Selbert

Geburtsdatum: 11. 04. 1981

Geburtsort: Bad Windsheim

Familienstand: ledig

### **Schulbildung**

1887-1991: Hermann-Delp-Grundschule, Bad Windsheim

1991-2000: Georg-Wilhelm-Steller-Gymnasium, Bad Windsheim

Abitur Sommer 2000

### **Studium**

Studium der Zahnmedizin an der Julius-Maximilian-Universität Würzburg

Immatrikulation: Herbst 2000, Universität Würzburg

Vorphysikum: Sommer 2001, Universität Würzburg

Physikum: Frühjahr 2003, Universität Würzburg

Examen:

Sommer 2005, Universität Würzburg

Approbation:

20. 12. 2005

**Zahnärztliche Tätigkeit**

01. 04.2006 – 31. 12. 2006:

Assistenz Zahnärztin

in der Gemeinschaftspraxis

Dres. T. Meyer, S. Eckardt, B. Höpfert, U. Krickel

in Bad Windsheim

01. 01. 2007 – 30. 03. 2010:

Assistenz Zahnärztin

in der Praxis Dr. G. Castelfranchi

in Würzburg

Seit 01. 04. 2010:

Angestellte Zahnärztin

in der Praxis Dr. G. Castelfranchi

in Würzburg