

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

**Randdichtheit und Randqualität von Kl. II-Füllungen aus einem Siloran  
bzw. konventionellen Kompositen unter Verwendung eines  
selbstkonditionierenden Dentinhaftvermittlers ohne vorherige Schmelz-  
oder Dentinätzung *in vitro*.**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde der  
Medizinischen Fakultät  
der  
Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Vorgelegt durch  
Katharina Gura, geb. Küstermann

Aus Röttingen

Würzburg, Oktober 2013

**Referent: Priv.-Doz. Dr. Norbert Hofmann**

**Korreferent: Prof. Dr. Alfred Renk**

**Dekan: Prof. Dr. Matthias Frosch**

**Tag der mündlichen Prüfung: 20. März 2014**

**Die Promovendin ist Zahnärztin.**

Nur für mich.



## Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1 Überblick Adhäsivtechnik .....	1
1.2 Vor- und Nachteile von <i>total-etch</i> und <i>self-etch</i> Adhäsivsystemen .....	4
1.3 Siloran .....	5
1.4 Problemstellung .....	8
<b>2 Material und Methode .....</b>	<b>9</b>
2.1 Vorbereiten der Testzähne .....	9
2.2 Kavitätenpräparation .....	9
2.3 Füllen der Testkavitäten .....	10
2.3.1 Vorbereitung der Testkavitäten .....	10
2.3.1.1 Gruppen A und B: AdheSE <sup>®</sup> und Tetric <sup>®</sup> EvoCeram mit/ohne EvoFlow .....	11
2.3.1.2 Gruppe C und D: Silorane System Adhesive und Siloran mit/ohne.....	11
2.3.1.3 Gruppe E und F: Clearfil SE Bond und Clearfil AP-X mit/ohne Clearfil Majesty Flowable.....	12
2.3.1.4 Gruppe G und H: Adper <sup>™</sup> Scotchbond <sup>™</sup> SE Self-Etch Adhesive und..	12
2.3.1.4 Filtek <sup>™</sup> Supreme XT mit/ohne Filtek <sup>™</sup> Supreme Flowable .....	12
2.3.2 Schichttechnik.....	13
2.3.3 Ausarbeitung der Restaurationen.....	15
2.4 Alterung der Proben .....	15
2.5 Beurteilung der Randqualität .....	15
2.5.1 Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop .....	16
2.5.1.1 Herstellung der Replika .....	16
2.5.1.2 Bewertungen der Randqualität.....	17
2.5.2 Farbstoffpenetrationstest mit Silbernitrat.....	20
2.5.2.1 Vorbereitung und Durchführung .....	20
2.5.2.2 Vorbereitung für die Auswertung .....	21
2.5.2.3 Bestimmung der Penetrationstiefen .....	21
2.6 Statistische Auswertung.....	22
<b>3 Ergebnisse .....</b>	<b>23</b>
3.1 Ergebnisse Rasterelektronenmikroskop .....	23
3.1.1 Okklusale Abschnitte .....	23
3.1.2 Axiale Abschnitte.....	27
3.1.3 Abschnitte zervikal im Dentin.....	31
3.1.4 Abschnitte zervikal im Schmelz .....	36
3.2 Ergebnisse Farbstoffpenetration .....	40
3.2.1 Okklusale Abschnitte .....	40
3.2.2 Abschnitte zervikal im Dentin.....	42
3.2.2 Abschnitte zervikal im Schmelz .....	43
<b>4 Diskussion.....</b>	<b>44</b>

<b>4.1 Bewertung der Methodik</b> .....	<b>44</b>
4.1.2 Praxisrelevanz von in vitro Studien.....	44
4.1.3 Herstellung, Alterung und Analyse der Proben .....	45
<b>4.2. Bewertung der Ergebnisse</b> .....	<b>47</b>
4.2.1 Einfluss der lining-Technik auf die Randqualität.....	47
4.2.2 Randqualität bei verschiedenen methacrylatbasierten Kompositen.....	48
4.2.3 Randqualität des Silorans.....	50
4.2.4 Total-etch-Technik versus self-etch Primer.....	53
4.2.5 Diskussion der Ergebnisse Unterschuss, Überschuss und Wasserblasen .....	54
<b>5 Zusammenfassung</b> .....	<b>58</b>
<b>6 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>60</b>
<b>7 Anhang</b> .....	
7.1 Materialverzeichnis .....	
<b>Danksagung</b> .....	
<b>Lebenslauf</b> .....	

## 1 Einleitung

Seit über 40 Jahren wurden die Eigenschaften der 1962 von Bowen eingeführten Komposite stetig überarbeitet. Abrasionsfestigkeit, Polierbarkeit und die Haftung an der Zahnhartsubstanz konnten verbessert werden, weshalb Komposite nicht mehr nur im Frontzahngelände, sondern universell eingesetzt werden. Die Lösung des Hauptproblems, die Polymerisationsschrumpfung, wurde bisher nur durch Variation der Füllkörper angegangen. Ein hoher Füllstoffgehalt im Komposit verringert einerseits die Schrumpfung, erhöht aber andererseits die Viskosität. Nanofüller besitzen zwar etwa die gleiche Größe wie Mikrofüller, weisen jedoch auf Grund quantenmechanischer Effekte keinen Verdickungseffekt auf und erhöhen daher die Viskosität des Endprodukts weniger stark als Mikrofüller (MANHART, 2006; BEUN et al., 2007). Es gelang, die Polymerisationsschrumpfung in nano-optimiertem Hybridkomposit auf unter 2% zu reduzieren (Grandio®, VOCO: 1,57 %).

Um die Polymerisationsschrumpfung weiter zu reduzieren oder ganz zu beseitigen, muss ein Weg gefunden werden, die räumliche Annäherung der Monomerbausteine während der Polymerisation zu kompensieren. Durch geringere Schrumpfung ließe sich die Schrumpfungsspannung im Zahn-Komposit-Verbund und damit die Gefahr von Mikroleakage, Zahnverformungen, Schmelzrisse, Randverfärbungen, spannungsinduzierter postoperativer Empfindlichkeit und Sekundärkaries verringern.

### 1.1 Überblick Adhäsivtechnik

Um trotz Schrumpfung eine spaltfreie Füllung zu erreichen, muss das Komposit fest in der Zahnhartsubstanz verankert werden. Nur so kann die Restauration dem Anspruch an mechanischer Festigkeit, biologische Verträglichkeit, Ästhetik und Langlebigkeit gerecht werden (PERDIGAO et al., 1994).

Im Schmelz reicht bereits die Konditionierung mit Phosphorsäure aus, um eine gute mikromechanische Verankerung zu erreichen (BUONOCORE, 1955; GWINNETT und MATSUI, 1967). Im Dentin hingegen erschweren viele Faktoren eine dauerhafte, stabile Haftung des Komposits an der Kavitätenwand. Zu nennen sind der hohe Gehalt organischer Bestandteile, die Flüssigkeit in den

Dentinkanälchen und die daraus resultierende Feuchtigkeit an der Oberfläche, sowie die „Schmierschicht“ nach der Kavitätenpräparation. (PASHLEY, 1989; GWINNETT et al., 1992; FRANKENBERGER et al., 1999). Dentin besteht zu 70 Gewichtsprozent aus Mineralien, zu 20 Gewichtsprozent aus organischer Matrix und zu 10 Gewichtsprozent aus Wasser, wohingegen Schmelz zu 93-98 Gewichtsprozent aus anorganischen Verbindungen besteht (SCHROEDER, 1987; HELLWIG et al., 2007). Der anorganische Teil besteht bei beiden hauptsächlich aus Kalzium und Phosphat, welche meist in Form von Hydroxylapatitkristallen vorliegen. Da das Dentin gemeinsam mit der Pulpa eine Einheit bildet, ist dieses im Gegensatz zum Schmelz ein vitales Gewebe, welches sich im Laufe des Lebens physiologischerweise verändert, aber auch auf äußere Einflüsse wie Abrasion oder Karies reagiert (Sekundär- bzw. Tertiärdentinbildung) (SCHROEDER, 1987).

Das Dentin wird von den Dentinkanälchen durchzogen, deren Durchmesser und Anzahl vom Alter und von der Entfernung zur Pulpa abhängt (PASHLEY, 1989). Darin enthalten sind neben den Odontoblastenfortsätzen noch Dentinliquor, Kollagenfibrillen und peritubuläre Dentinmatrix (SCHROEDER, 1987; HELLWIG et al., 2007). Werden die Dentinkanälchen eröffnet, fließt der Dentinliquor durch den Gewebsdruck heraus und benetzt so fortwährend den Kavitätenboden (CIUCCHI et al., 1995). Nach Kavitätenpräparation mit Handinstrument oder rotierenden Schleifkörpern ist das Dentin von einer ca. 0,5-15 µm dicken Schicht aus Hydroxylapatitteilchen, denaturiertem Kollagen, Speichelbestandteilen, Blutresten und Bakterien bedeckt (EICK et al., 1970; BOWEN et al., 1984; PASHLEY, 1988; PERDIGAO, 2010), der sogenannten „Schmierschicht“. Zwar wird die Dentinpermeabilität dadurch um bis zu 86% herabgesetzt, aber mikroskopisch kleine Poren in der Schmierschicht erlauben dennoch eine gewissen Diffusion von Dentinliquor (PASHLEY et al., 1978; PASHLEY, 1992).

Die Schmierschicht hat eine Schutzfunktion für die Pulpa, da sie das Eindringen von schädigenden Substanzen, etwa Bestandteile des Adhäsivsystems oder Bakterien, verringert oder sogar verhindert (VOJINOVIC et al., 1973; HELLWIG et al., 2007). Die frühen Dentinhaftervermittler modifizierten diese Schmierschicht ohne sie dabei zu entfernen. Die Zugfestigkeit dieses Komposit-Dentin-Verbundes war allerdings gering (HALLER, 1992).

Die sogenannten *etch-and-rinse* Systeme entfernen die Schmierschicht vollständig und demineralisieren die oberste Dentinschicht. Dies kann in einem Drei-Schritte-System (Ätzen+ Primen+Bonden) oder einem Zwei-Schritte-System (Ätzen + Primen/Bonden) geschehen (PERDIGAO, 2010). In das nun freigelegte Kollagenfasergeflecht und das partiell demineralisierte intertubuläre Dentin diffundiert der hydrophile Primer und ermöglicht so den amphiphilen Monomeren im Bonding, diese Schicht zu penetrieren. Es entsteht eine kunststoffdurchsetzte Dentinschicht, die sogenannte „Hybrid Layer“ (HALLER, 1994). Eine Überätzung des Dentins führt zur Herabsetzung der Haftvermittlung (HASHIMOTO et al., 2000a). Daher sollte die Säure zunächst auf den Schmelz und erst nach 15 Sekunden auf das Dentin aufgetragen werden. Nach weiteren 15 Sekunden sollte das Ätzgel dann abgesprayed werden, was die Schmierschicht vollständig entfernt. Zu starkes Trocknen nach dem Absprühen führt zum Kollabieren des Kollagenfasergeflechts und beeinträchtigt ebenfalls die Haftvermittlung (VAN MEERBEEK et al., 1992; SWIFT, 2002; HELLWIG et al., 2007).

Um die Fehleranfälligkeit zu reduzieren und die Benutzerfreundlichkeit zu erhöhen, wurden in den 90er Jahren die sogenannten *selbstätzenden Adhäsivsysteme* entwickelt (VAN DIJKEN et al., 2007). Diese Produkte enthalten Säuren oder saure Monomere, welche die Schmierschicht auflösen und das angrenzende Dentin demineralisieren (SKUPIEN et al., 2010). Die Schmierschicht kann teilweise repräzipieren und wird in die Hybridschicht eingebaut (HELLWIG et al., 2007). Die Dicke der Hybridschicht korreliert nicht direkt mit dem pH-Wert. Die Veränderungen in der Mikromorphologie des Dentins sind allerdings bei höherem Säuregehalt des selbstätzenden Bondingsystems bzw. bei vorheriger Phosphorsäureätzung stärker ausgeprägt (SKUPIEN et al., 2010). Signifikante Unterschiede in der Dicke der Hybridschicht abhängig von der Anwendung von *etch-and-rinse-* bzw. *self-etch-*Systemen wurden nachgewiesen (ELIGUZELOGLU et al., 2008). Es finden sich allerdings unterschiedliche Untersuchungsergebnisse darüber, ob die Dicke der Hybridschicht Einfluss auf die Festigkeit des Dentin-Komposit-Verbundes hat (DE OLIVEIRA et al., 2009; RAHAL et al., 2011; ANCHIETA et al., 2011).

## 1.2 Vor- und Nachteile von *total-etch* und *self-etch* Adhäsivsystemen

Ein gutes Dentinadhäsiv sollte folgende Kriterien erfüllen (PHILLIPS und RYGE, 1961; EICK et al., 1997):

1. Sofortige und anhaltende starke Haftung am Dentin
2. Ähnliche Haftkraft am Dentin wie am Schmelz
3. Bioverträglichkeit gegenüber Zahnhartsubstanz und Pulpa
4. Hohe Randsdichtigkeit
5. Verhinderung von Sekundärkaries und Randverfärbung
6. Benutzerfreundlich
7. Lange Lagerfähigkeit
8. Kompatibilität mit vielen Kompositen

Darüber hinaus sollten die Materialien natürlich weder dem Behandler noch dem Patient gegenüber Toxizität oder allergenes Potential aufweisen (EICK et al., 1997).

Milde selbstätzende Primer erzielen im Schmelz zum Teil ein weniger retentives Ätzmuster als Phosphorsäure, weshalb die Haftkraft dieser Systeme am Schmelz geringer ist. Es gibt aber auch deutlich aggressivere Primer, welche ein ähnliches Ätzmuster erzielen wie bei der *total-etch* Technik (PASHLEY und TAY, 2001).

Eine gewisse Zeit wurde angenommen, dass es bei den *self-etch* Systemen keine Diskrepanz in der Tiefe der Demineralisation und der Eindringtiefe der Monomere des Primers gebe, da Ätzen und Primen in einem Schritt vorgenommen wurde (TAY et al., 2000). Diese These wurde 2005 von (CARVALHO et al.) widerlegt. Vor allem bei milden Einflaschen- und Zweiflaschen-Systemen wurde häufig eine Zone von geätztem, aber nicht von Monomer durchsetzten Dentins nachgewiesen.

Die vollständige Infiltration des demineralisierten Dentins ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für anhaltende Dentinhaftung und optimale Randqualität. Bei Dentinkonditionierung mit Phosphorsäure in einem separaten Schritt ist dieses Kriterium fehleranfällig (HALLER, 1994; DÖRFER et al., 2000). Eine schadhafte Hybridschicht führt zum sogenannten „Nanoleakage“, bei dem Poren in der Hybridschicht bzw. zwischen intaktem Dentin und freigelegten Kollagenfasern ein Eindringen von Molekülen bis zu einer Größe von 50 nm zulassen (SANO et al., 1995a; SANO et al., 1995b; VAN MEERBEEK et al., 1998; PIOCH et al., 2001). Spaltbildung ist hier nicht zwangsläufig zu beobachten.

Dörfer et al. beschrieben, dass die klinische Relevanz von Nanoleakage noch nicht geklärt sei, aber dass ein Einfluss auf Randverfärbung, Sekundärkaries, postoperative Hypersensibilität oder gar Füllungsverlust, etwa durch enzymatische

Auflösung von Kollagenfasern, nicht ausgeschlossen werden könne (DÖRFER et al., 2000).

Diese Zonen unvollständig infiltrierten demineralisierten Dentins innerhalb der Hybridschicht setzen die Festigkeit des Dentin-Komposit-Verbundes signifikant herab (HASHIMOTO et al., 2000a).

Auch das Kollabieren des freigelegten Kollagenfasergeflechts durch zu starkes Trocknen nach Abspülen des Ätzens, was eine Verschlechterung der Dentinhaftung bewirken würde, kommt bei selbstkonditionierenden Primern nicht vor (HALLER, 1994).

In klinischen Studien konnte gezeigt werden, dass selbstkonditionierende Primer genauso gute Ergebnisse liefern können wie die *total-etch* Technik (PEUMANS et al., 2005; BEKES et al., 2007). Lediglich eine minimale, klinisch eher unrelevante Verbesserung der Randqualität konnte durch zusätzliche Phosphorsäureätzung der Schmelzanteile erzielt werden (PEUMANS et al., 2007; ERMIS et al., 2010; PEUMANS et al., 2010).

Weniger häufig auftretende postoperative Hypersensibilität bei Verwendung von selbstätzenden Adhäsivsystemen konnte bisher nicht nachgewiesen werden (PERDIGAO et al., 2003). Untersuchungen haben aber gezeigt, dass es in pulpanahen Bereichen sinnvoll ist, auf Phosphorsäureätzung zu verzichten und zum Schutz der Pulpa entweder eine Unterfüllung zu legen oder selbstätzende Dentinhaftvermittler zu verwenden (RATHKE et al., 2007).

### 1.3 Siloran

Eine gravierende Reduktion des Polymerisationsschrumpfs erreichten die Hersteller durch den Einsatz einer in der Zahnheilkunde vollkommen neuartigen, nicht-methacrylatbasierten Harzmatrix (GUGGENBERGER et al., 2007).

Bisher erfolgte die Polymerisation der Monomerbausteine, meist TEGDMA, UDMA oder Bis-GMA, über eine radikalische Additionsreaktion der Doppelbindungen, was einen erheblichen Volumenverlust zur Folge hat (ASMUSSEN und JORGENSEN, 1972).

Durch die Kombination des überaus hydrophoben *Siloxans* mit dem stark belastbaren Oxiran ergibt sich eine biokompatible und niedrigschrumpfende Basis für das Siloran (SCHWEIKL et al., 2004). Durch die Siloxan-Komponente wird das

Siloran im Vergleich zu methacrylatbasierten Kompositen stärker hydrophob und verringert damit die für die Langlebigkeit von Füllungen gefährliche Wasseraufnahme (WEINMANN et al., 2001).

Die Oxirankomponente ermöglicht die kationische Polymerisation, bei welcher der Ring des zyklischen Moleküls geöffnet wird. Durch die Ringöffnung wird die räumliche Annäherung der Monomere verringert und somit eine Polymerisationsschrumpfung von unter 1% ermöglicht (WEINMANN et al., 2005).

Die Polymerisation von herkömmlichen Kompositen und Siloran weisen offensichtliche Parallelen auf. Der Hauptunterschied allerdings besteht darin, dass beim Siloran anstelle von Radikalen Kationen als Initiatoren benötigt werden. Das Initiatorsystem für Siloran beinhaltet das gewohnte Kampferchinon als Photoinitiator. Daher können alle gewöhnlichen Lichtpolymerisationsgeräte benutzt werden. Zusätzlich sind ein Iodoniumsalz sowie einen Elektronendonator erforderlich (WEINMANN und ECKHARDT, 2000). Ein Verhältnis von Kampferchinon:Iodoniumsalz:Elektronendonator von exakt 2,1:0,85:0,05 sorgt für ein reaktionsfähiges Komposit mit einer Verarbeitungszeit von mehr als zehn Minuten bei Umgebungslicht. Abweichungen von diesem Verhältnis führen zu deutlich unterschiedlicher Reaktivität und Lichtstabilität (WEINMANN et al., 2005).

Die Reduktion des Schrumpfs sollte konsequenterweise eine Verringerung der Spannung während der Polymerisation nach sich ziehen. Studien zeigten bereits, dass Siloran-Komposit sowohl direkt nach der Polymerisation als auch 24 Stunden später eine signifikant niedrigere Polymerisationsspannung aufweisen als bewährte Komposite (ERNST et al., 2004b). Untersuchungen mit dem Quecksilberdilatometer ergaben ebenfalls, dass Silorane im Vergleich zu Kompositen mit radikalischer Polymerisation (QuixFil, Filtek™ Z250) den niedrigsten Schrumpf erzielen (RACKELMANN et al., 2006). Folglich ist auch die Höckerdeformation geringer als bei methacrylatbasierten Kompositen, wenngleich die Unterschiede je nach Vergleichsmaterial nicht signifikant sind (PALIN et al., 2005; LAUGHLIN und SAKAGUCHI, 2005; BOUILLAGUET et al., 2006).

Die kationische Polymerisation von Siloran erfordert ein neues Adhäsivsystem, da es mit den herkömmlichen, methacrylatbasierten Bondingsystemen nicht

kompatibel ist (DUARTE et al., 2009). Studien zeigten bereits, dass die Haftung des Filtek™ Siloran Komposits unter Verwendung des zugehörigen Adhäsivsystems (Filtek™ Siloran-System Adhäsiv) sowohl im Schmelz als auch im Dentin und nach künstlicher Alterung der von klinisch bewährtem Komposit entspricht (YAPP und POWERS, 2007; FISCHER und STAWARCZYK, 2008; DUARTE et al., 2009).

Untersuchungen der Randintegrität unter dem Rasterelektronenmikroskop zeigten signifikant höhere Anteile durchgehender Ränder als bei methacrylatbasiertem Komposit, sowohl vor als auch nach Belastung durch Kausimulation (KAPPLER et al., 2007). Farbstoffpenetrationstests zeigten selbst nach Thermocycling deutlich geringere Penetrationstiefen als klinisch erfolgreiche Komposite (PALIN et al., 2005; AL-BONI und RAJA, 2010).

Die physikalischen Eigenschaften E-Modul und Druck- und Biegefestigkeit von Filtek™ Siloran entsprechen denen des klinisch erfolgreichen Tetric®Ceram (WEINMANN et al., 2005).

#### 1.4 Problemstellung

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Randdichtigkeit und die Randqualität von Klasse-II-Füllungen aus Siloran bzw. klinisch bereits erfolgreichen methacrylatbasierten Kompositen zu untersuchen. Außer bei der Kontrollgruppe wurden die von den Herstellern empfohlenen selbststützenden Adhäsivsysteme ohne zusätzliche Schmelz- oder Dentinätzung angewandt. Zur Beurteilung der marginalen Integrität wurde ein Farbstoffpenetrationstest durchgeführt und die Ränder unter dem Rasterelektronenmikroskop überprüft. Es ergab sich folgende Fragestellung:

- Hat die *lining*-Technik bei den verarbeiteten Kompositen Einfluss auf die Randqualität?
- Gibt es Unterschiede in der Randqualität bei den methacrylatbasierten Kompositen?
- Hat das Siloran positiven Einfluss auf die Randqualität?
- Bringt die *total-etch* Technik bessere Randqualität als selbststützende Adhäsivsysteme?

## **2 Material und Methode**

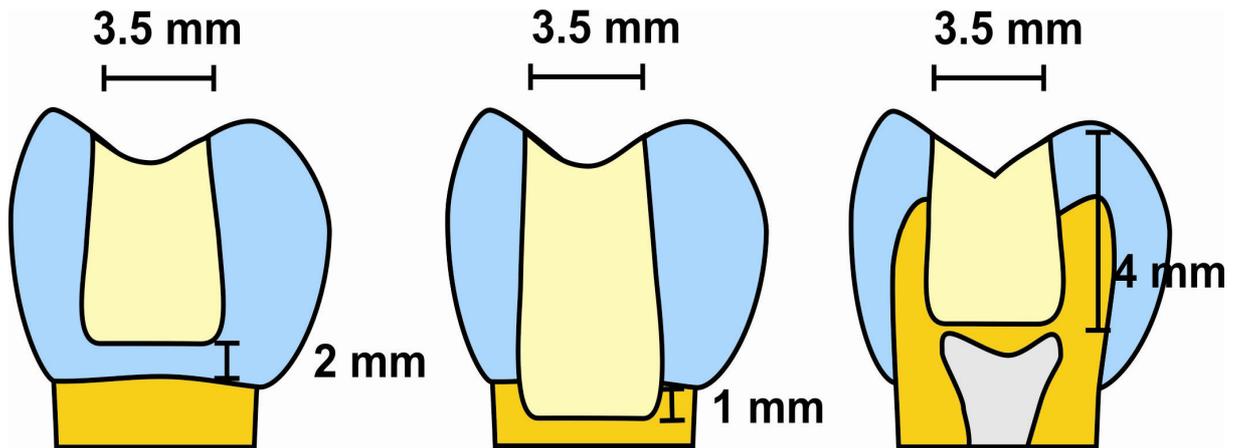
### **2.1 Vorbereiten der Testzähne**

Für die Testreihen wurden ausschließlich unversehrte, kariesfreie menschliche dritte Molaren mit teilweise oder vollständig abgeschlossenem Wurzelwachstum verwendet, die von der Extraktion bis zur Präparation in 1%iger Chloramin-T-Lösung gelagert wurden (HALLER et al., 1993a). Die Zähne wurden mit einem Scaler von Zahnstein und Geweberesten befreit und mit Hilfe einer Teflonform mit 14mm Innendurchmesser senkrecht in Autopolymerisat (Paladur, Heraeus Kulzer) eingebettet. Dazu wurden die Teflonzylinder zu ca. 80% mit flüssigem Autopolymerisat gefüllt und die Zahnwurzel mittig bis ca. 2mm unterhalb der Schmelz-Zement- Grenze darin versenkt.

Anschließend wurden sie in mesio-distaler Richtung vermessen und so der Größe nach sortiert. Es folgte die Einteilung in zehn Versuchsgruppen mit vergleichbarer Verteilung an Zahntypen und Zahngrößen, d.h. alle Gruppen bestehen aus drei Unterkiefer- und sieben Oberkiefermolaren und jeweils der gleichen Anzahl an größeren und kleineren Testzähnen.

### **2.2 Kavitätenpräparation**

Zur Präparation der Klasse-II-Kavitäten standen birnenförmige Grob- und Feinkorndiamanten, sowie eine Bevelshapefeile zur Verfügung. Unter kontinuierlicher Spraykühlung (ca. 50 ml/min) wurden mit einem Rotring-Winkelstück (KaVo) MOD-Kavitäten mit einem okklusalen Kasten von 4 mm Tiefe und 3,5 mm Breite in bukkal-oraler Richtung präpariert. Die approximalen Kästen waren ebenfalls 3,5 mm breit. Ein approximaler Kasten ging zervikal bis ca. 1 mm unter die Schmelz-Zement-Grenze, der andere endete ca. 2 mm oberhalb. In letzterem Fall lag je nach Höhe der Schmelz-Zement-Grenze die approximale Stufe nur wenig tiefer als der okklusale Kasten oder sogar auf gleicher Höhe. Nach dem Finieren mit dem Rotringdiamanten wurden die approximalen Kästen, bis auf den zervikalen Anteil im Zement, mit der Bevelshapefeile ca. 1 mm breit angeschrägt. Bis zum Füllen wurden die präparierten Zähne in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt, wobei bis dahin maximal eine Woche Zeit verstreichen durfte.



**Abbildung 1:** Links und Mitte: Aufsicht auf die Approximalfläche, rechts: Schnitt in bukkolingualer Richtung

### 2.3 Füllen der Testkavitäten

Die Kavitäten wurden entsprechend der Versuchsgruppen mit vier verschiedenen Kompositen, entweder mit und ohne Verwendung von fließfähigem Komposit, gefüllt. Dabei wurde für jedes Komposit der laut Hersteller passende selbstätzende Primer verwendet. Die Aushärtung des Bondings und der einzelnen Schichten erfolgte mit einem LED Lichtpolymerisationsgerät (Strahlungsflussdichte  $1250 \text{ mW/cm}^2$ ; Elipar Freelight 2, 3M ESPE).

#### 2.3.1 Vorbereitung der Testkavitäten

Die Zähne wurden zum Füllen in eine Vorrichtung eingesetzt, in der durch zwei justierbare Nachbarzähne aus Kunststoff praxisnah die Approximalkontaktsituation simuliert werden kann. Die Höhe der Testzähne und die Position der Nachbarzähne konnte für jeden Zahn individuell angepasst werden. Für die korrekte Gestaltung der approximalen Restaurationsflächen wurden transparente Segmentmatrizen (Hawe Adapt Sectional Matrix, Kerr) verwendet, die mit Holzkeilen und provisorischem, lichthärtenden Füllungsmaterial (Systemp Onlay, Vivadent) fixiert wurden.

Eventuell verbliebene Kochsalzlösungsreste wurden anschließend mit Hilfe eines chirurgischen Saugers und einer Ätzelkanüle gezielt abgesaugt.

In die so getrocknete Kavität wurden die zu untersuchenden Bondingsysteme entsprechend den Herstellerangaben eingearbeitet.

### **2.3.1.1 Gruppen A und B: AdheSE® und Tetric® EvoCeram mit/ohne EvoFlow**

Der selbstkonditionierende Primer des Adhäsivsystems AdheSE® (Ivoclar Vivadent) wurde mit Hilfe eines Einmal-Applikators für 30 Sekunden in die Kavität eingebürstet und anschließend mit sanftem Luftstrom verblasen, bis kein beweglicher Flüssigkeitsfilm mehr zu sehen war. Eventuell entstandene Pfützen wurden abgesaugt. Mit einem weiteren Einmal-Applikator wurde das Bonding-Agent auf die Wände aufgetragen, ausgestrichen und Überschüsse mit einem trockenen Applikator entfernt. Im Anschluss wurden die mesiale und die distale Kavitätenhälfte jeweils 10 Sekunden ausgehärtet. Gruppe A wurde dann nach der in 2.3.2 beschriebenen Schichttechnik mit Tetric® EvoCeram gefüllt, wobei zunächst etwas Tetric® EvoFlow in den Kavitäten verstrichen und polymerisiert wurde. In Gruppe B wurde ohne fließfähiges Komposit gearbeitet.

### **2.3.1.2 Gruppe C und D: Silorane System Adhesive und Siloran mit/ohne Filtek™ Supreme XT Flowable**

Nach kräftigem Schütteln der Fläschchen wurde ein Tropfen des zum Siloran gehörigen *self-etch*-Primer (3M ESPE) direkt auf ein Einmal-Bürstchen gegeben. Das Material wurde 15 Sekunden lang in die Dentin- und Schmelzanteile der Kavität einmassiert und vorsichtig verblasen. Da bei diesem System auch der Primer ausgehärtet werden muss, wurden die Kavitätenhälften wieder jeweils 10 Sekunden polymerisiert.

Anschließend wurde das Bonding ebenfalls auf einen Einmal-Applikator aufgetropft, in die Kavität aufgetragen, gleichmäßig verblasen und zwei mal 10 Sekunden ausgehärtet. Nach der vorgegebenen Schichttechnik wurden die Kavitäten gefüllt. In Gruppe C wurde für die Lining-Technik Filtek™ Supreme XT Flowable verwendet.

### **2.3.1.3 Gruppe E und F: Clearfil SE Bond und Clearfil AP-X mit/ohne Clearfil Majesty Flowable**

Der Primer des Bondingsystems passend zum Komposit Clearfil AP-X (Kuraray Medical Inc.) wurde ebenfalls direkt auf einen Einmal-Applikator aufgetropft und auf die Kavitätswände aufgetragen. Nach einer Wartezeit von 20 Sekunden wurden der Film verblasen und Überschüsse abgesaugt. Wie gewohnt wurde das Bonding aufgetragen, verblasen, eventuelle Pfützen mit dem Sauger entfernt und anschließend zwei mal jeweils 10 Sekunden polymerisiert.

### **2.3.1.4 Gruppe G und H: Adper™ Scotchbond™ SE Self-Etch Adhesive und Filtek™ Supreme XT mit/ohne Filtek™ Supreme Flowable**

Die Handhabung des Scotchbond SE (3M ESPE) unterscheidet sich von den anderen Adhäsivsystemen insofern, als ein Farbumschlag des Materials anzeigt, wenn alle mit Primer bedeckten Areale mit Bonding benetzt wurden.

Nach dem Schütteln der Flaschen wurde ein Tropfen des pinken Primers auf einen Einmal-Applikator gegeben und in die Kavitätswände einmassiert. Diese färbten sich leicht rosa, wodurch eine vollständige Bedeckung der Kavität mit dem Material sichergestellt war. Pfützen wurden abgesaugt. Anschließend wurde das gelbliche Bonding 20 Sekunden aufgetragen, wobei der rosa Farbton verschwand. Laut Herstellerangaben zeigt der Farbumschlag neben der vollständigen Benetzung auch die Aktivierung der Säure und den Beginn des Ätzvorgangs. Nachdem Überschüsse wiederum verblasen und abgesaugt wurden, folgte die Lichthärtung für 10 Sekunden je Kavitätshälfte.

### **2.3.1.5. Gruppe I und K: Adper™ Scotchbond 1 XT Adhäsiv und Filtek™ Supreme XT mit/ohne Filtek™ Supreme XT Flowable**

Als Kontrollgruppen wurde abschließend noch ein Material verarbeitet, welches separates Ätzen erfordert.

Entsprechend der Total-Etch-Technik wurde das 35%ige Phosphorsäureätzgel für insgesamt 30 Sekunden auf die Schmelzanteile der Kavität und für 15 Sekunden auf die Dentinanteile aufgetragen und anschließend 20 Sekunden lang mit Wasser

abgesprayed. Mit Hilfe eines chirurgischen Saugers und aufgesteckter Ätzgelkanüle wurde die Kavität trocken gesaugt. Mit einem Einmal-Applikator wurde das Adhäsiv 20 Sekunden lang auf den Kavitätenwänden verteilt, Überschüsse abgesaugt und 10 Sekunden je Kavitätenhälfte lichtgehärtet. Zusätzlicher Primer ist nicht nötig. Das Füllen der Kavitäten erfolgte nach der gewohnten Schichttechnik mit Filtek™ Supreme XT und in Gruppe I zusätzlich mit Filtek™ Supreme XT Flowable.

### **2.3.2 Schichttechnik**

Zwischen den restlichen Arbeitsschritten wurden alle Komponenten des Füllungsmaterials im Kühlschrank aufbewahrt, die Verarbeitung erfolgte jedoch stets bei Zimmertemperatur.

In den ungeraden Versuchsgruppen wurde mit der „Lining-Technik“ gearbeitet. Eine kleine Menge fließfähigen Komposits (Flowable) wurde direkt in die Kavität gegeben und mit der Sondenspitze möglichst gleichmäßig auf den Kavitätenboden und die Übergangsbereiche der Anströmung zur Kunststoffmatrize verstrichen und 20 Sekunden ausgehärtet.

Die erste horizontale Schicht Komposit gleicht die Höhe des tiefen approximalen Kastens auf das Niveau des okklusalen Kastens an. Mit der zweiten horizontalen, etwa 2 mm dicken, Schicht wird der komplette Boden der Kavität von mesial nach distal beschickt. Die mesiale und distale Randleiste wurde jeweils aus zwei diagonalen Schichten modelliert, zunächst der Anteil der Scher-, dann der Anteil der Stützhöcker. So wurde aus der Klasse-II-Kavität eine Klasse-I-Kavität. Mit den letzten beiden, ebenfalls diagonalen Schichten wurde der okklusale Kasten modelliert, und zwar zuerst die Bereiche der Scherhöcker und als letzte Schicht die Anteile der Stützhöcker. Zwischen jeder der insgesamt 8 Schichten wurde 20 Sekunden polymerisiert.

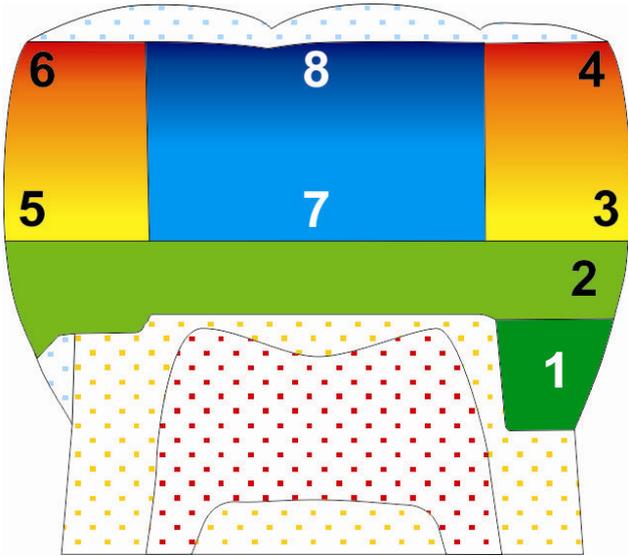


Abbildung 2: Schichttechnik: Schnitt in mesio-distaler Richtung

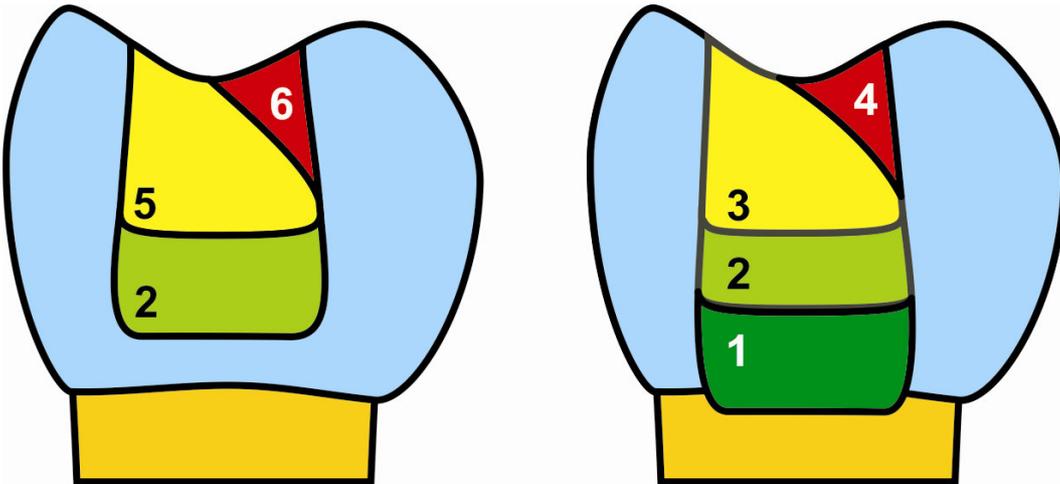


Abbildung 3: Schichttechnik: Aufsicht auf die Approximalfläche

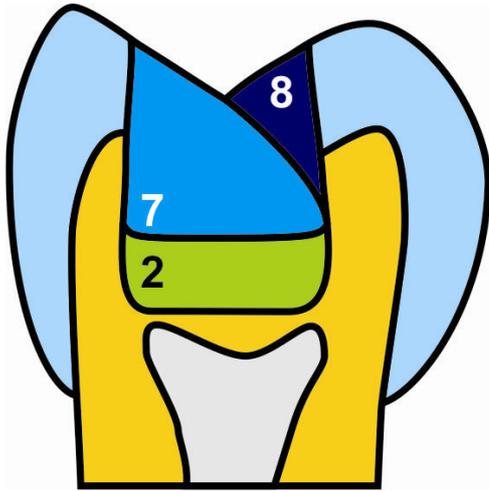


Abbildung 4: Schichttechnik: Schnitt in bucco-lingualer Richtung

### 2.3.3 Ausarbeitung der Restaurationen

Zum Ausarbeiten wurden die Testzähne aus der Apparatur zur Nachbarzahnsimulation herausgenommen. Mit einem Scaler wurden eventuell entstandene grobe Überschüsse entfernt. Anschließend wurden die Ränder mit Hilfe von braunen (Nr. 9608204030, Komet) und grünen (Nr. 9618204030, Komet) Silikonspitzen unter Wasserkühlung ausgearbeitet und poliert.

### 2.4 Alterung der Proben

Um die natürlichen Alterungsprozesse im Mund des Patienten nachzuahmen, wurden die Proben nach der Restauration für insgesamt 28 Tage im Wärmeschrank bei 37 Grad Celsius in physiologischer Kochsalzlösung gelagert. Nach 14 Tagen wurden sie einer Temperaturwechselbelastung unterzogen. Für 2500 Zyklen wurden die Proben abwechselnd für jeweils 30 Sekunden in ein 55 Grad warmes und ein 5 Grad kaltes Wasserbad getaucht. Die Behälter waren mit entmineralisiertem Wasser gefüllt. Im Anschluss an das Thermocycling wurden die Proben wieder für 14 Tage in Kochsalzlösung im Wärmeschrank gelagert.

### 2.5 Beurteilung der Randqualität

Nach dem Alterungsprozess galt es, die marginale Integrität mit Hilfe eines Rasterelektronenmikroskops und eines Farbstoffpenetrationstests zu untersuchen.

### **2.5.1 Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop**

Um festzustellen ob es Unterschiede in der Randadaption bei den untersuchten Kompositen gibt, mussten die Proben unter einem Rasterelektronenmikroskop (REM) analysiert werden. Hierfür war es notwendig, dimensionsgetreue Replika der Restaurationen herzustellen, da die Testzähne aufgrund der Gefahr der Artefaktbildung unter Hochvakuum im REM nicht verwendet werden konnten und bei der Auswertung des Farbstoffpenetrationstest zwangsläufig zerstört werden.

#### **2.5.1.1 Herstellung der Replika**

Direkt nach dem insgesamt 30tägigen Alterungsprozess wurden die Replika hergestellt. Die in physiologischer Kochsalzlösung gelagerten Zähne wurden mit destilliertem Wasser abgespült, mit einer Zahnbürste von eventuell anhaftendem Biofilm gereinigt und vorsichtig mit Luft getrocknet.

Von jeder Restauration wurde mit einem dünnfließenden, additionsvernetzten Silikon (Honigum, Fa. DGM) drei Teilabdrücke gefertigt, je einer von mesial, okklusal und distal. Eine kleine Portion Silikon wurde auf der abzuformenden Oberfläche vorsichtig verblasen und im Anschluss von einer zweiten, größeren Portion überdeckt. Zur späteren Zuordnung wurden in die noch feuchten Silikonabdrücke Klebeetiketten mit Gruppe und Zahnnummer gedrückt.

Die Abdrücke wurden auf Blasen und Verunreinigungen untersucht und falls einwandfrei mit Epoxydharz ausgegossen. Das Harz und der dazugehörige Härter wurden im Gewichtsverhältnis 5:1 abgewogen und zu einer möglichst blasenfreien, homogenen Masse verrührt. Die Abdrücke wurden mit 96% Alkohol und Einmal-Applikatoren gereinigt und in einer flachen, mit Sand gefüllten Schale ausgelegt. Tropfenweise wurde der Kunstharz eingebracht um ein blasenfreies Ausfließen zu ermöglichen. Anschließend härteten die Replika 24 Stunden im Wärmeschrank bei 38° Celsius aus.

Die Unterseite der visuell auf Blasen und Verunreinigungen untersuchten Replika wurde manuell so weit wie möglich plan geschliffen, mit Graphitkleber (Planocarbon, Plano GmbH) auf eine REM-Träger aufgeklebt und im Sputtergerät (K550, Emitech) mit Gold bedampft.

### **2.5.1.2 Bewertungen der Randqualität**

Unter dem Rasterelektronenmikroskop wurde der gesamte Restaurationsrand bei 100-1000facher Vergrößerung untersucht und fotografiert. Dabei wurde unterschieden, ob sich ein Randabschnitt okklusal, approximal, im Schmelz oder im Dentin befindet. Mit Hilfe des Vermessungsprogramms RaEM wurden die Bilder des Restaurationsrandes per Mausklick „abgelaufen“ und nach folgenden Kriterien beurteilt:

A: kontinuierlicher Rand (Abbildung 5)

B: Randspalt (  
Abbildung 6)

C: Kontinuierlicher Rand mit Wasserblasen (nur im Dentin, Abbildung 7)

D: Unterschuss ( Abbildung 8)

E: Überschuss (Abbildung 9)

F: nicht auswertbar

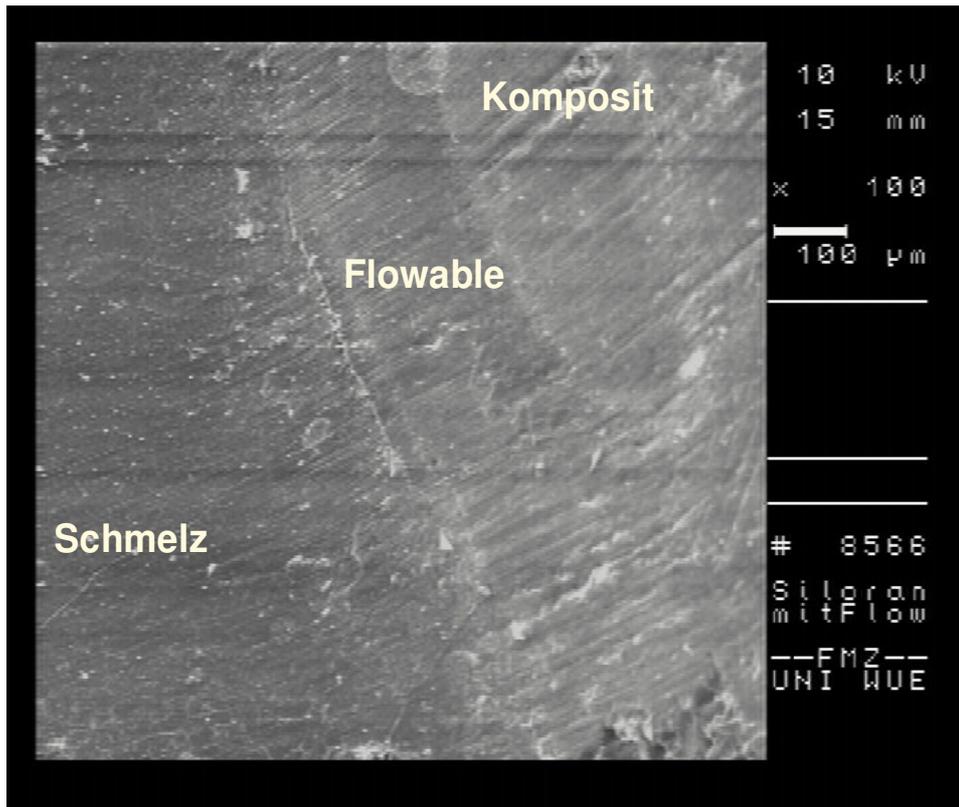


Abbildung 5: Kriterium kontinuierlicher Rand

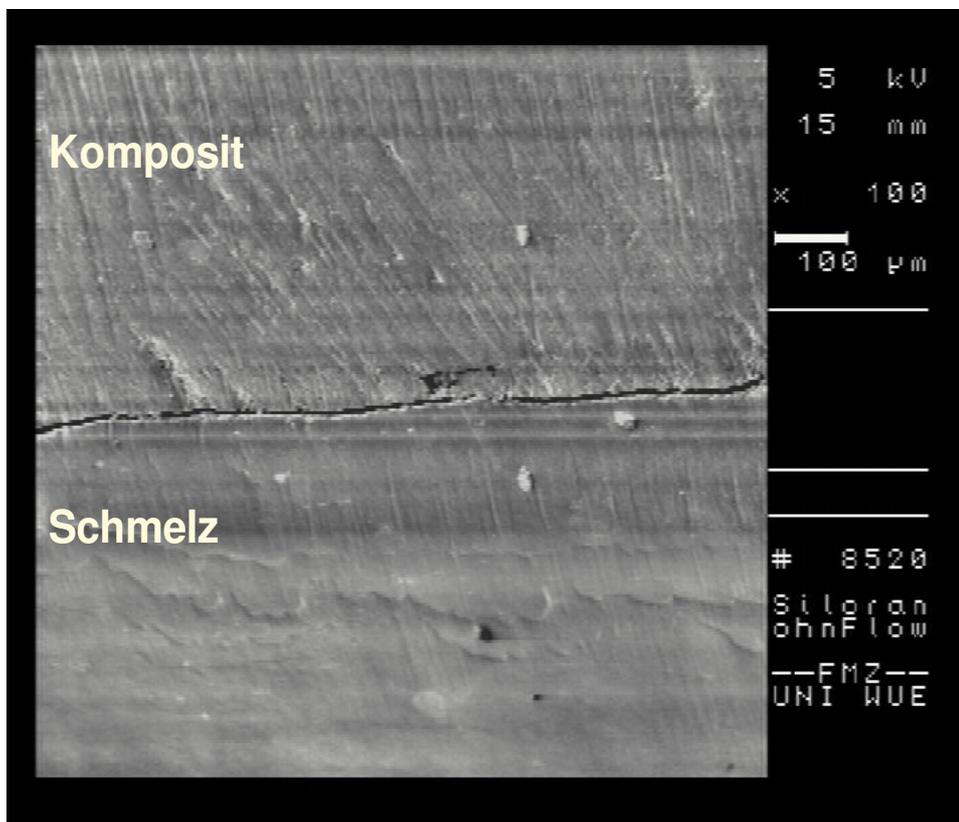


Abbildung 6: Kriterium Spalt

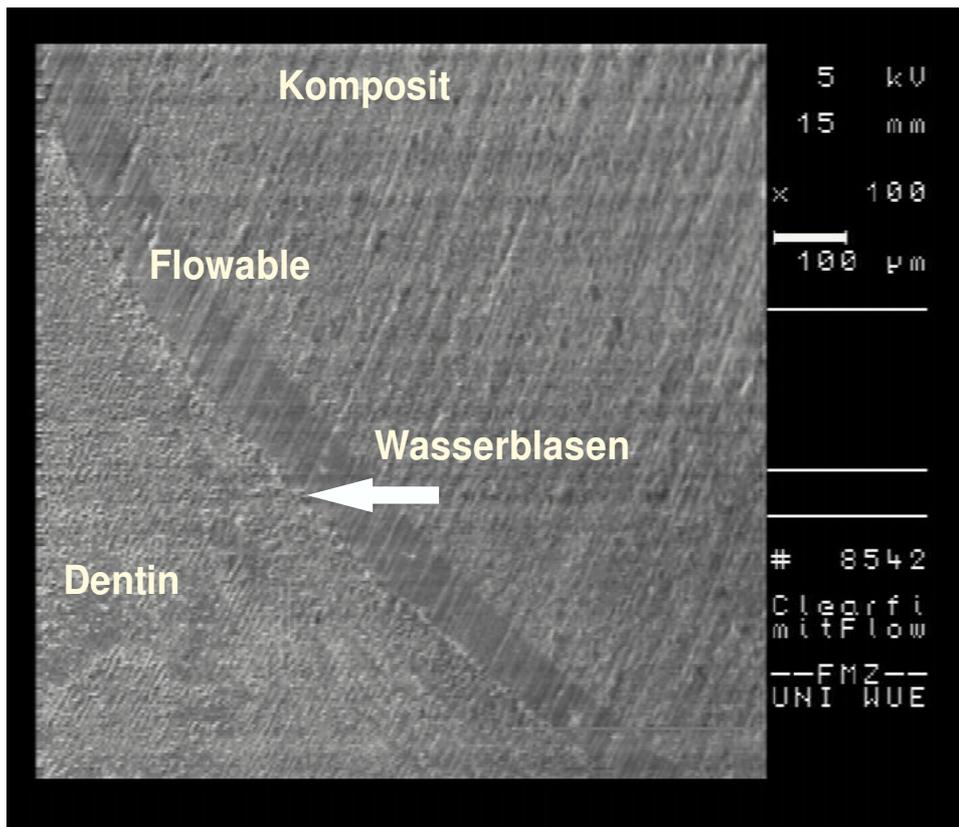


Abbildung 7: Kontinuierlicher Rand mit Wasserblasen

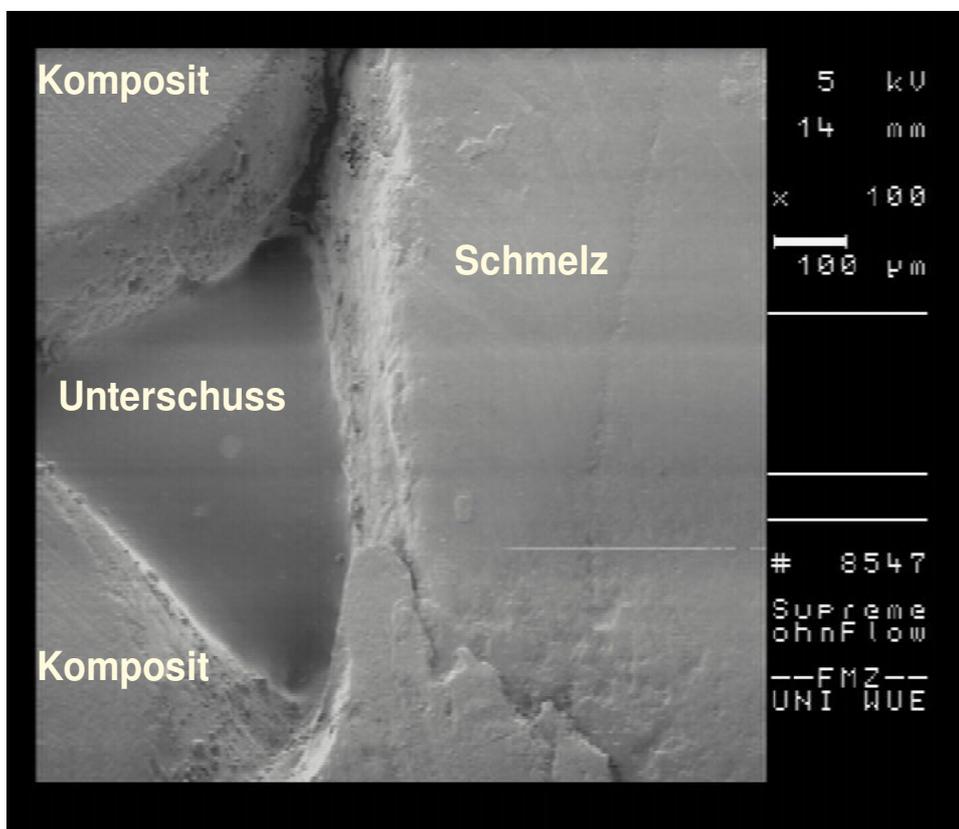


Abbildung 8: Beispiel Unterchuss

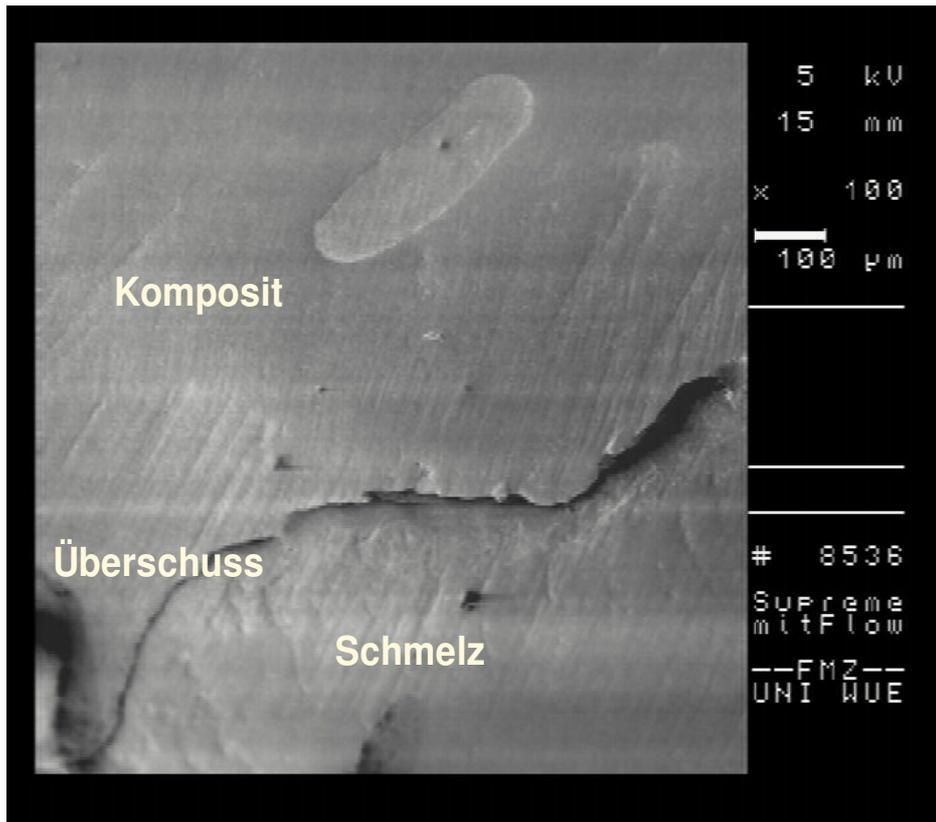


Abbildung 9: Beispiel Überschuss

## 2.5.2 Farbstoffpenetrationstest mit Silbernitrat

Zur Überprüfung der Randdichtheit wurden die Zähne im Anschluss an die künstliche Alterung und nach Herstellung der Abdrücke für die Replika einem Farbstoffpenetrationstest unterzogen.

### 2.5.2.1 Vorbereitung und Durchführung

Nach der Abdrucknahme wurden die Zähne abermals mit 80%igem Ethanol gereinigt und getrocknet. Um zu verhindern, dass Silbernitrat an Schmelzsprüngen oder anderen Defekten in die Zahnhartsubstanz diffundiert, wurde dieser bis auf einen ein Millimeter breiten Streifen um die Restauration herum mit handelsüblichem Nagellack bestrichen. Nach vollständiger Trocknung wurden die Zähne für 2 Stunden bei 37°C und Dunkelheit in eine 50 Gew.-% AgNO<sub>3</sub>-Lösung eingelegt.

Anschließend wurden die Proben mit destilliertem Wasser gereinigt und in eine Lösung aus entmineralisiertem Wasser und Röntgenfilmentwickler (Periomat Intra, Dürr Dental) im Verhältnis 1:1 für 6 Stunden auf einem Diabetrachter belichtet. Das Silbernitrat wurde so fixiert und konnte nicht mehr ausgewaschen werden.

Um eine Austrocknung zu verhindern wurden die Zähne bis zur Weiterverarbeitung in destilliertem Wasser gelagert.

### **2.5.2.2 Vorbereitung für die Auswertung**

Um die Penetrationstiefe zu bestimmen, wurden die Kronen der Testzähne mit zwei Sägeschnitten in vier Teile geteilt. Mit Hilfe des Sockels wurden die Proben in der Halterung einer Trennschleifmaschine (WOCO 50/Med, Conrad) fixiert und mit einer diamantierten Trennscheibe (WOCO 93/6, Conrad) unter Wasserkühlung durchtrennt. Der erste Schnitt teilte die Krone mittig in der Restauration in eine bukkale und eine orale Hälfte. Die Proben wurden darauf um 90° gedreht, um mit einem zweiten Schnitt in bucco-oraler Richtung die Kronen in vier Teile zu teilen. Es entstanden demnach auf jedem Viertel ein zervikaler und ein okklusaler Randquerschnitt und somit insgesamt acht auszuwertende Stellen pro Probenzahn.

### **2.5.2.3 Bestimmung der Penetrationstiefen**

Zur Bestimmung der Penetrationstiefe wurden die Schnittflächen mit Hilfe eines Auflichtmikroskops mit eingebauter Digitalkamera (Leica EZ4D, Leica Microsystems) fotografiert. Die Eindringtiefe wurde mit einer Bildverarbeitungssoftware (Sigmaplot Pro 5.0, SPSS) vermessen. Bestimmt wurde die Eindringtiefe an den zervikalen Rändern im Schmelz sowie im Dentin entlang des Bodens der Kavität und an den okklusalen Rändern entlang der Kavitätenwände. Eine eventuelle Farbstoffpenetration entlang der Dentinkanälchen in Richtung Pulpa blieb aufgrund der unterschiedlichen Dentindurchlässigkeit unberücksichtigt. Als Farbstoffpenetrationstiefe okkusal wurde der Mittelwert der vier Messungen an den okklusalen Rändern, als Penetrationstiefen zervikal im Schmelz bzw. zervikal im Dentin die Mittelwerte der je zwei Messungen an den entsprechenden Rändern berechnet.

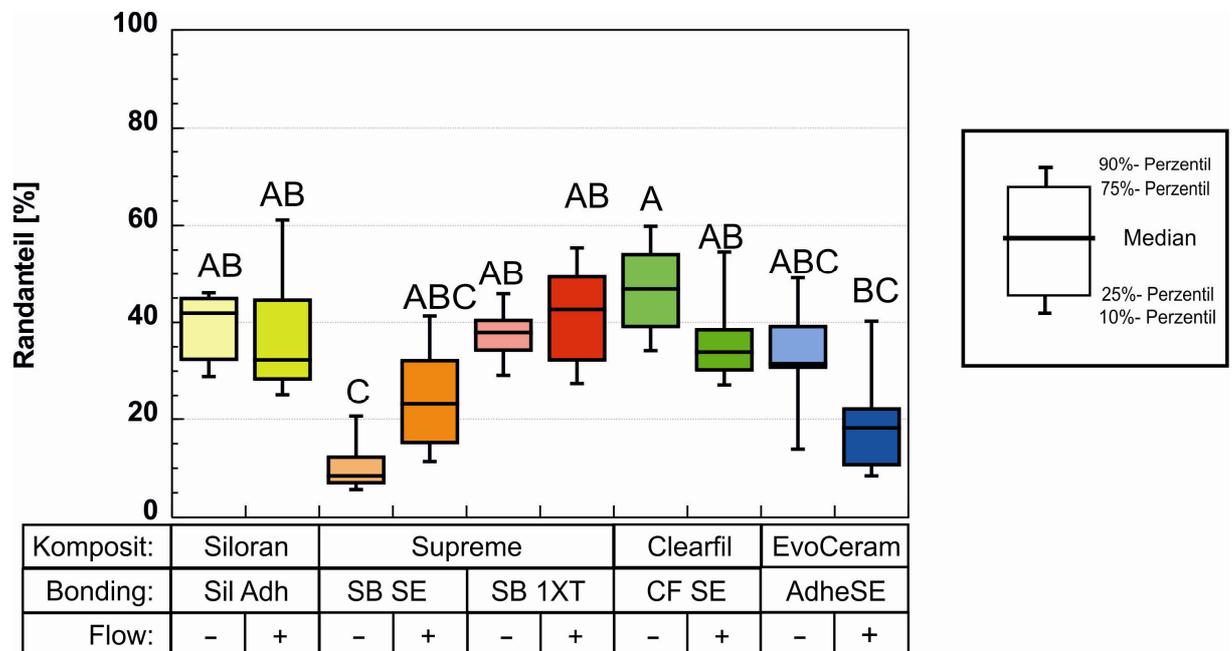
## **2.6 Statistische Auswertung**

Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen wurden mit Hilfe der Rangvarianzanalyse (Kruskal-Wallis-Test) auf statistische Signifikanz überprüft (SPSS Statistics 18.0, IBM). Als Einzelgruppenvergleich wurde der multiple Mittelwertsvergleich nach Nemenyi durchgeführt.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Ergebnisse Rasterelektronenmikroskop

##### 3.1.1 Okklusale Abschnitte

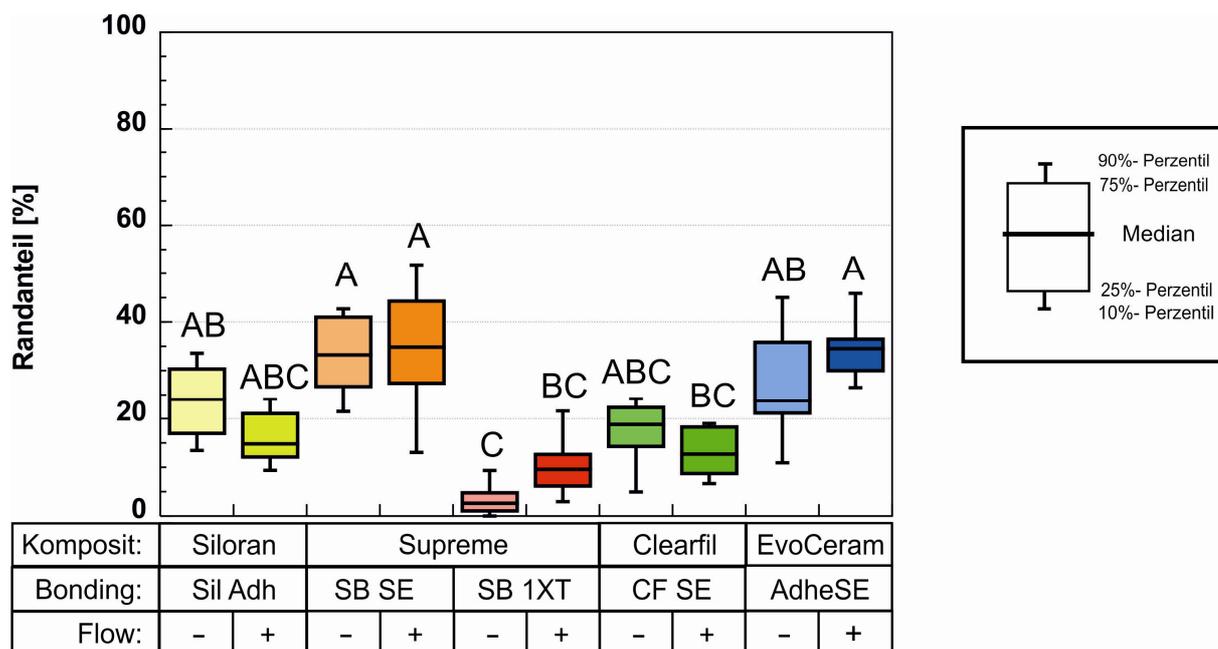


**Abbildung 10: Randqualität okkusal: Anteil der Randqualität „kontinuierlicher Rand“.**  
 Abkürzungen: Sil Adh = Siloran System Adhesive, SB SE = Scotchbond SE, SB 1 XT = Scotchbond 1XT, CF SE = Clearfil SE Bond  
 gleiche Buchstaben kennzeichnen Gruppen, die nicht signifikant verschieden sind  
 (Ergebnis des multiplen Mittelwertvergleichs nach Nemenyi:  $P \geq 0,05$ )

Abbildung 10 zeigt den Anteil kontinuierlicher Randabschnitte im okklusalen Anteil der Füllungen. Filtek™Supreme mit Scotchbond SE ohne Flow hat signifikant weniger kontinuierlichen Rand als jeweils beide Gruppen mit Siloran, Filtek™Supreme mit Scotchbond 1XT und Clearfil. Tetric®EvoCeram mit Flow hat signifikant weniger kontinuierliche Randanteile als Clearfil ohne Flow.

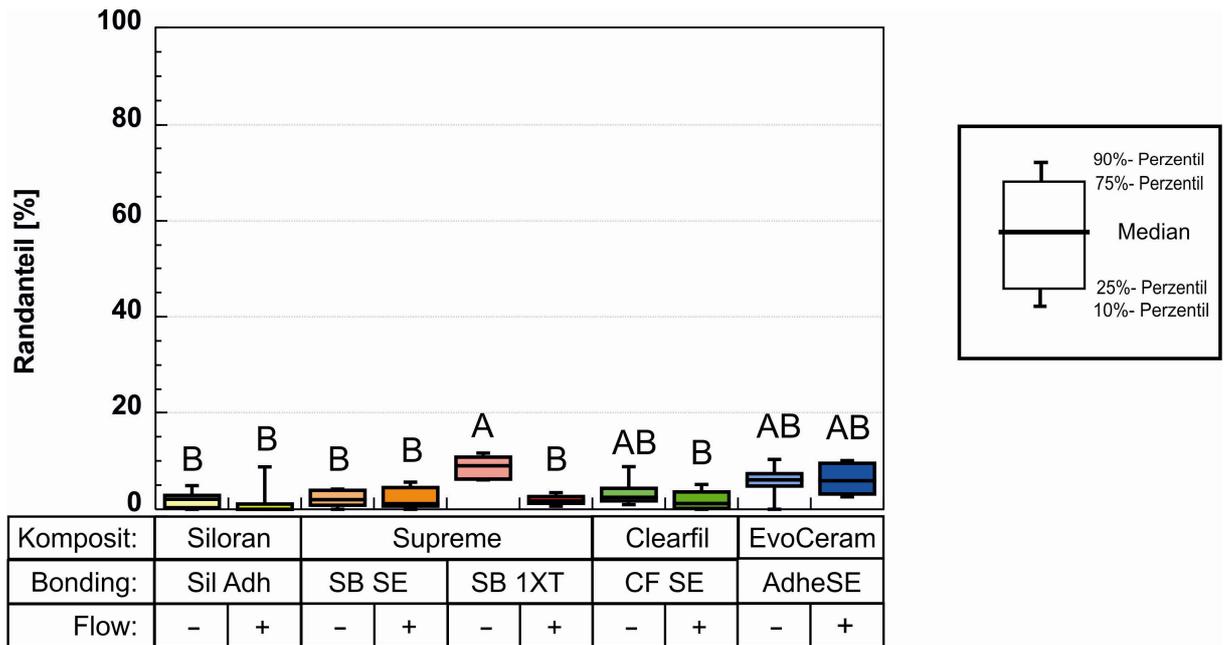
Innerhalb der Gruppen Komposit/Dentinhaftvermittler erbrachte die Anwendung fließfähigen Komposits keine signifikanten Unterschiede. Clearfil und Tetric®EvoCeram erzielten mit Flowable sogar geringere Anteile an kontinuierlichem Rand, der Unterschied verfehlt allerdings das Niveau statistischer Signifikanz.

Filtek™Supreme ohne Flow erzielt mit dem Dentinhaftvermittler Scotchbond 1XT signifikant höhere Anteile an kontinuierlichem Rand als mit Scotchbond SE.



**Abbildung 11: Randqualität okklusal: Anteil der Randqualität „Randspalt“.** Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 11 zeigt den Anteil der Randqualität „Randspalt“ an den okklusalen Rändern. Die höchsten Anteile „Randspalt“ waren bei Filtek<sup>TM</sup>Supreme mit Scotchbond SE und Tetric® EvoCeram, die niedrigsten bei Filtek<sup>TM</sup>Supreme mit Scotchbond 1XT zu beobachten. Diese Unterschiede waren statistisch signifikant. Clearfil und Siloran liegen zwischen den vorgenannten Gruppen. Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen mit und ohne Flowable waren nicht zu beobachten. Das Komposit Filtek<sup>TM</sup>Supreme erzielte mit dem Dentinhaftvermittler Scotchbond 1XT, sowohl mit als auch ohne Flow, signifikant weniger Randspalt als mit dem Dentinhaftermittler Scotchbond SE.

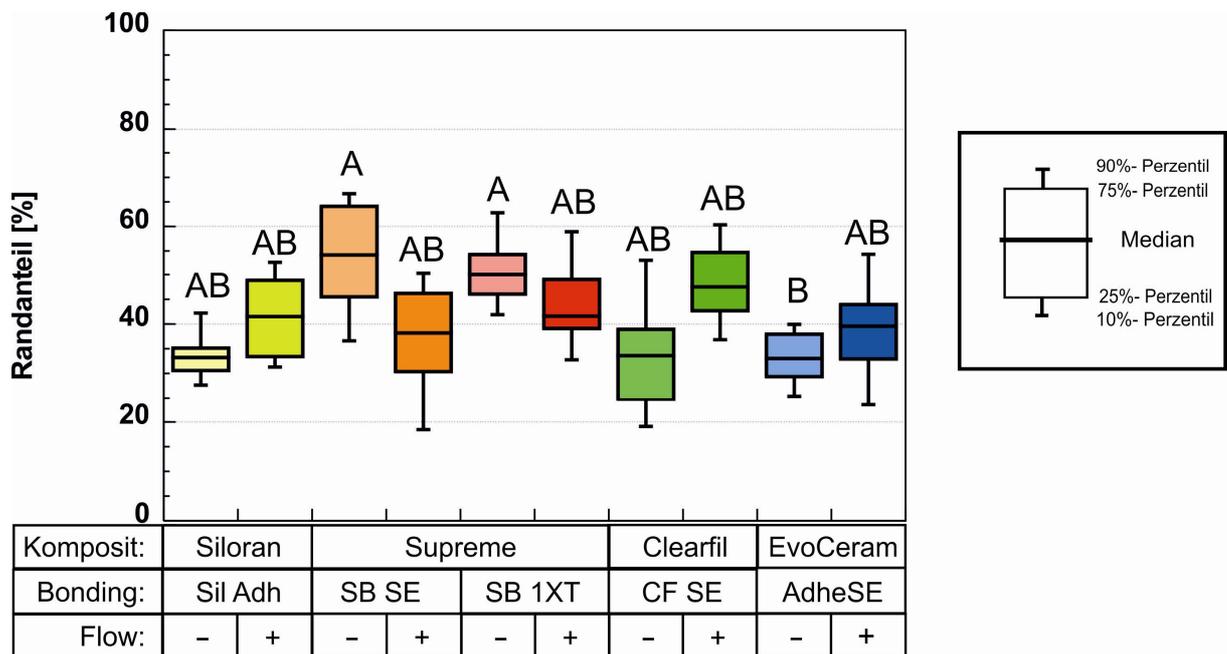


**Abbildung 12: Randqualität okklusal: Anteil der Randqualität „Unterschuss“.** Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 12 zeigt den Anteil der Randqualität „Unterschuss“ an den okklusalen Rändern. Der größte Anteil „Unterschuss“ wurde in der Gruppe Filtek™Supreme ohne Flow mit Scotchbond 1 XT beobachtet. Der geringste Anteil „Unterschuss“ fand sich bei Siloran, Filtek™Supreme mit/ohne Flow mit Scotchbond SE, Filtek™Supreme mit Flow und Scotchbond 1XT und Clearfil mit Flow. Dieser Unterschied war statistisch signifikant. Clearfil ohne Flow und Tetric® mit/ohne Flow liegen in ihren Werten ohne statistische Signifikanz dazwischen.

Innerhalb der Gruppen Komposit/ Dentinhaftvermittler fand sich bei Filtek™Supreme mit Scotchbond 1XT ohne Flow signifikant mehr Anteil an Unterschuss als in der Gruppe mit Flow.

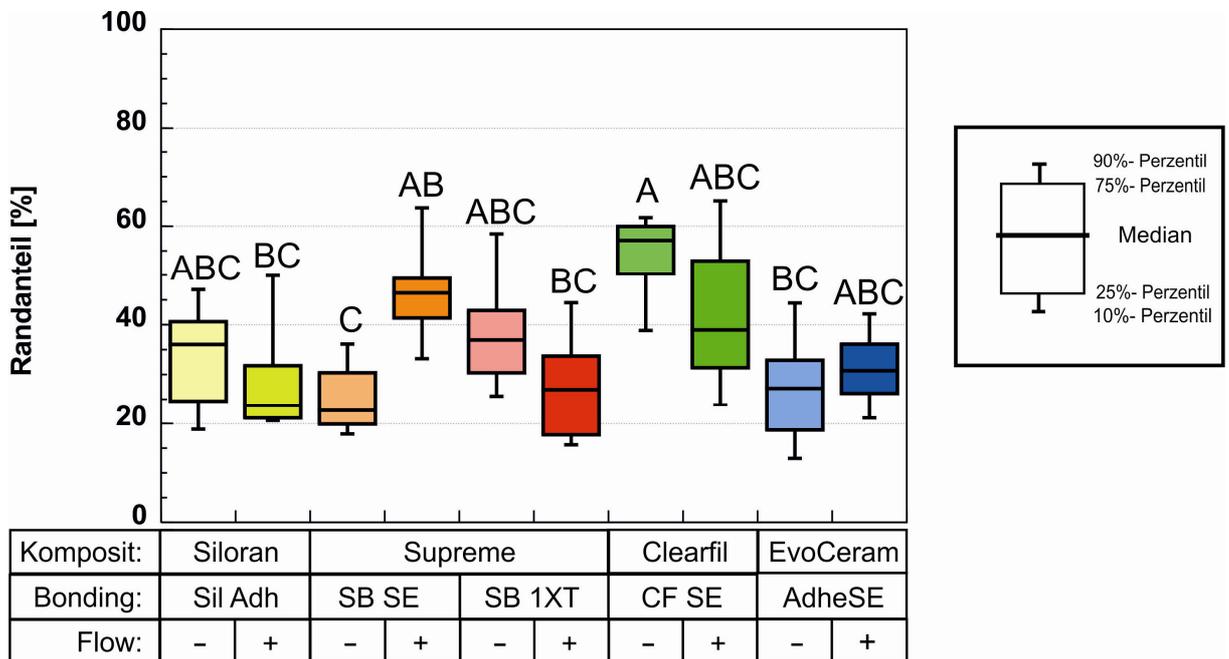
Die Verwendung von Filtek™Supreme ohne Flow mit dem Dentinhaftvermittler Scotchbond 1XT ergab signifikant mehr Anteil an Unterschuss als bei Filtek™Supreme mit/ohne Flow und dem Dentinhaftvermittler Scotchbond SE.



**Abbildung 13: Randqualität okklusal: Anteil der Randqualität „Überschuss“. Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.**

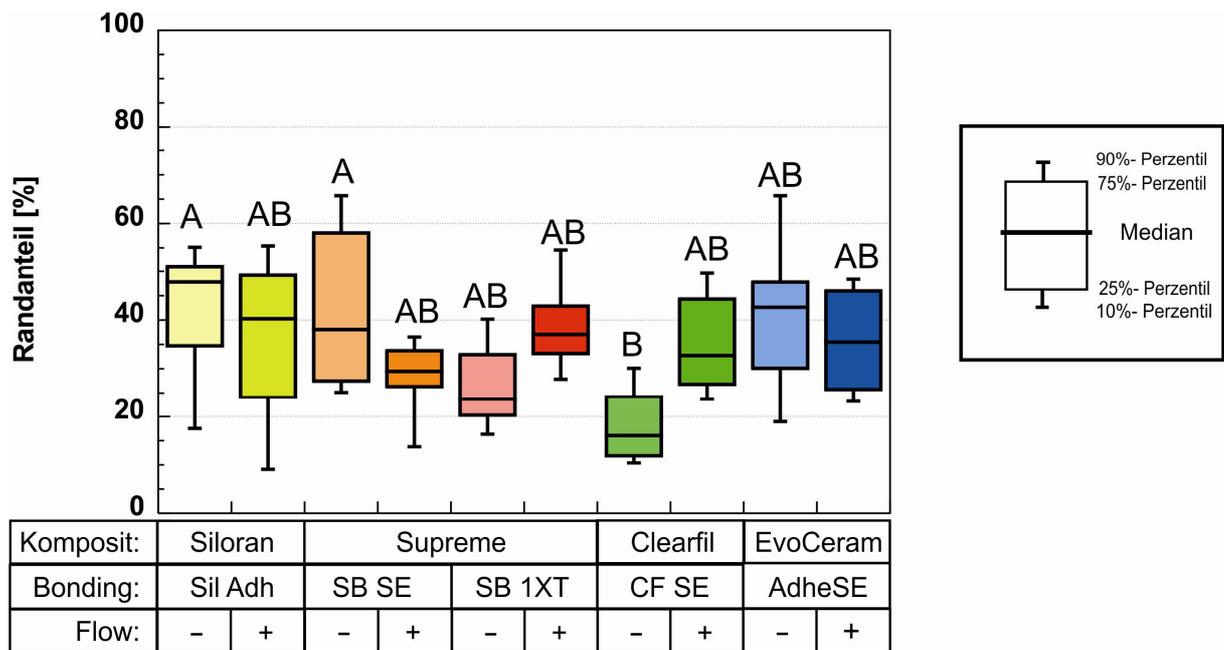
Abbildung 13 zeigt den Anteil der Randqualität „Überschuss“ an den okklusalen Rändern. Die höchsten Anteile zeigten Filtek™Supreme ohne fließfähiges Komposit mit beiden angewandten Dentinhaftvermittlern, den geringsten Tetric®EvoCeram ohne Flow. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Die Werte der übrigen Gruppen liegen zwischen den vorgenannten, ohne statistisch signifikante Differenzen. Statistisch signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen mit und ohne fließfähiges Komposit kamen nicht vor. Bei Filtek™Supreme ergeben sich zwischen den beiden angewandten Dentinhaftvermittlern keine signifikanten Unterschiede.

### 3.1.2 Axiale Abschnitte



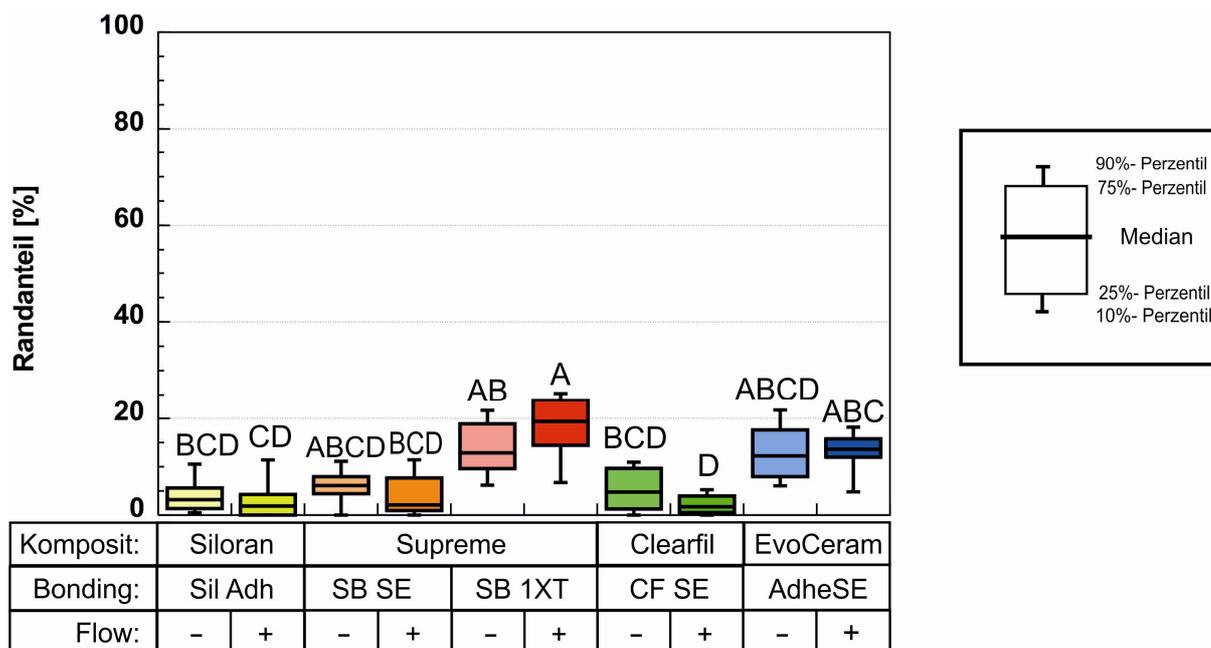
**Abbildung 14: Randqualität axial: Anteil der Randqualität „kontinuierlicher Rand“.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 14 zeigt die Anteile der Randqualität „kontinuierlicher Rand“ an den axialen Rändern. Der höchste Anteil an kontinuierlichem Rand war in der Gruppe Clearfil ohne fließfähiges Komposit, der niedrigste bei Filtek™Supreme ohne Flow mit Scotchbond SE zu beobachten. Diese Unterschiede sind statistisch signifikant. Siloran mit Flow, Filkte™Supreme mit Scotchbond 1XT mit Flow und Tetric®EvoCeram ohne Flow haben ebenfalls signifikant weniger Anteil an kontinuierlichem Rand als Clearfil ohne Flow. Bei Filtek™Supreme mit Scotchbond SE ergibt sich zwischen den Untergruppen mit bzw. ohne fließfähiges Komposit ein signifikanter Unterschied. Die Auswahl des Dentinhaftvermittlers ergibt bei Filkte™Supreme keinen statistisch signifikanten Unterschied.



**Abbildung 15: Randqualität axial: Anteil der Randqualität „Randspalt“.** Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 15 zeigt den Anteil der Randqualität „Randspalt“ an den axialen Rändern. Der höchste Anteil an Randspalt zeigte sich in der Gruppe Siloran ohne fließfähiges Komposit, der niedrigste bei Clearfil ohne Flow. Diese Differenz ist statistisch signifikant. Auch die Gruppe Filtek™Supreme mit Scotchbond SE ohne Flow wies signifikant mehr Randspalten auf als Clearfil ohne Flow. Die Ergebnisse von Tetric®EvoCeram und Filkte™Supreme mit Scotchbond 1XT sowie von Siloran mit Flow, Filkte™Supreme mit Flow und Scotchbond SE und Clearfil mit Flow liegen zwischen den obengenannten. Signifikante Unterschiede zwischen Untergruppen mit und ohne fließfähiges Komposit wurden nicht beobachtet. Ob Scotchbond 1XT oder Scotchbond SE mit Filkte™Supreme angewandt wurde, ergab keine signifikanten Unterschiede.



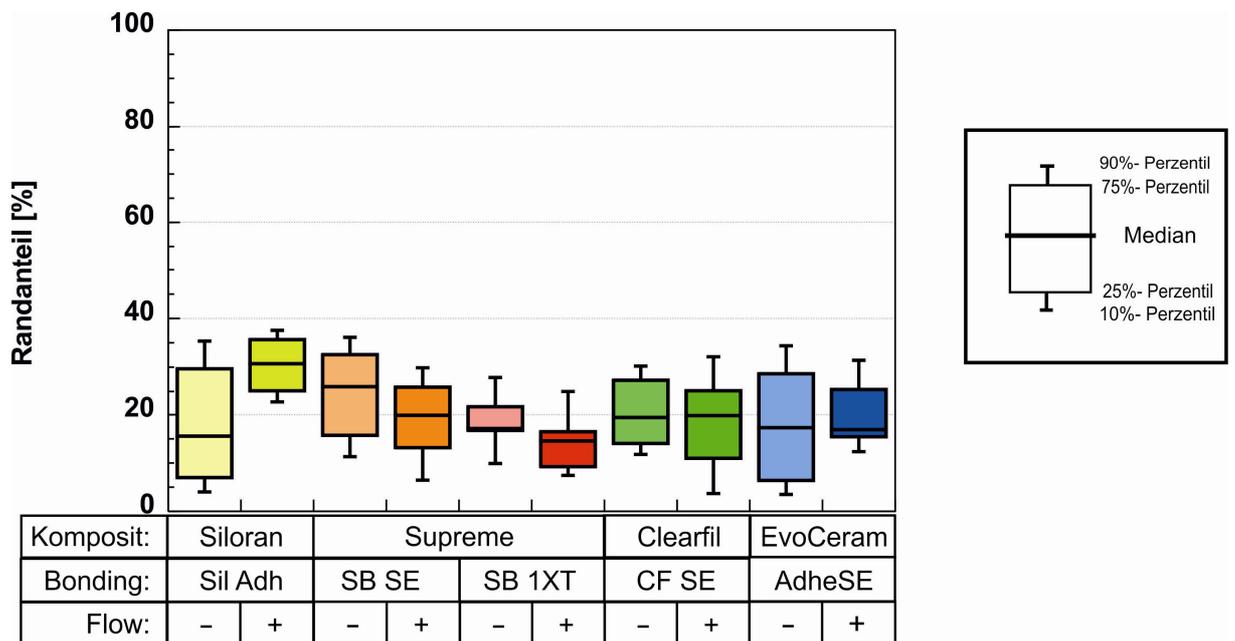
**Abbildung 16: Randqualität axial: Anteil der Randqualität „Unterschuss“.** Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 16 zeigt den Anteil der Randqualität „Unterschuss“ in den axialen Rändern. Der höchste Anteil „Unterschuss“ wurde in der Gruppe Filtek™Supreme mit fließfähigem Komposit mit dem Dentinhaftvermittler Scotchbond 1XT beobachtet. Am geringsten ist der Anteil bei Clearfil mit Flow. Dieser Unterschied erreicht statistische Signifikanz. Weitere signifikante Differenzen ergeben sich zwischen Filtek™Supreme mit Flow und Scotchbond SE und Clearfil ohne Flow, Filtek™Supreme mit Flow und Scotchbond SE und Siloran mit/ ohne fließfähiges Komposit.

Filte™Supreme ohne Flow und Scotchbond 1XT hat signifikant mehr Randanteil „Unterschuss“ in den axialen Rändern als Clearfil mit Flow und Siloran mit Flow. Clearfil mit Flow hat des Weiteren signifikant weniger Anteil an „Unterschuss“ als Tetric®EvoCeram mit Flow.

Signifikante Unterschiede zwischen den Untergruppen mit und ohne Flowable wurden nicht beobachtet.

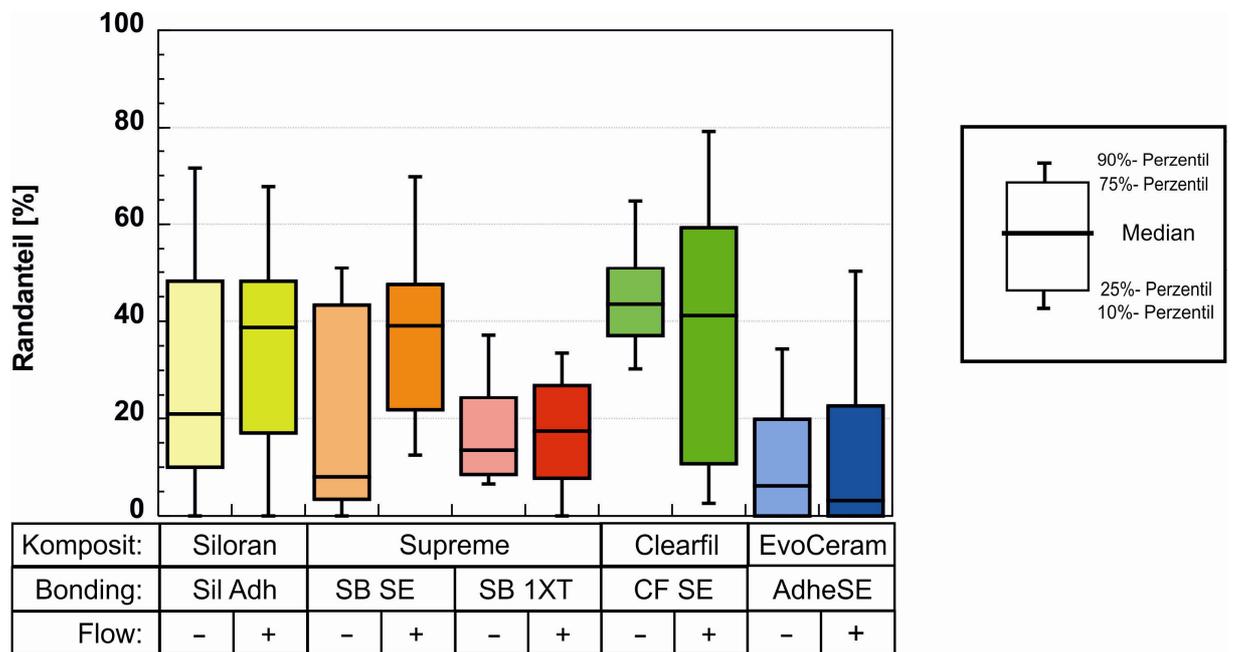
Die Auswahl des Dentinhaftvermittlers ergab bei Filtek™Supreme mit fließfähigem Komposit einen signifikanten Unterschied: Zwischen den Untergruppen mit Flow zeigte Filtek™Supreme signifikant höheren Anteil an Unterschuss bei Verwendung des Dentinhaftvermittlers Scotchbond 1XT im Vergleich zum Haftvermittler Scotchbond SE.



**Abbildung 17: Randqualität axial: Anteil der Randqualität „Überschuss“. Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.**

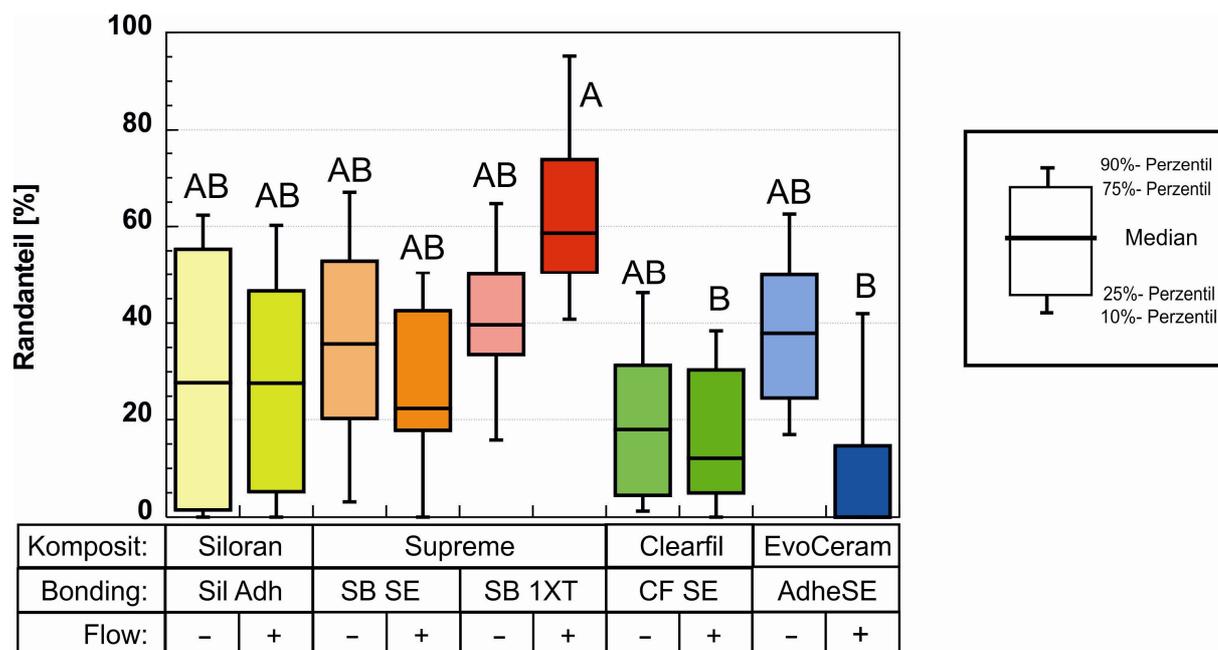
In Abbildung 17 zeigt den Anteil der Randqualität „Überschuss“ in den axialen Rändern. Die Mediane liegen zwischen 25 und 31% Randanteil mit Überschuss. Der höchste Wert wurde beim Siloran, der niedrigste bei Filtek™ Supreme mit Scotchbond 1XT beobachtet. Zwischen keiner der Gruppen erreichte der Unterschied das Niveau statistischer Signifikanz.

### 3.1.3 Abschnitte zervikal im Dentin



**Abbildung 18: Randqualität zervikal Dentin: Anteil der Randqualität „kontinuierlicher Rand“. Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.**

Abbildung 18 zeigt die Anteile der Randqualität „kontinuierlicher Rand“ der zervikalen Ränder im Dentin. Der Kruskal-Wallis-Test zeigte zwischen den Gruppen keine statistisch signifikanten Differenzen. Die geringste Streuung der Werte ergab sich bei Clearfil ohne fließfähiges Komposit und Filtek™Supreme mit Scotchbond XT ohne Flowable.

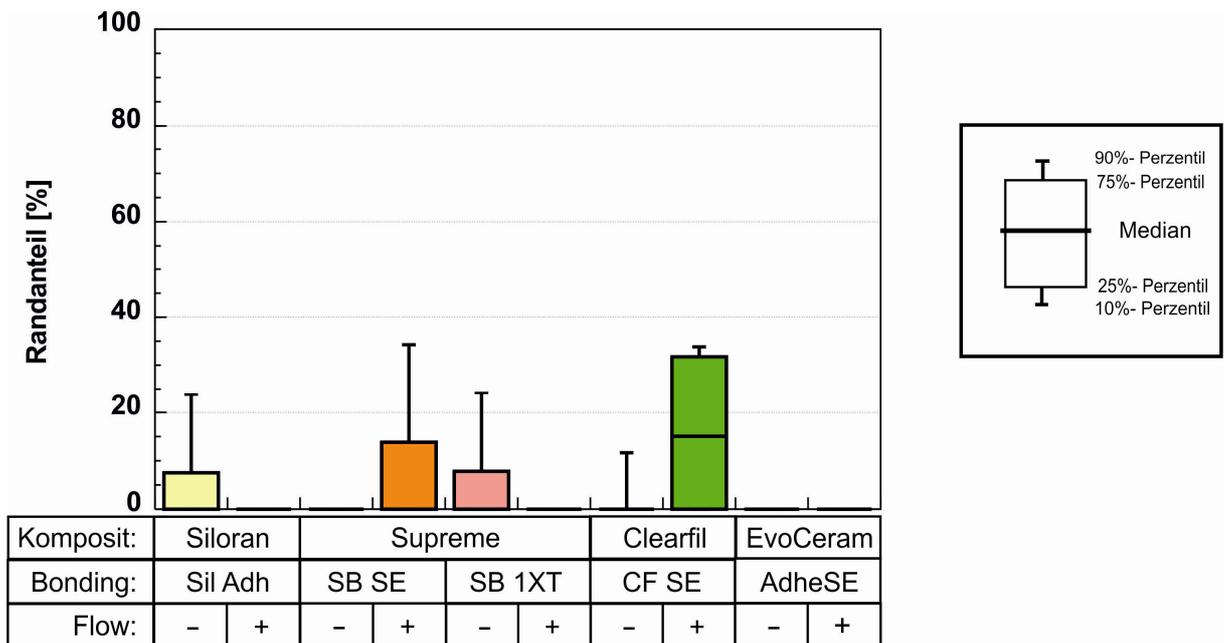


**Abbildung 19: Randqualität zervikal Dentin: Anteil der Randqualität „Randspalt“.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 19 zeigt den Anteil der Randqualität „Randspalt“ an den zervikalen Rändern im Dentin. Der höchste Anteil wurde bei Filtek™Supreme mit fließfähigem Komposit mit Scotchbond 1XT, der niedrigste bei Tetric®EvoCeram und Clearfil, jeweils mit Flowable, beobachtet. Diese Differenz war statistisch signifikant.

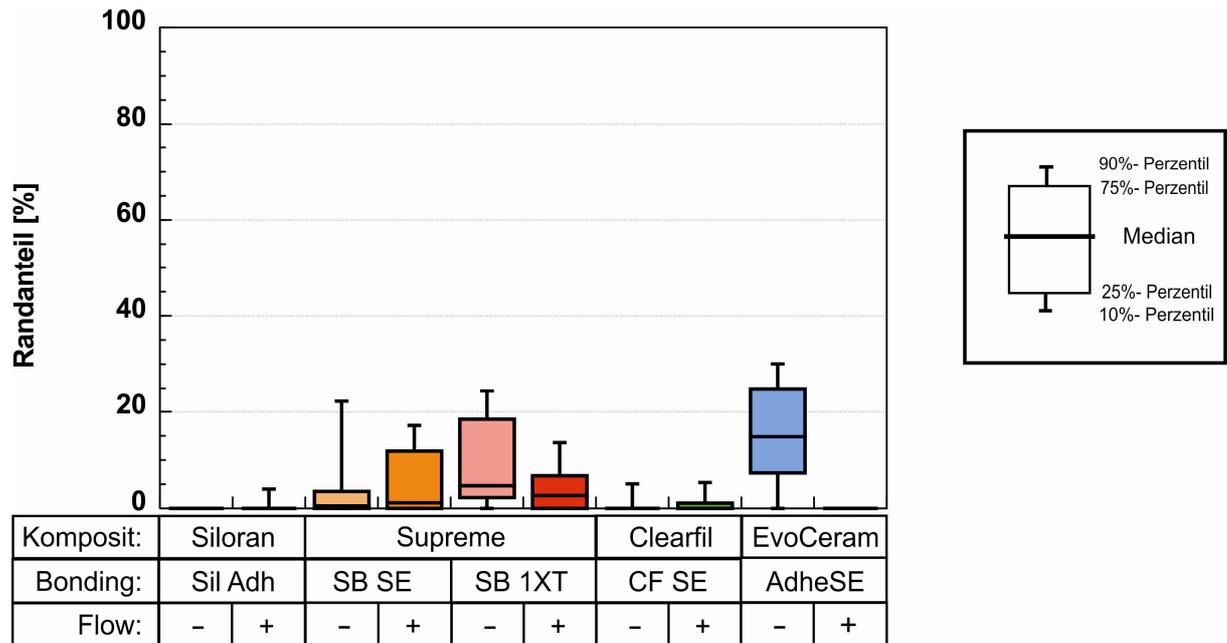
Die Werte von Siloran mit/ohne Flow und Filtek™Supreme mit/ohne Flow mit Scotchbond SE, sowie Filtek™Supreme ohne Flow mit Scotchbond 1XT, Clearfil ohne Flow und Tetric®EvoCeram ohne Flow liegen dazwischen. Hier liegt keine weitere statistisch signifikante Differenz vor. In den Untergruppen mit und ohne Flowable gab es größere Unterschiede bei Tetric®EvoCeram und Filtek™Supreme mit Scotchbond 1XT, diese verfehlten allerdings das Niveau statistischer Signifikanz.

Die Auswahl des Dentinhaftvermittlers bei Verwendung von Filtek™Supreme hat keinen statistisch signifikanten Unterschied erbracht.



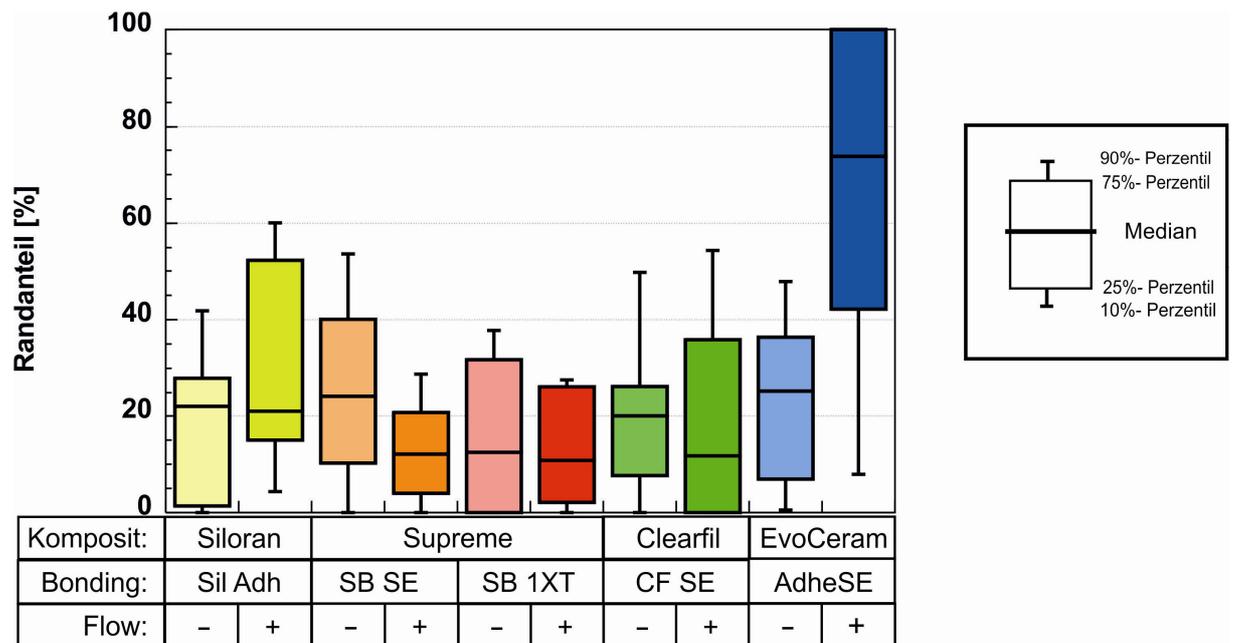
**Abbildung 20: Randqualität zervikal Dentin: Anteil der Randqualität „Wasserblasen“.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 20 zeigt den Anteil der Randqualität „Wasserblasen“ in den zervikalen Rändern im Dentin. Am häufigsten waren Wasserblasen bei Clearfil, überhaupt nicht vor kamen sie bei Tetric®EvoCeram. Der Kruskal-Wallis-Test zeigte keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bei dieser Randqualität.



**Abbildung 21: Randqualität zervikal Dentin: Anteil der Randqualität „Unterschuss“.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

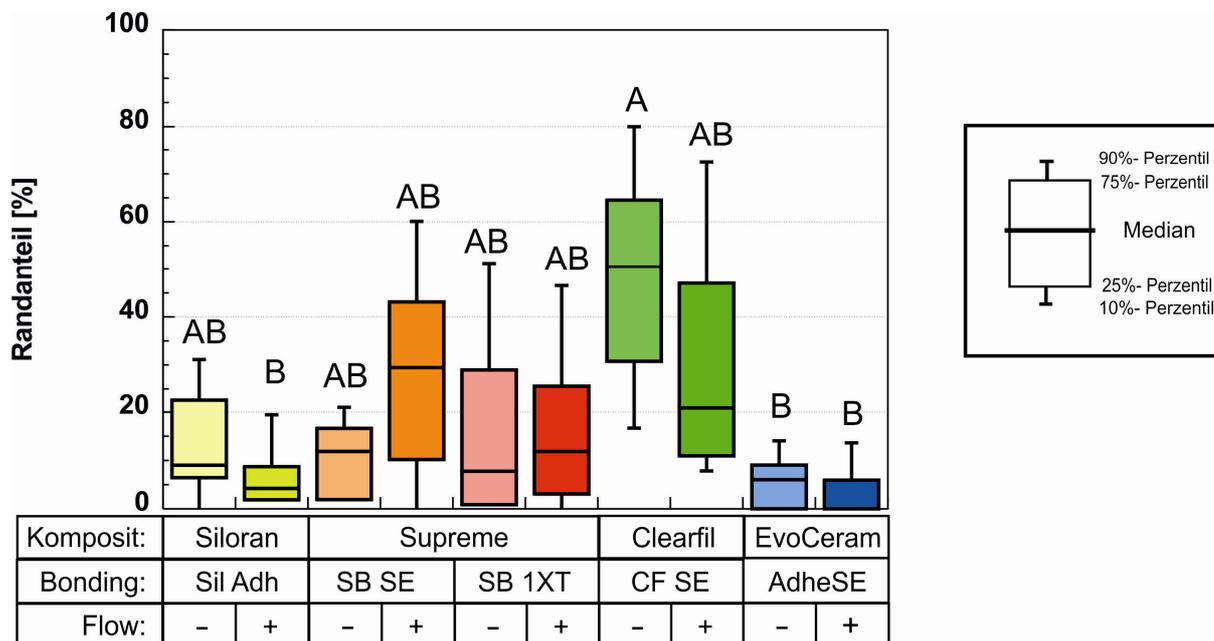
Abbildung 21 zeigt den Anteil der Randqualität „Unterschuss“ an den zervikalen Rändern im Dentin. Der höchste Anteil „Unterschuss“ wurde bei Tetric®EvoCeram, der niedrigste bei Siloran und Clearfil beobachtet. Die Werte von Filtek™Supreme lagen dazwischen. Es ergaben sich aber keine Unterschiede von statistischer Signifikanz.



**Abbildung 22: Randqualität zervikal Dentin: Anteil der Randqualität „Überschuss“.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 22 zeigt den Anteil der Randqualität „Überschuss“ an den zervikalen Rändern im Dentin. Es fanden sich unter den Proben Anteile zwischen null und 100% Überschuss an den zervikalen Füllungsändern im Dentin. Die Mediane bewegen sich zwischen 10% und 74% Überschussanteil. Die Unterschiede zwischen den Gruppen sind nicht statistisch signifikant.

### 3.1.4 Abschnitte zervikal im Schmelz

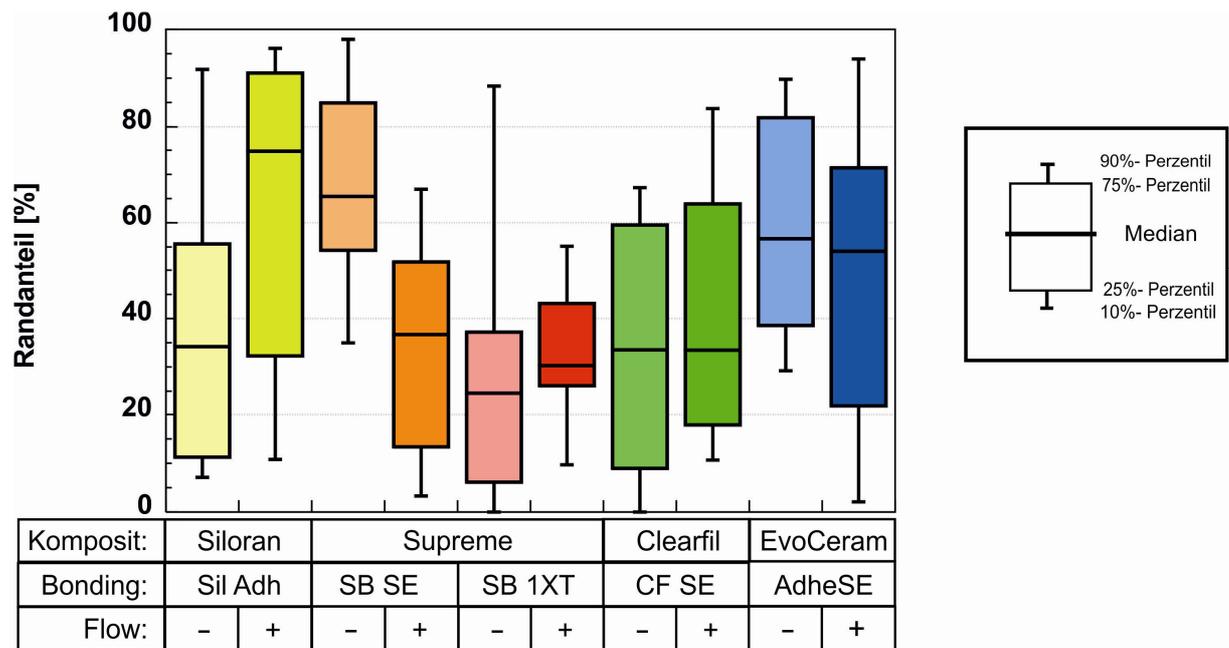


**Abbildung 23: Randqualität zervikal Schmelz: Anteil der Randqualität „kontinuierlicher Rand“.** Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 23 zeigt die Anteile der Randqualität „kontinuierlicher Rand“ an den zervikalen Rändern im Schmelz. Der höchste Anteil an kontinuierlichem Rand wurde bei Clearfil ohne fließfähiges Komposit beobachtet, der niedrigste bei Tetric®EvoCeram mit/ohne Flow und Siloran mit Flow. Die Differenz war statistisch signifikant. Die Werte von Filtek™Supreme mit/ohne Flow liegen mit beiden Dentinhaftvermittlern dazwischen, ebenso die Ergebnisse von Siloran ohne Flow und Clearfil mit fließfähigem Komposit. Es fanden sich hier keine weiteren statistisch signifikanten Differenzen.

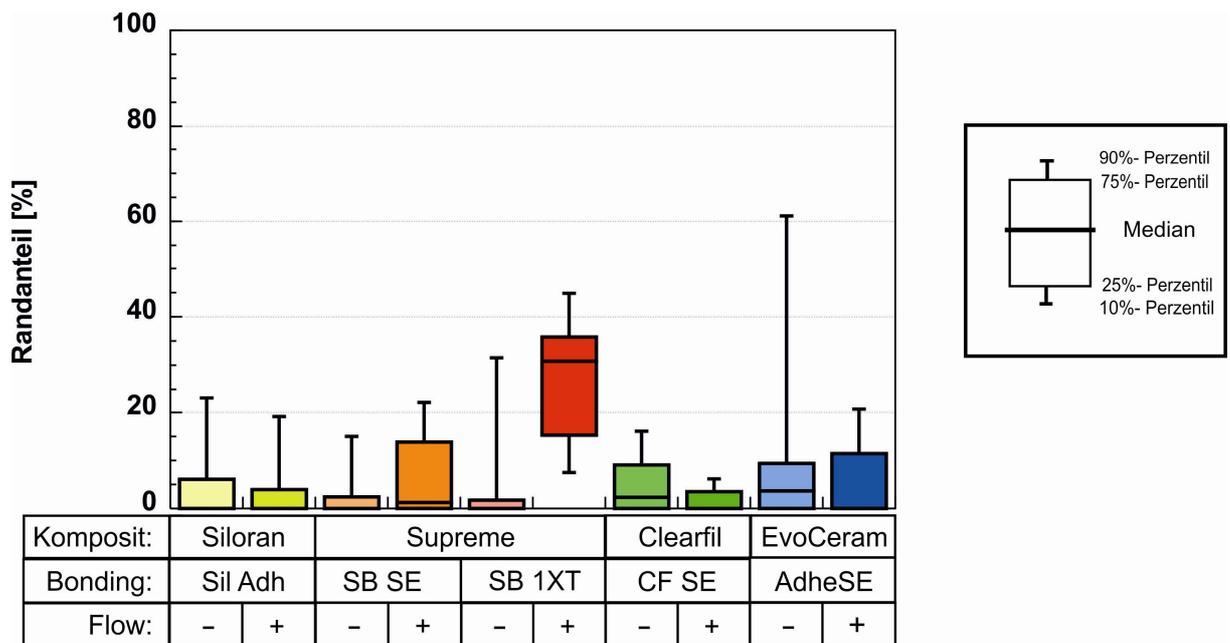
Bei Clearfil liegen die Mediane der Untergruppen mit und ohne fließfähiges Komposit zwar weit auseinander, der Unterschied verfehlte aber das Niveau statistischer Signifikanz.

Die Auswahl des Dentinhaftvermittlers hat in den Gruppen von Filtek™Supreme mit/ohne Flow keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Anteil an kontinuierlichem Rand in diesem Abschnitt.



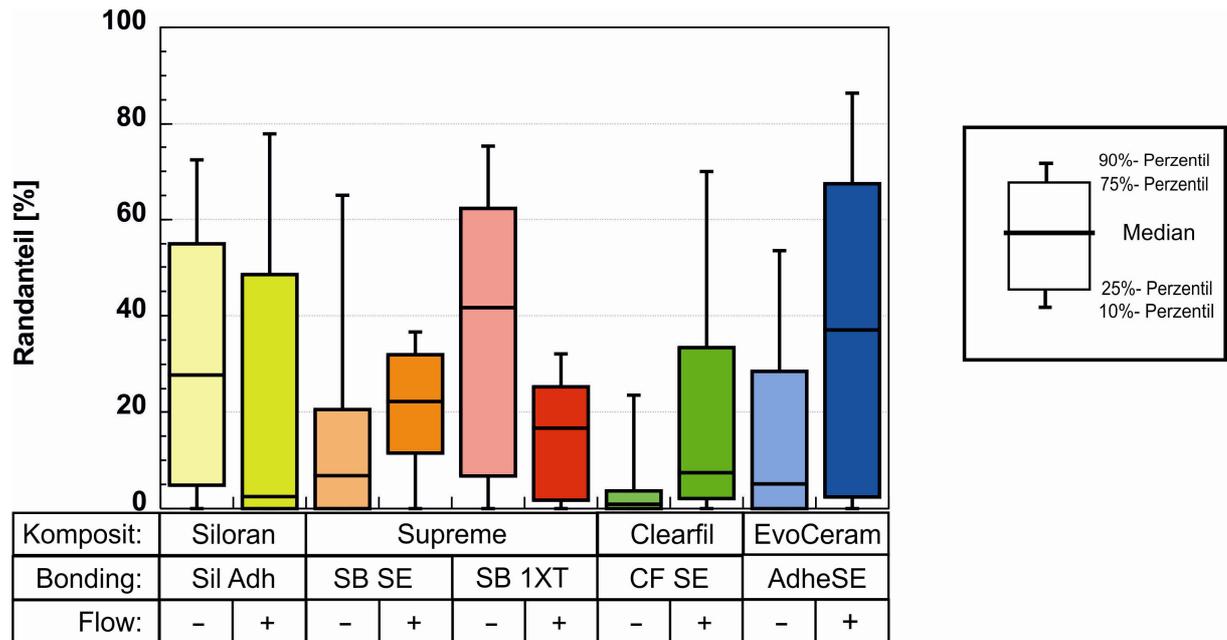
**Abbildung 24: Randqualität zervikal Schmelz: Anteil der Randqualität „Randspalt“.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 24 zeigt die Anteile der Randqualität „Randspalt“ der zervikalen Ränder im Schmelz. Die Mediane liegen zwischen 24% und 74% „Randspalt“. Der höchste Anteil Randspalt wurde beim Siloran, der niedrigste bei Filtek™Supreme mit Scotchbond 1XT beobachtet. Es ergab sich keine statistisch signifikante Differenz. Bei Clearfil, Tetric®EvoCeram und Filtek™Supreme mit Scotchbond 1XT liegen die Mediane der Untergruppen nah beieinander. Bei Siloran und Filtek™Supreme mit Scotchbond SE gibt es größere Unterschiede zwischen den Untergruppen mit und ohne fließfähiges Komposit, diese erreichen aber nicht das Niveau statistischer Signifikanz.



**Abbildung 25: Randqualität zervikal Schmelz: Anteil der Randqualität „Unterschuss“.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 25 zeigt die Anteile der Randqualität „Unterschuss“ an den zervikalen Rändern im Schmelz. Die höchsten Werte wurden bei Filtek™Supreme mit fließfähigem Komposit mit Scotchbond 1XT und Tetric®EvoCeram ohne Flowable beobachtet. Die Anteile „Unterschuss“ sind bei Clearfil, Siloran und Filtek™Supreme mit/ohne Flow und Scotchbond SE sowie Filtek™Supreme ohne Flowable und Scotchbond 1XT zwar deutlich geringer, es ergab sich aber keine statistisch signifikante Differenz. Bei Betrachtung der Untergruppen mit und ohne fließfähiges Komposit zeigt sich der größte Unterschied bei Filtek™Supreme bei beiden verwendeten Dentinhaftevermittlern. Das Niveau statistischer Signifikanz wurde aber verfehlt.

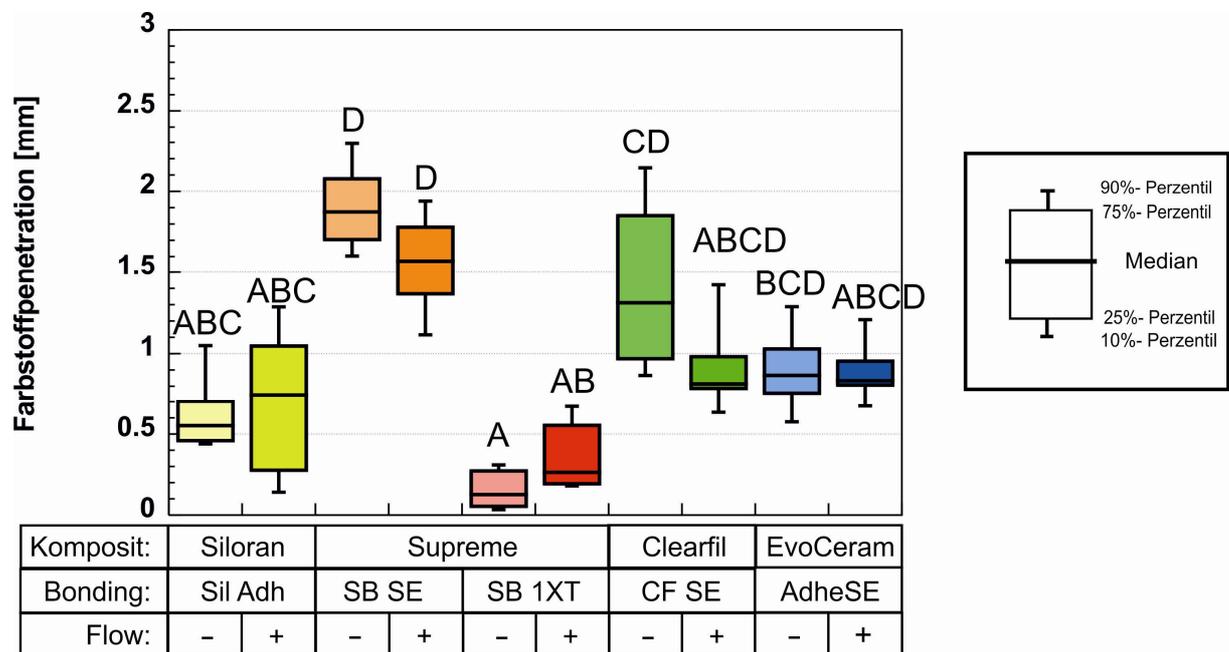


**Abbildung 26: Randqualität zervikal Schmelz: Anteil der Randqualität „Überschuss“.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 26 zeigt den Anteil der Randqualität „Überschuss“ an den zervikalen Rändern im Schmelz. Der höchste Anteil an „Überschuss“ wurde bei Tetric®EvoCeram und Filtek™Supreme mit Scotchbond 1XT ohne Flow, der niedrigste bei Clearfil ohne Flow und Siloran mit Flow. Die Differenz ist nicht statistisch signifikant. Die übrigen Werte liegen dazwischen. Die Mediane der Gruppen mit und ohne fließfähiges Komposit liegen bei Siloran, Filtek™Supreme und Tetric®EvoCeram weit auseinander. Der Unterschied zwischen den Untergruppen verfehlt aber das Niveau statistischer Signifikanz. Die Auswahl des Dentinhaftvermittlers bei Verwendung von Filtek™Supreme hatte keinen statistisch signifikanten Einfluss auf den Randanteil mit „Überschuss“ in diesem Abschnitt.

### 3.2 Ergebnisse Farbstoffpenetration

#### 3.2.1 Okklusale Abschnitte



**Abbildung 27: Tiefe der Farbstoffpenetration im okklusalen Randanteil. Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.**

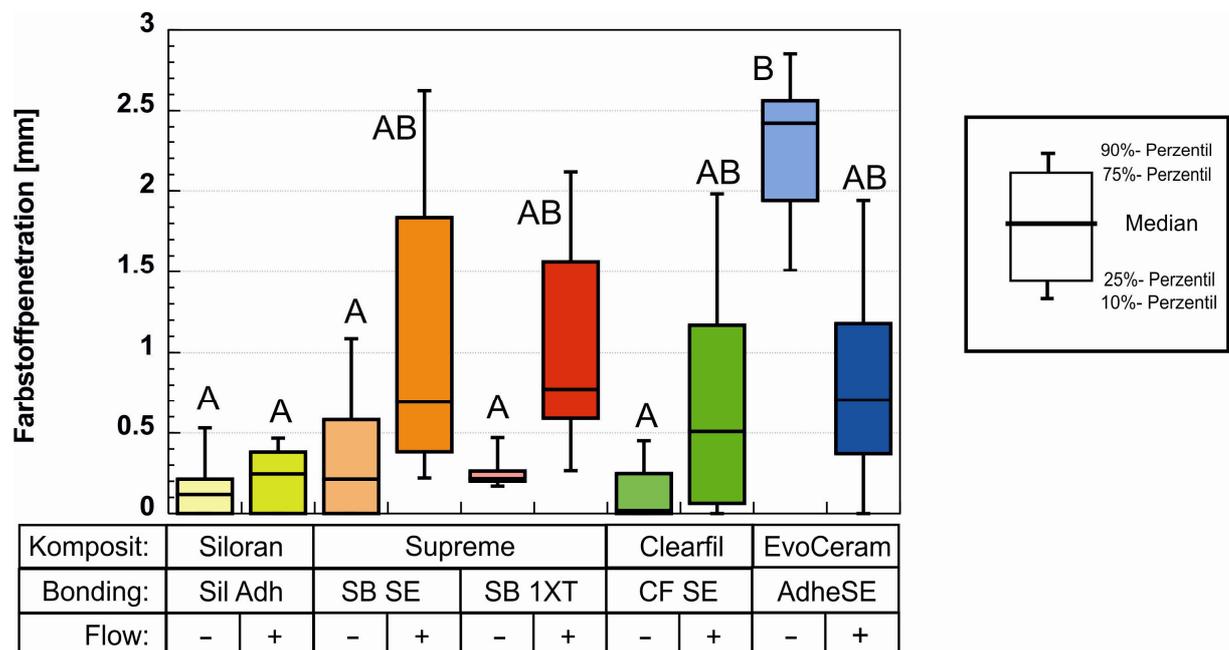
Abbildung 27 zeigt die Penetrationstiefen des Silbernitrats in den okklusalen Randabschnitten. Die tiefste Penetration wurde bei Filtek™Supreme mit/ohne fließfähiges Komposit mit Scotchbond SE, die geringste bei Filtek™Supreme mit/ohne Flowable mit Scotchbond 1XT beobachtet. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Weiterhin hatte Filtek™Supreme mit/ohne Flow und Scotchbond SE eine signifikant tiefere Farbstoffpenetration in diesem Abschnitt als Siloran mit/ohne fließfähiges Komposit. Filtek™Supreme ohne Flow hat mit Scotchbond 1XT nicht nur gegenüber Filtek™Supreme mit/ohne Flow mit Scotchbond SE signifikant weniger Farbstoffpenetration, sondern auch gegenüber Clearfil ohne fließfähiges Komposit und Tetric®EvoCeram ohne Flowable. Bei Filtek™Supreme mit Flow und Scotchbond 1XT besteht außer zu Filtek™Supreme mit dem Dentinhaftvermittler Scotchbond SE nur noch zu Clearfil ohne Flowable ein statistisch signifikanter Unterschied.

Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen mit und ohne Flowable waren nicht zu beobachten.

Wie oben bereits erwähnt, ergibt sich bei Filtek™Supreme, mit/ohne fließfähiges Komposit, durch die Auswahl des Dentinhaftvermittlers Scotchbond 1XT (mit

*total-etch*-Technik) im okklusalen Randabschnitt signifikant weniger Farbstoffpenetration als bei Anwendung des Dentinhaftvermittlers Scotchbond SE (ohne zusätzliches Ätzen).

### 3.2.2 Abschnitte zervikal im Dentin



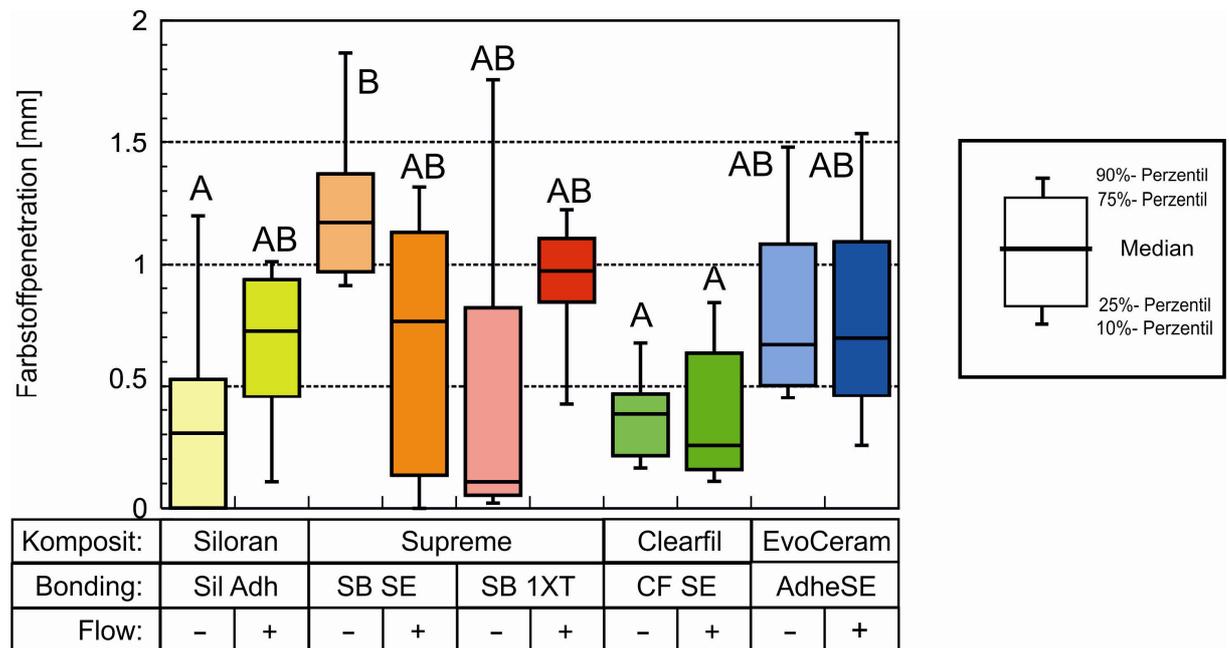
**Abbildung 28:** Tiefe der Farbstoffpenetration im zervikalen Randanteil im Dentin. Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 28 zeigt die Tiefe der Farbstoffpenetration an den zervikalen Rändern im Dentin. Die tiefste Farbstoffpenetration wurde bei Tetric®EvoCeram ohne fließfähiges Komposit ermittelt. Deutliche Unterschiede ergaben sich zu Clearfil ohne Flow, Filtek™Supreme ohne Flowable bei beiden Dentinhaftvermittlern sowie zu Siloran mit/ohne Flow, welche alle signifikant niedrigere Penetrationstiefen aufwiesen.

Bei den Gruppen mit und ohne Flowable sind die Unterschiede in der Penetrationstiefe bei Siloran weniger stark ausgeprägt als bei den methacrylatbasierten Kompositen. Das Niveau statistischer Signifikanz wird trotz größerer Differenzen in diesen Untergruppen nicht erreicht.

Die Auswahl des Dentinhaftvermittlers hat bei Filtek™Supreme keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Farbstoffpenetrationstiefe in diesem Abschnitt.

### 3.2.2 Abschnitte zervikal im Schmelz



**Abbildung 29: Tiefe der Farbstoffpenetration im zervikalen Randanteil im Schmelz.**  
Abkürzungen und Signifikanzangaben wie in Abb. 10.

Abbildung 29 zeigt die Tiefe der Farbstoffpenetration in den zervikalen Randanteilen im Schmelz. Die höchsten Werte wurden bei Filtek™Supreme ohne Flowable mit Scotchbond SE, die geringsten bei Siloran ohne Flow und Clearfil mit/ohne Flow und Filtek™Supreme ohne Flow mit Scotchbond 1XT beobachtet. Statistische Signifikanz erreicht die Differenz aber nur in den Untergruppen zwischen Filtek™Supreme ohne fließfähiges Komposit mit Scotchbond SE und Clearfil mit/ohne Flow und Siloran ohne Flowable. Die Werte von Filtek™Supreme mit/ohne Flow mit Scotchbond 1XT, Tetric®EvoCeram mit/ohne Flow, Filtek™Supreme mit Flow mit Scotchbond SE und Siloran mit Flow liegen ohne weitere statistisch signifikanten Differenzen dazwischen.

In den Gruppen mit und ohne Flowable liegen die Werte bei Clearfil und Tetric®EvoCeram deutlicher beieinander, als bei Siloran und Filtek™Supreme. Differenzen von statistischer Signifikanz liegen zwischen den Untergruppen keine vor. Die Differenzen zwischen den Gruppen von Filtek™Supreme mit Scotchbond SE zu Scotchbond 1XT verfehlen ebenfalls das Niveau statistischer Signifikanz.

## 4 Diskussion

### 4.1 Bewertung der Methodik

Die Methodik dieser Arbeit wurde bereits in ähnlichen Studien vielfach angewandt und diskutiert, daher soll auf die einzelnen Punkte nur kurz eingegangen werden.

#### 4.1.2 Praxisrelevanz von *in vitro* Studien

Die Ergebnisse von *in vitro* Studien bezüglich Randadaptation bei Klasse-II-Kavitäten können nur bedingt zur Vorhersage der Randqualität unter klinischen Bedingungen herangezogen werden (ABDALLA und DAVIDSON, 1993). Im Labor ist es möglich, standardisierte Bedingungen zu schaffen, so dass die Qualität des Materials und die Füllungstechnik viel mehr zum Tragen kommen als unter klinischen Verhältnissen. Hier sind Fehlerquellen wie beschränktes Sicht- und Arbeitsfeld, Trockenlegung und Compliance des Patienten oft wesentlich ausschlaggebender für die Füllungsqualität. Darüber hinaus bieten die Probenzähne – kariesfreie, dritte Molaren – andere Bedingungen als (vitale) Molaren in der klinischen Situation. Hier wird die Kavität immer wieder durch nachströmenden Dentinliquor angefeuchtet, was die Adaptation des Komposits erschwert (QVIST und QVIST, 1987; SÖDERHOLM, 1991). Außerdem sind die Dentintubuli bei kariesfreien Weisheitszähnen wesentlich weiter und bieten somit andere Verhältnisse für die Kompositadhäsion als das sklerotische Dentin am Boden einer kariesbedingten Kavität (PASHLEY und PASHLEY, 1991). Das Lagermedium und der Zeitraum nach der Extraktion bis zur Probenherstellung erzeugen keinen Unterschied zwischen *in vivo* und *in vitro* Studien (PASHLEY et al., 1988; SÖDERHOLM, 1991).

Studien ergaben *in vitro* eine signifikant höhere Haftfestigkeit im Dentin als *in vivo* (PURK et al., 2004; DONMEZ et al., 2005). Eine genaue Vorhersage zur Haftkraft unter klinischen Bedingungen ist durch eine *in vitro* Studie nicht zu erreichen, zum Vergleich verschiedener Materialien sind diese Studiendesigns aber durchaus geeignet (PURK et al., 2004).

### 4.1.3 Herstellung, Alterung und Analyse der Proben

Als Probenzähne wurden ausschließlich kariesfreie, menschliche dritte Molaren verwendet deren Wurzelwachstum weitestgehend abgeschlossen war. Es wurde größten Wert auf die Unversehrtheit der Kronen, ähnliche Größenverhältnisse und „normale“ Morphologie gelegt, damit die Gruppen untereinander vergleichbar sind. Trotzdem können Einflüsse etwa durch unterschiedliche Mikromorphologie bei dieser Gruppengröße (n=10) nicht vollkommen ausgeschlossen werden (DIETSCHI et al., 1995; DIETSCHI und HERZFELD, 1998; GLOCKNER et al., 1998).

Während der Kavitätenpräparation wurden die Dimensionen regelmäßig kontrolliert, um immer die gleichen Ausdehnungen zu erreichen. Für die Randqualität besonders wichtig ist die Qualität der Ansträgung. Diese wurde mit oszillierenden Feilen (Bevelshape) hergestellt, da hier die Ansträgung besser reproduzierbar und qualitativ hochwertiger ist als bei Anwendung rotierender Instrumente (HUGO et al., 1995). Geringe Unterschiede sind nicht absolut auszuschließen.

Die Vorbehandlung zum Füllen erfolgte jeweils nach Herstellerangaben. Außer in der Versuchsgruppe mit Scotchbond 1XT wurde keine Schmelz- oder Dentinätzung vorgenommen, da es laut Herstellern ausreicht, die selbststützenden Dentinhaftvermittler aufzutragen. In der Kontrollgruppe mit Filtek™Supreme und Scotchbond 1XT wurde die *total-etch* Technik angewandt, bevor der Haftvermittler aufgetragen wurde.

Um die Temperaturbelastung auf Komposit und adhäsiven Verbund durch unterschiedlich warme Lebensmittel im Mund nachzuahmen, wurden die Proben 2500 Zyklen im Wechselbad zwischen 5° und 55° Celsius unterzogen (FEILZER et al., 1990b). Sowohl die Temperatur als auch die Zyklenanzahl entsprechen der in anderen Studien angewandten Methodik (STEIGERWALD, 2003; YAZICI et al., 2003; SENSI et al., 2004; HEINTZE et al., 2005; SELBERT, 2011). Die durch die unterschiedlichen Wärmeexpansionskoeffizienten entstehende Stresseinwirkung auf den Verbund zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit kann auf diese Weise relativ realistisch nachempfunden werden (JONES et al., 1979). Wird der Verbund geschwächt, so kann es zu vorher nicht dagewesenen Spalten kommen und somit zu einer Verschlechterung der Randqualität (FEILZER et al., 1990a; FEILZER et al., 1990b; MOMOI und MCCABE, 1994; KOYUTURK et al., 2006).

WENDT et al. veröffentlichten 1992 eine Studie, welche dem thermischen Ausdehnungskoeffizient den Einfluss auf die Randqualität abspricht; allerdings wurden auch lediglich 250 Zyklen Thermocycling durchgeführt. Eine spätere Untersuchung mit 5000 Zyklen und einer Verweildauer von 10 bzw. 60 Sekunden im Wärme- bzw. Kältebad ergab mittels Farbstoffpenetration wieder keinen Einfluss auf die Randqualität der verwendeten Komposite und Adhäsivsysteme, allerdings bei Klassen-V-Kavitäten (WENDT et al., 1992; ROSSOMANDO und WENDT, JR., 1995). Diese Autoren empfehlen für Randanalysen die Anwendung von Thermocycling lediglich bei Füllungsmaterial mit guter Wärmeleitfähigkeit (z.B. Amalgam) und dabei eine klinisch relevante Verweildauer von maximal 10 Sekunden.

Durch die Wasserlagerung vor und nach Thermocycling werden verschiedene im Mund stattfindende Prozesse simuliert. HALLER et al. konnten zeigen, dass sich längere Lagerung im Wasser negativ auf die Haftfestigkeit am Dentin auswirkt und somit zu vermehrter Randspaltbildung führt (1993b). Grund hierfür sind etwa hydrolytische Abbauprozesse an freiliegendem Kollagen in der Hybridschicht (TAY et al., 2003; HASHIMOTO et al., 2003). *In vivo* können Speichelbestandteile wie Milchsäure oder proteolytische Enzyme, welche selbst in eine optimal ausgebildete Hybridschicht eindringen und zu deren Auslaugung oder dem Abbau von Kollagenfasern beitragen, diesen Effekt noch verstärken (HASHIMOTO et al., 2000b).

Auch Depolymerisierungsprozesse durch im Wasser gelösten Sauerstoff setzen die Randdichtigkeit herab (SÖDERHOLM, 1991; GÖPFERICH, 1996; LI et al., 2001). Werden die Proben in Öl gelagert, ergibt sich keine Verringerung der Randqualität, was zeigt, dass die Zunahme der Randundichtigkeiten in Wasserlagerung mit der Hydrophilie der Bondingsysteme zusammenhängen muss (CARRILHO et al., 2005; PRATI et al., 2005; REIS et al., 2007).

Die Farbstoffpenetration mittels Silbernitrat und die Randanalyse unter dem Rasterelektronenmikroskop sind Standardverfahren in der Literatur und ihre Vor- und Nachteile zur Genüge diskutiert. Auch wenn gerade die Aussagekraft der Farbstoffpenetration für die klinische Situation häufig in Frage gestellt wird, sind die Verfahren zum Vergleich verschiedener Materialien untereinander geeignet (ROULET, 1987; SÖDERHOLM, 1991).

## 4.2. Bewertung der Ergebnisse

Zu Beginn wurden folgende Fragestellungen formuliert

- Hat die *lining*-Technik bei den verarbeiteten Kompositen Einfluss auf die Randqualität?
- Gibt es Unterschiede in der Randqualität bei den methacrylatbasierten Kompositen?
- Hat das Siloran positiven Einfluss auf die Randqualität?
- Bringt die *total-etch* Technik bessere Randqualität als selbstätzende Adhäsivsysteme?

Diese sollen nun mit Hilfe der Ergebnisse des Versuchsaufbaus diskutiert werden.

### 4.2.1 Einfluss der *lining*-Technik auf die Randqualität

Verschiedene Studien legen nahe, dass eine dünne Schicht fließfähiges Komposit am Boden und den Rändern einer Kavität den Verbund und die Randqualität positiv beeinflussen. Hier soll etwa die vollständige Aushärtung des Adhäsivs gefördert werden (UNTERBRINK und LIEBENBERG, 1999) und Spannungen während der Polymerisation des restlichen Komposits abgebaut werden (KEMPSCHOLTE und DAVIDSON, 1990; CHOI et al., 2000; GIACHETTI et al., 2007). Der positive Einfluss auf die Randedichtigkeit wurde von verschiedenen Untersuchungen sowohl widerlegt (NEME et al., 2002; TREDWIN et al., 2005) als auch bestätigt (LEEVAILOJ et al., 2001; KORKMAZ et al., 2007).

In dieser Studie konnte kaum ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen mit und ohne *lining*-Technik ausgemacht werden. Lediglich Filtek<sup>TM</sup>Supreme mit Scotchbond SE hat mit Flow signifikant mehr kontinuierlichen Rand in den axialen Füllungsabschnitten als ohne Flow. Sonst ergaben die Gruppen mit Flow einmal besser, einmal schlechtere Ergebnisse, jeweils ohne statistische Signifikanz.

#### 4.2.2 Randqualität bei verschiedenen methacrylatbasierten Kompositen

In diesem Versuchsaufbau wurde mit drei methacrylatbasierten Kompositen gearbeitet:

- Filtek™ Supreme, ein Universalkomposit mit Nanofüllern
- Clearfil AP-X, ein universelles Microhybridkomposit
- Tetric® EvoCeram, ein universelles Nanohybridkomposit

Für die *lining*-Technik wurden die markeneigenen Flowables verwendet.

Alle drei Komposite sind klinisch bereits erfolgreich im Einsatz. Das Studiendesign lässt einen Vergleich dieser Materialien untereinander zu, auch wenn die Hauptfragestellung sich auf die Unterschiede der methacrylatbasierten Komposite gegenüber dem Siloran bezieht.

Die Gruppe Filtek™ Supreme mit Scotchbond 1XT und *total-etch*-Technik bleibt in diesem Kapitel unberücksichtigt.

Betrachtet man bei den Ergebnissen nur die Gruppen der methacrylatbasierten Komposite mit selbstätzenden Adhäsivsystemen, fällt auf, dass Clearfil AP-X mit Clearfil SE-Bond häufig bessere Ergebnisse erzielt als Tetric® EvoCeram mit AdheSE und Filtek™ Supreme mit Scotchbond SE. Das Niveau statistischer Signifikanz erreichen diese Ergebnisse nicht immer oder manchmal nur bei Betrachtung der Untergruppen mit und ohne fließfähiges Komposit.

Clearfil AP-X hat okklusal signifikant mehr Anteil an kontinuierlichem Rand als Filtek™ Supreme ohne fließfähiges Komposit und Tetric® EvoCeram mit Flowable.

Die Gruppe Clearfil ohne Flowable hat okklusal signifikant weniger Randspalt als Tetric® EvoCeram mit Flow und Filtek™ Supreme. In den Untergruppen ohne fließfähiges Komposit hat Clearfil AP-X in den axialen Randanteilen signifikant mehr kontinuierlichen Rand als die anderen beiden methacrylatbasierten Komposite. In diesen Untergruppen hat Clearfil axial auch signifikant weniger Randspalt als Filtek™ Supreme. In den zervikalen Abschnitten im Dentin gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen diesen drei Kompositen. In den zervikalen Randanteilen im Schmelz hat Clearfil ohne fließfähiges Komposit signifikant mehr Anteil an kontinuierlichem Rand als Tetric® EvoCeram.

Im Farbstoffpenetrationstest wurden an den zervikalen Abschnitten im Dentin bei Tetric® EvoCeram schlechtere Ergebnisse beobachtet, als bei Clearfil und

Filtek™Supreme. Statistische Signifikanz erreichten sie jedoch nur in den Untergruppen ohne fließfähiges Komposit. Zervikal im Schmelz hatte Clearfil signifikant weniger tiefe Farbstoffpenetration als die Gruppe Filtek™Supreme ohne Flowable.

Clearfil AP-X mit seinem Adhäsiv Clearfil SE Bond lag bereits in Studien zur Haftfestigkeit vor Tetric®EvoCeram mit AdheSE (YAPP und POWERS, 2007; FISCHER und STAWARCZYK, 2008).

Einen höheren Anteil an kontinuierlichem Rand bei Clearfil AP-X/Clearfil SE Bond gegenüber Tetric®EvoCeram/AdheSE ergab auch eine Studie der Universität des Saarlandes aus dem Jahr 2008 (HASSANZADEH-KOLP). Sowohl nach thermischer als auch mechanischer Belastung hat Clearfil AP-X in dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten gute Ergebnisse erzielt (HANNIG und BOTT, 2000). Klinische Studien ergaben exzellente Ergebnisse nach mehreren Jahren bezüglich Randintegrität und Funktion sowohl bei Klasse-V- als auch bei Klassen-III-Kavitäten welche mit Clearfil AP-X und Clearfil-SE Bond restauriert wurden. Die Verwendung des selbststützenden Primers alleine erzielte keine signifikant schlechteren Ergebnisse als zusätzliche selektive Schmelzätzung (PEUMANS et al., 2005; PEUMANS et al., 2007; ERMIS et al., 2010; PEUMANS et al., 2010). Allerdings treten Randverfärbungen im Schmelz nach selektiver Phosphorsäureätzung vor Anwendung von Clearfil SE Bond etwas weniger auf (ABDALLA und EL SAYED, 2008).

Clearfil AP-X und Clearfil SE Bond erzielen auch unabhängig voneinander eine große Haftfestigkeit am Dentin (THOMSEN und PEUTZFELDT, 2007). In der Studie von Thomsen und Peutzfeldt wurden verschiedenen Adhäsivsysteme auf ihre Haftfestigkeit untersucht und dabei sowohl mit firmeneigenen als auch mit „fremden“ Kompositen kombiniert. Interessanterweise erzeugte Clearfil SE Bond egal mit welchem Komposit (unter anderem Tetric®Ceram und Filtek™Supreme) eine höhere Haftfestigkeit als die Kombination mit den markengleichen Adhäsivsystemen (Tetric®Ceram/ AdheSE; Filtek™Supreme/Adper Prompt L-Pop). Clearfil AP-X erzielte ebenso in jeder Kombination höhere Werte als rein markeninterne Versuchsgruppen (Clearfil AP-X mit AdheSE/Clearfil SE Bond/ Adper Prompt L-Pop). Die größte Haftfestigkeit ergab sich folglich in der Gruppe Clearfil AP-X mit Clearfil SE Bond.

Insgesamt erzielt Clearfil AP-X mit seinem Adhäsiv sowohl *in vivo* als auch *in vitro* gute Ergebnisse und ist anderen methacrylatbasierten Kompositen häufig überlegen, was sich auch in dieser Studie widerspiegelt.

#### 4.2.3 Randqualität des Silorans

Die interessanteste Problemstellungen dieser Arbeit ist die Frage, ob sich das neuartige Siloran dank seiner sehr niedrigen Schrumpfung in der Randqualität von den methacrylatbasierten Kompositen unterscheidet.

Aus Abbildung 10 ist ersichtlich, dass die Silorangruppen lediglich gegenüber der Gruppe mit Scotchbond SE ohne Flow signifikant mehr Anteil an kontinuierlichem Rand in den okklusalen Füllungsabschnitten aufwiesen. Dies rührt allerdings daher, dass diese Versuchsgruppe am schlechtesten abschneidet und auch im Vergleich mit anderen Gruppen signifikant weniger perfekten Rand zeigte.

Siloran liegt im oberen Mittelfeld und unterscheidet sich damit nicht wesentlich von klinisch bereits erfolgreich eingesetzten Kompositen und Adhäsivsystemen. Auch die Ergebnisse der Kontrollgruppe mit *total-etch* Technik unterscheiden sich in diesem Abschnitt nicht von denen der Silorangruppen.

Siloran erzeugt okklusal mit seinem selbststützenden Adhäsivsystem auch nicht signifikant mehr oder weniger Randspalten als andere Komposite mit selbststützenden Primern. Lediglich zwischen Siloran ohne Flow und der Gruppe Filtek™Supreme ohne Flow mit Scotchbond 1XT besteht ein signifikanter Unterschied, der aber auch zwischen dieser *total-etch*- und anderen *self-etch*-Gruppen zu finden ist, da Scotchbond 1XT okklusal so erheblich weniger Randspalt verursacht als die restlichen Adhäsivsysteme.

In den axialen Abschnitten erzeugt Clearfil ohne Flow signifikant mehr kontinuierlichen Füllungsrand als Siloran mit Flow, sonst finden sich allerdings keine wesentlichen Unterschiede zwischen den beiden Silorangruppen und den restlichen Versuchsgruppen. Ähnlich sieht es in Abbildung 15 aus. Clearfil ohne Flow erzeugt axial signifikant weniger Randspalt als Siloran ohne Flow. Siloran schneidet aber nicht schlechter ab, als die restlichen Gruppen. Auch hier ist Clearfil (ohne Flow) die beste Versuchsgruppe.

Zervikal im Dentin finden sich keinerlei signifikante Unterschiede bezüglich Randkontinuität bzw. Randspalt. Siloran schneidet genauso ab wie die anderen Versuchsgruppen.

Zervikal im Schmelz findet sich bei Siloran mit Flow signifikant weniger kontinuierliche Füllungsabschnitte als bei Clearfil mit Flow, da Clearfil hier wieder am besten abschneidet. Zu den anderen Kompositen und ihren Adhäsivsystemen besteht kein wesentlicher Unterschied.

Zervikal im Schmelz finden sich bei allen Gruppen sehr hohe Anteile an Randspalt wie Abbildung 24 zeigt. Signifikante Unterschiede bestehen nicht.

Vom Hersteller wurde dargestellt, dass Siloran bei Untersuchungen unter dem Rasterelektronenmikroskop signifikant besser abschneidet als Tetric®EvoCeram (KAPPLER et al., 2007). Dies konnte hier allerdings nicht bestätigt werden.

Der Farbstoffpenetration ergab, dass Siloran okklusal signifikant weniger Mikroleakage aufweist, als Filtek™ Supreme mit Scotchbond SE. Dieser Unterschied besteht aber auch zwischen Scotchbond SE und Scotchbond 1XT, da Scotchbond SE wieder deutlich schlechter abschneidet als die anderen Gruppen. Siloran und die Kontrollgruppe mit *total-etch* Technik liefern in diesen Abschnitten die besten Ergebnisse.

Zervikal im Dentin waren die Ergebnisse von Siloran ebenfalls sehr gut, eine Signifikanz ergab sich allerdings nur zu EvoCeram ohne Flow mit AdheSE. Die Gruppen Filtek™ Supreme ohne Flow mit beiden Adhäsivsystemen und Clearfil ohne Flow waren genauso gut wie Siloran, die Gruppen mit Flow etwas schlechter, aber nicht signifikant.

Zervikal im Schmelz war Siloran ohne Flow signifikant besser als Filtek™ Supreme ohne Flow mit Scotchbond SE. Diesen Unterschied gab es allerdings auch zwischen dieser Filtek™ Supreme Gruppe und beiden Clearfil Gruppen. Insgesamt war das Siloran auch hier nicht deutlich besser, aber auch nicht schlechter, als die anderen Gruppen, die Kontrollgruppe eingeschlossen.

In Verschiedenen vom Hersteller aufgeführten Studien zur Haftung des Silorans wurde gezeigt, dass dieses genauso gut abschneidet wie klinisch bereits erfolgreich eingesetzte Komposite (YAPP und POWERS, 2007). Eine gute Haftung an der Zahnhartsubstanz wird vorausgesetzt, um trotz Schrumpfung und künstlicher Belastung gute Randqualität zu erzielen. Das Siloran zeigt im Schmelz und im Dentin ähnliche Zughaftung wie Clearfil mit Clearfil SE Bond und

Tetric®EvoCeram mit AdheSE (YAPP und POWERS, 2007). Auch in dieser Studie zur Randqualität konnten zwischen diesen drei Kompositen mit ihrem Adhäsivsystem keine signifikanten Unterschiede erkannt werden, wenn man die Unterteilung in die Untergruppen mit und ohne Flowables vernachlässigt.

In einer Studie von Al-Boni und Raja (2010) wurde die Randdichtigkeit des Silorans mit methacrylatbasierten Kompositen in Klasse-I-Kavitäten verglichen. Ihre Ergebnisse zeigen signifikant weniger Mikroleakage in den Restaurationen mit dem Komposit auf Siloranbasis. Da in der vorliegenden Studie mit Klasse-II-Kavitäten gearbeitet wurde, kann man hier höchstens die Tiefen der Farbstoffpenetration in den okklusalen Abschnitten zum Vergleich heranziehen. Diese deuten eine Überlegenheit des Silorans gegenüber den methacrylatbasierten Kompositen bei Verwendung selbstätzender Bondingsysteme an; der Unterschied ist allerdings nicht signifikant. In der Arbeit von Al-Boni und Raja wurde aber auch mit anderen Vergleichsmaterialien gearbeitet. Ein Vergleich der beiden Ergebnisse ist in jedem Fall mit Vorsicht zu betrachten. Eine Klasse-I-Kavität stellt andere Voraussetzungen während der Polymerisation und der künstlichen Alterung dar, als eine Klasse-II-Kavität, bei der beide Randleisten, welche maßgeblich zur Stabilisierung der Zahnhartsubstanz beitragen, durchtrennt wurden (REEH et al., 1989).

PALIN et al. (2005) vergleichen die Höckerdeformation während der Polymerisation und die Randdichtigkeit von einem Oxiran, einem Siloran und zwei herkömmlichen Kompositen (Filtek™ Z100 und Z250). Das Oxiran fiel komplett durch, das Siloran hingegen ergab tendenziell weniger Farbstoffpenetration als die methacrylatbasierten Komposite, der Unterschied war aber nicht signifikant. Dieses Resultat deckt sich mit den hier beschriebenen Ergebnissen unseres Farbstoffpenetrationstests. Das Siloran erzielt keine schlechteren aber auch keine deutlichen besseren Ergebnisse bei Untersuchungen zur Randdichtigkeit.

Untersuchungen zur Randadaption unter dem REM und die Farbstoffpenetrationsuntersuchung führen häufig zu nicht übereinstimmenden Ergebnissen (ERNST et al., 2008). In einer Studie, in der das Siloran mit dem zugehörigen Adhäsiv mit verschiedenen methacrylatbasierten Kompositen und *self-etch-* bzw. *etch-and-rinse-*Adhäsivsystemen verglichen wurde, schnitt das Siloran unter dem Rasterelektronenmikroskop deutlich schlechter ab als die

Vergleichsmaterialien (z.B. Tetric®EvoCeram mit Clearfil SE Bond) (ERNST et al., 2008). Auch in der vorliegenden Studie sind die Ergebnisse des Silorans beim Farbstoffpenetrationstest besser als die der Analyse unter dem REM.

#### 4.2.4 Total-etch-Technik versus self-etch Primer

Der Vergleich zwischen *total-etch* Technik und der Anwendung selbstätzender Primer ohne zusätzliches Ätzen gelingt in dieser Arbeit durch den Vergleich der Versuchsgruppen mit dem Komposit Filtek™Supreme, welches einmal mit Scotchbond SE und einmal mit Scotchbond 1XT verarbeitet wurde.

Die Ergebnisse der Untersuchung unter dem Rasterelektronenmikroskop ergaben für die okklusalen Randabschnitte eine signifikant bessere Randqualität der Gruppe mit Scotchbond 1XT und *total-etch* Technik (vergleiche Abbildung 11 und 12). Dies ließe vermuten, dass die Azidität des Primers nicht ausreicht, um im Schmelz ein ausreichendes Retentionsmuster zu erzielen. Allerdings ergaben sich in den axialen Randabschnitten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Die zervikal noch im Schmelz gelegenen Füllungsråder ergaben zwar mit Scotchbond 1XT weniger Spaltanteil, allerdings war dieser Unterschied nicht signifikant. Im Dentin ergab sich kein signifikanter Unterschied.

Es gibt Hinweise darauf, dass die Ergebnisse verschiedener *in vitro* Testreihen nicht immer miteinander korrelieren (MOLL et al., 2004). In diesem Fall allerdings kommt die Farbstoffpenetration auf die gleichen Ergebnisse wie die Untersuchung unter dem Rasterelektronenmikroskop. In den okklusalen Abschnitten findet sich eine signifikant geringere Penetrationstiefe des Silbernitrats bei den Gruppen mit Scotchbond 1XT im Vergleich zum selbstätzenden System mit Scotchbond SE. Zervikal im Dentin und im Schmelz finden sich keine signifikanten Unterschiede.

Viele Studien haben bereits gezeigt, dass die Randqualität durch zusätzliche Behandlung der Schmelzanteile mit Phosphorsäure verbessert wird (ERNST et al., 2004a; SWANSON et al., 2008; ERMIS et al., 2010; PEUMANS et al., 2010). Sind die selbstätzenden Systeme nicht sauer genug, schaffen sie im Schmelz kein ausreichendes Retentionsmuster (KANEMURA et al., 1999).

Die Ausrichtung der Schmelzprismen scheint Einfluss auf die Effektivität der angewendeten Konditionierungsmethode zu haben (SHIMADA und TAGAMI, 2003). Die Anchrägung der approximalen Schmelzråder hat mehr Einfluss auf

die Randqualität als die Ätztechnik (SWANSON et al., 2008) und sie erhöht diese signifikant (COELHO-DE-SOUZA et al., 2010). In okklusalen Kavitätenabschnitten sind die Schmelzprismen im Bereich um die Zentralfissur bereits diagonal angeschnitten (JACOBSEN, 1984; BEN-AMAR et al., 1987; HUGO et al., 1992). Eine minimale Ansträgung ist sinnvoll um, bei der Präparation beschädigte Schmelzprismen zu entfernen (HELLWIG et al., 2007). Breite Ansträgungen sind nicht indiziert, da dies zu dünn auslaufenden Kompositrändern führt, welche den okklusalen Belastungen nicht standhalten und verschleifen (BEN-AMAR et al., 1987; HELLWIG et al., 2007). Bereits 1982 wurde gezeigt, dass okklusale Kavitätenabschnitte ohne Ansträgung eine bessere Randsdichtheit aufweisen, als solche mit Ansträgung (AL-KHAFABI und JACOBSEN, 1982).

In den approximalen Kästen hingegen erfordert der parallele Verlauf der Schmelzprismen zur Kavität dringend eine äußere Ansträgung, um diese senkrecht anzuschneiden und somit beste Voraussetzungen für die Adhäsivtechnik zu schaffen (JACOBSEN, 1984; CRAWFORD et al., 1987; HUGO et al., 1992). Um die Nachbarzähne nicht zu verletzen und einen optimalen Winkel zu treffen ist die Anwendung von oszillierenden Bevelshapefeilen der Goldstandard (HUGO et al., 1995).

Da der Verlauf der Schmelzprismen im okklusalen Randanteil kaum eingeschätzt werden kann, ist anzunehmen, dass sie im approximalen Bereich auf jeden Fall in einem für die Adhäsivtechnik besser geeignetem Winkel angeschnitten sind. Dies würde das schlechtere Abschneiden der okklusalen Füllungsänder gegenüber den axialen und zervikal im Schmelz gelegenen Rändern erklären.

Im Dentin unterscheiden sich die Ergebnisse nicht signifikant. Dass die sauren Monomere selbstätzender 2-Schritt Systeme im Dentin ähnlich gute Ergebnisse erzielen können wie nach vorherige Phosphorsäureätzung wurde bereits beschrieben (TAY und PASHLEY, 2001; FRANKENBERGER und TAY, 2005; PEUMANS et al., 2005; PEUMANS et al., 2010).

#### **4.2.5 Diskussion der Ergebnisse Unterschuss, Überschuss und Wasserblasen**

Ein Unterschuss an Komposit kann in Form einer Randstufe oder eines Randspaltes vorliegen. Letzterer erzeugt zwangsläufig eine Undichtigkeit im Füllungsrand mit

den entsprechenden Folgen wie Bildung von Sekundärkaries und möglicher postoperativer Hypersensibilität. In den okklusalen Abschnitten findet sich wenig Unterschuss, da man hier während der Platzierung Füllung mit einem Modellierinstrument eine gute Adaption des Komposits an die Höckerabhänge erreichen kann. Warum ausgerechnet in der Versuchsgruppe Filtek™Supreme mit Scotchbond 1XT ohne Flow signifikant mehr Unterschuss zu finden war, als bei einem Teil der anderen Gruppen, lässt sich nicht mit Materialeigenschaften erklären, insbesondere da das gleiche Komposit mit einem anderen Dentinhaftvermittler keine Unterschüsse aufweist. Ein Versagen des Adhäsivs und nachträgliches Herausbrechen des Komposits ist ebenfalls unwahrscheinlich, weil gerade in dieser Gruppe okklusal sehr gute Ergebnisse zur Randqualität vorliegen. Wenn Kompositanteile nachträglich herausbrechen, würden sich Unterschüsse in Form von Randstufen ergeben. Auch der Unterschied zur Gruppe Supreme/Scotchbond 1XT mit *lining*-Technik lässt sich kaum erklären, da das Flowable nur an die approximalen Füllungsänder und den auf Kavitätenboden aufgetragen wurde und nicht an den okklusalen Kavitätenwänden, und sich in den anderen Kompositen jeweils sehr geringe bis gar keine Unterschiede zwischen den Gruppen mit und ohne Flowable ergeben.

In den axialen Randanteilen entstehen die Unterschüsse durch unzureichende Adaptation zwischen den einzelnen Schichten. Hier könnte die Stopfbarkeit der Komposite bzw. ihre Härte und Klebrigkeit eine Rolle spielen. EvoCeram schneidet hier etwas schlechter ab als Clearfil und das Siloran. Filtek™Supreme mit Scotchbond SE bringt ähnlich wenig Unterschuss wie die anderen Gruppen, mit Scotchbond 1XT allerdings wieder ähnlich viel wie Tetric®EvoCeram. In den zervikalen Anteilen finden sich keine signifikanten Unterschiede.

Die Randanteile mit Überschuss fallen in allen Bereichen erstaunlich hoch aus, obwohl jede Restauration unter Verwendung einer Lupenbrille auf sichtbare Überschüsse untersucht wurde und diese mit einem Scaler entfernt wurden. Okklusal ist das schwieriger als approximal, da hier das Instrument flächig geführt werden kann, um Überschüsse wegzusprenge. Auch die Politur sollte hier effektiver überschüssigen Komposit entfernen. Allerdings kann man durch starkes Polieren auch erreichen, dass Überschüsse dünn anpoliert werden und daher erst nach Temperaturwechselbelastung und unter dem Rasterelektronenmikroskop wieder sichtbar werden. Okklusale Überschüsse dürften allerdings einer

Fissurenversiegelung gleich kommen, solange sie sich in einem Bereich befinden, der konditioniert wurden. Lösen sich dünne axiale Überschüsse mit der Zeit teilweise ab, können hier Nischen für Mikroorganismen entstehen und so zur Bildung von Sekundärkaries beitragen.

In den zervikalen Abschnitten finden sich besonders viele Überschüsse, was wiederum durch zu starkes Stopfen oder dünnfließende Flowables bei nicht ausreichender Abdichtung der Matrize erklärt werden kann. Zervikal im Dentin kommen nierenförmige Einziehungen der Wurzeloberfläche dazu, welche nicht nur die Adaption der Matrize sondern auch die Entfernung eventuell entstandener Überschüsse erschweren. Ein großer Überschuss kann vor allem im Dentin zur Entzündung der marginalen Gingiva und zu parodontalen Schäden führen (RODEKIRCHEN, 2004). Laut RODEKIRCHEN ist nur ein solcher Überschuss ein Grund zum Austauschen der gesamten Füllung am Patienten, da andere Überschüsse, sofern bemerkt, entfernt werden können. Ein Unterschuss hingegen ist immer ein Grund für den Füllungsaustausch (RODEKIRCHEN, 2004).

Insgesamt muss festgestellt werden, dass trotz günstiger *in vitro* Bedingungen mehr Über- und Unterschuss entstanden sind als erwartet. Diese waren aber erst unter dem Elektronenmikroskop sichtbar. Da keine Beziehung zwischen diesen Ergebnissen und den Materialeigenschaften abgeleitet werden kann, scheint vor allem die Arbeitsweise, sowie die Morphologie der Zähne und der Kavität für die Entstehung von Über- und Unterschüssen verantwortlich zu sein.

Wasserblasen an den im Dentin gelegenen Füllungsabschnitten kamen selten vor. In den Gruppen von EvoCeram/Adhese, Supreme/Scotchbond 1XT mit Flow, Supreme/Scotchbond SE ohne Flow und Siloran mit Flow fanden sich gar keine. In den restlichen Gruppen (Siloran ohne Flow, Supreme/Scotchbond SE mit Flow, Supreme/Scotchbond 1XT ohne Flow, Clearfil) fanden sich an wenigen Abschnitten im Dentin Wasserblasen. Die Wassertröpfchen treten vermutlich während der Abdrucknahme für die Replika aus der Hybridschicht zwischen Komposit und Zahnhartsubstanz aus (PRATI et al., 2005).

PRATI et al. konnten zeigen, dass bereits die Lagerung in Wasser für eine Woche ausreicht, um die Hybridschicht im Dentin anzugreifen. Das eingedrungene Wasser entweicht während der Abdrucknahme und wird im Rasterelektronenmikroskop als Girlande von Wassertröpfchen am Füllungsrand sichtbar. In der vorliegenden

Studie waren diese Abschnitte allerdings so selten, dass sich keine Signifikanz ergibt und die Hybridschichten der untersuchten Adhäsivsysteme der 28-tägigen Wasserlagung insgesamt sehr gut standhalten konnten. In der Silorangruppe wäre zu erwarten gewesen, dass keinerlei Wasserblasenbildung auftritt, da dieses laut den Herstellern durch die Silorankomponente hydrophober ist als methacrylatbasierte Komposite und daher weniger Wasser aufnehmen dürfte. Dies konnte nicht bestätigt werden.

## 5 Zusammenfassung

Um die Schrumpfung von Kompositen weiter zu verringern, wechselten die Hersteller von der herkömmlichen methacrylatbasierten Harzmatrix zur Siloranchemie. Durch kationische, ringöffnende Polymerisation anstatt radikalischer Polymerisation wird die räumliche Annäherung der Monomere verringert und eine Schrumpfung von weniger als 1% ermöglicht.

In der vorliegenden *in vitro* Studie wurde die Randqualität und die Randdichtigkeit eines Silorans untersucht und mit klinisch bereits erfolgreich eingesetzten methacrylatbasierten Kompositen (Filtek™Supreme, Clearfil AP-X, Tetric®EvoCeram) verglichen. Lediglich in einer Kontrollgruppe (Filtek™Supreme/Scotchbond 1XT) wurde eine Konditionierung nach der *total-etch* Technik angewandt, in den anderen Gruppen wurde mit den markeneigenen selbststützenden Adhäsivsystemen gearbeitet (Siloran/ Siloran System Adhesive; Filtek™Supreme/Scotchbond SE; Clearfil AP-X/ Clearfil SE; Tetric®EvoCeram/AdheSE).

Insgesamt 100 menschliche, kariesfreie dritte Molaren wurden in 10 Gruppen aufgeteilt, gereinigt und gesockelt. Es wurden standardisierte MOD-Kavitäten von 4 mm Tiefe und 3,5 mm Breite präpariert. Auf einer Seite reichte der proximale Kasten bis in das Wurzelzement unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze, auf der anderen Seite endete er im Schmelz. Die proximalen Kästen wurden mit Hilfe einer Bevelshape Feile ca. 1mm breit angeschrägt. Zum Füllen wurden die Zähne in ein Gerät zur Simulation der Nachbarzahnsituation eingespannt und entsprechend den Herstellerangaben konditioniert. In der Kontrollgruppe erfolgte zusätzlich eine Schmelzätzung von insgesamt 30 Sekunden und 15 Sekunden Dentinätzung. In insgesamt 8 Schichten wurden anschließend die Füllungen gelegt, in der Hälfte der Gruppen wurde dabei mit markeneigenen fließfähigen Kompositen im Sinne der *lining*-Technik gearbeitet. Zum Ausarbeiten wurden die Zähne aus dem Approximalkontaktsimulator herausgenommen, sichtbare Überschüsse mit dem Scaler entfernt und die Restaurationen anschließen mit Silikonspitzen poliert. Insgesamt 28 Tage wurden die Testzähne bei 37 Grad Celsius in physiologischer Kochsalzlösung gelagert, nach der Hälfte der Zeit wurden sie 2500 Zyklen Temperaturwechselbelastung (5°/55° jeweils 30 Sekunden) unterzogen.

Für die Untersuchung unter dem Rasterelektronenmikroskop wurden Kunstharzreplika hergestellt, auf REM-Träger aufgeklebt und mit Gold bedampft. Bei 100-1000facher Vergrößerung wurden diese dann auf kontinuierlichen Rand, Randspalt, Überschuss, Unterschuss und (im Dentin) auf kontinuierlichen Randanteil mit Wasserblasen hin untersucht.

Nach der Farbstoffpenetration mit Silbernitrat wurden die Zähne geschnitten und die Diffusionsstrecke am Füllungsrand entlang unter einem Auflichtmikroskop fotografiert und mit einer Bildverarbeitungssoftware vermessen.

Die Untersuchung der Randdichtigkeit mittels Farbstoffpenetration ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen mit und ohne fließfähiges Komposit. Die Analyse der Randqualität zeigte nur bei Filtek<sup>TM</sup>Supreme mit Scotchbond SE mit Flowable in den axialen Randanteilen signifikant mehr kontinuierlichen Rand als ohne fließfähiges Komposit. Sonst hat die *lining*-Technik keinen Einfluss auf die Randqualität gezeigt.

Im Vergleich der verschiedenen methacrylatbasierten Komposite bei alleiniger Verwendung von selbstätzenden Adhäsivsystemen war Clearfil AP-X häufig überlegen. Bereits in anderen Studien wurde gezeigt, dass Clearfil AP-X und das Adhäsiv Clearfil SE Bond exzellente Randqualität liefern.

Das Siloran kann in dieser Studie gut mit klinisch erfolgreich eingesetzten Kompositen wie Filtek<sup>TM</sup>Supreme und Tetric®EvoCeram mithalten. Die Ergebnisse von Clearfil AP-X sind aber zumindest bei der REM-Untersuchung häufig überlegen. Bei der Farbstoffpenetration erwiesen sich die Ränder der Siloranfüllung als ebenso dicht wie bei der Kontrollgruppe mit *total-etch* Technik. Auch andere Untersuchungen erbrachten bereits den Nachweis, dass Siloran mit dem selbstätzenden Siloran Systeme Adhesive ähnlich gute Ergebnisse erzielt wie methacrylatbasierte Komposite. Die Überlegenheit des neuen Materials, das sich durch seine niedrige Schrumpfung auszeichnet, konnte hier allerdings nicht gezeigt werden. Es gilt weitere Ergebnisse abzuwarten, ob zusätzliche Phosphorsäureätzung bei Verwendung des Silorans noch bessere Randqualität bringt.

Der direkte Vergleich zwischen Filtek<sup>TM</sup>Supreme einmal mit den selbstätzenden Adhäsivsystem Scotchbond SE und einmal mit Scotchbond 1XT und Anwendung der *total-etch* Technik zeigte, dass sich im Schmelz durchaus eine signifikant bessere Randqualität ergeben kann als ohne Phosphorsäureätzung.

## 6 Literaturverzeichnis

- Abdalla, A.I., Davidson, C.L.: Comparison of the marginal integrity of in vivo and in vitro Class II composite restorations. *J Dent* 21, 158-162 (1993).
- Abdalla, A.I., El Sayed, H.Y.: Clinical evaluation of a self-etch adhesive in non-carious cervical lesions. *Am J Dent* 21, 327-330 (2008).
- Al-Boni, R., Raja, O.M.: Microleakage evaluation of silorane based composite versus methacrylate based composite. *J Conserv Dent* 13, 152-155 (2010).
- Al-Khafaji, A.H., Jacobsen, P.H.: Cavity design for polymeric restorations in posterior teeth. *J Dent Res* 61, 555(1982).
- Anchieta, R.B., Oliveira, F.G., Sundfeld, R.H., Rahal, V., Machado, L.S., Alexandre, R.S., Sundefeld, M.L., Rocha, E.P.: Analysis of hybrid layer thickness, resin tag length and their correlation with microtensile bond strength using a total etch adhesive to intact dentin. *Acta Odontol Latinoam* 24, 272-278 (2011).
- Asmussen, E., Jorgensen, K.D.: A microscopic investigation of the adaptation of some plastic filling materials to dental cavity walls. *Acta Odontol Scand* 30, 3-21 (1972).
- Bekes, K., Boeckler, L., Gernhardt, C.R., Schaller, H.G.: Clinical performance of a self-etching and a total-etch adhesive system - 2-year results. *J Oral Rehabil* 34, 855-861 (2007).
- Ben-Amar, A., Metzger, Z., Gontar, G.: Cavity design for class II composite restorations. *J Prosthet Dent* 58, 5-8 (1987).
- Beun, S., Glorieux, T., Devaux, J., Vreven, J., Leloup, G.: Characterization of nanofilled compared to universal and microfilled composites. *Dent Mater* 23, 51-59 (2007).
- Bouillaguet, S., Gamba, J., Forchelet, J., Krejci, I., Wataha, J.C.: Dynamics of composite polymerization mediates the development of cuspal strain. *Dent Mater* 22, 896-902 (2006).
- Bowen, R.L., Eick, J.D., Henderson, D.A., Anderson, D.W.: Smear layer: removal and bonding considerations. *Oper Dent Suppl* 3, 30-34 (1984).
- Buonocore, M.: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34, 849-853 (1955).
- Carrilho, M.R.O., Carvalho, R., Tay, F.R., Yiu, C., Pashley, D.H.: Durability of resin-dentin bonds related to water and oil storage. *Am J Dent* 18, 315-319 (2005).
- 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 occurs in self-etch adhesives. *Biomaterials* 26, 1035-1042 (2005).
- Choi, K.K., Condon, J.R., Ferracane, J.L.: The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite. *J Dent Res* 79, 812-817 (2000).

- Ciucchi, B., Bouillaguet, S., Holz, J., Pashley, D.: Dentinal fluid dynamics in human teeth, in vivo. *J Endod* 21, 191-194 (1995).
- Coelho-de-Souza, F.H., Klein-Junior, C.A., Camargo, J.C., Beskow, T., Balestrin, M.D., Demarco, F.F.: Double-blind randomized clinical trial of posterior composite restorations with or without bevel: 6-month follow-up. *J Contemp Dent Pract* 11, 001-008 (2010).
- Crawford, P.J., Whittaker, D.K., Owen, G.M.: The influence of enamel prism orientation on leakage of resin-bonded restorations. *J Oral Rehabil* 14, 283-289 (1987).
- de Oliveira, F.G., Anchieta, R.B., Rahal, V., de Alexandre, R.S., Machado, L.S., Sundefeld, M.L., Giannini, M., Sundfeld, R.H.: Correlation of the hybrid layer thickness and resin tags length with the bond strength of a self-etching adhesive system. *Acta Odontol Latinoam* 22, 177-181 (2009).
- Dietschi, D., De Siebenthal, G., Neveu-Rosenstand, L., Holz, J.: Influence of the restorative technique and new adhesives on the dentin marginal seal and adaptation of resin composite Class II restorations: an in vitro evaluation. *Quintessence Int* 26, 717-727 (1995).
- Dietschi, D., Herzfeld, D.: In vitro evaluation of marginal and internal adaptation of class II resin composite restorations after thermal and occlusal stressing. *Eur J Oral Sci* 106, 1033-1042 (1998).
- Donmez, N., Belli, S., Pashley, D.H., Tay, F.R.: Ultrastructural correlates of in vivo/in vitro bond degradation in self-etch adhesives. *J Dent Res* 84, 355-359 (2005).
- Dörfer, C.E., Staehle, H.J., Wurst, M.W., Duschner, H., Pioch, T.: The nanoleakage phenomenon: influence of different dentin bonding agents, thermocycling and etching time. *Eur J Oral Sci* 108, 346-351 (2000).
- Duarte, S., Phark, J.H., Varjao, F.M., Sadan, A.: Nanoleakage, ultramorphological characteristics, and microtensile bond strengths of a new low-shrinkage composite to dentin after artificial aging. *Dent Mater* 25, 589-600 (2009).
- Eick, J.D., Gwinnett, A.J., Pashley, D.H., Robinson, S.J.: Current concepts on adhesion to dentin. *Crit Rev Oral Biol Med* 8, 306-335 (1997).
- Eick, J.D., Wilko, R.A., Anderson, C.H., Sorensen, S.E.: Scanning electron microscopy of cut tooth surfaces and identification of debris by use of the electron microprobe. *J Dent Res* 49, Suppl-68(1970).
- Eliguzeloglu, E., Omurlu, H., Eskitascioglu, G., Belli, S.: Effect of surface treatments and different adhesives on the hybrid layer thickness of non-cariou cervical lesions. *Oper Dent* 33, 338-345 (2008).
- Ermis, R.B., Temel, U.B., Cellik, E.U., Kam, O.: Clinical performance of a two-step self-etch adhesive with additional enamel etching in Class III cavities. *Oper Dent* 35, 147-155 (2010).
- Ernst, C.P., Galler, P., Willershausen, B., Haller, B.: Marginal integrity of class V restorations: SEM versus dye penetration. *Dent Mater* 24, 319-327 (2008).

- Ernst, C.P., Kotter, T., Victor, A., Canbek, K., Brandenbusch, M., Willershausen, B.: Marginal integrity of self- and total-etching adhesives in two different application protocols. *J Adhes Dent* 6, 25-32 (2004a).
- Ernst, C.P., Meyer, G.R., Klocker, K., Willershausen, B.: Determination of polymerization shrinkage stress by means of a photoelastic investigation. *Dent Mater* 20, 313-321 (2004b).
- Feilzer, A.J., De Gee, A.J., Davidson, C.L.: Quantitative determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 6, 167-171 (1990a).
- Feilzer, A.J., De Gee, A.J., Davidson, C.L.: Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69, 36-39 (1990b).
- Fischer, J., Stawarczyk, B.: Adhesion of Siloran System Adhesive to Enamel and Dentin ((2008).(UnPub)
- Frankenberger, R., Sindel, J., Kramer, N., Petschelt, A.: Dentin bond strength and marginal adaptation: direct composite resins vs ceramic inlays. *Oper Dent* 24, 147-155 (1999).
- 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).
- Giachetti, L., Bertini, F., Bambi, C., Scaminaci, R.D.: A rational use of dental materials in posterior direct resin restorations in order to control polymerization shrinkage stress. *Minerva Stomatol* 56, 129-138 (2007).
- Glockner, K., Reich, M., Kos, S., Keil, C., Ebeleseder, K., Städtler, P.: Randadaptation von verschiedenen zahnfarbenen Klasse-II-Restaurationen Eine In-vitro-Studie mit 10 verschiedenen Materialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 53, 775-780 (1998).
- Göpferich, A.: Mechanisms of polymer degradation and erosion. *Biomaterials* 17, 103-114 (1996).
- Guggenberger, R., Weinmann, W., Kappler, O., Fundingsland, J., Thalacker, C.: Historical Evolution of Volumetric Polymerization Shrinkage of Restorative Composites. *J Dent Res* 86, Special Issue A, Abstr No 403, (2007).
- Gwinnett, A.J., Dickerson, W.G., Yu, S.: Dentin bond shear strength and microleakage for Syntac/Heliomolar: a comparison between the manufacturer's and total etch technique. *J Esthet Dent* 4, 164-168 (1992).
- Gwinnett, A.J., Matsui, A.: A study of enamel adhesives. The physical relationship between enamel and adhesive. *Arch Oral Biol* 12, 1615-1620 (1967).
- Haller, B.: Untersuchungen zum Mechanismus und zur Wirksamkeit von Komposit-Dentinhaftmitteln. Habilitation Universität Würzburg (1992).
- Haller, B.: Mechanismus und Wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern. *Dtsch Zahnärztl Z* 750-759 (1994).

- Haller, B., Hofmann, N., Klaiber, B., Bloching, U.: Effect of storage media on microleakage of five dentin bonding agents. *Dent Mater* 9, 191-197 (1993a).
- Haller, B., Hofmann, N., Klaiber, B., Pfannkuch, 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).
- Hashimoto, M., Ohno, H., Endo, K., Kaga, M., Sano, H., Oguchi, H.: The effect of hybrid layer thickness on bond strength: demineralized dentin zone of the hybrid layer. *Dent Mater* 16, 406-411 (2000a).
- Hashimoto, M., Ohno, H., Kaga, M., Endo, K., Sano, H., Oguchi, H.: In vivo degradation of resin-dentin bonds in humans over 1 to 3 years. *J Dent Res* 79, 1385-1391 (2000b).
- Hashimoto, M., Tay, F.R., Ohno, H., Sano, H., Kaga, M., Yiu, C., Kumagai, H., Kudou, Y., Kubota, M., Oguchi, H.: SEM and TEM analysis of water degradation of human dentinal collagen. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 66, 287-298 (2003).
- Hassanzadeh-Kolp, V.: Marginale und interne Adapatation von Klasse-II-Kompositrestaurationen unter Verwendung von selbststützenden Adhäsivsystemen. Dissertation Universität des Saarlandes, Homburg (2008).
- 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).
- Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Fischer, München (2007).
- Hugo, B., Lussi, A., Hotz, P.: Die Präparation der Schmelzrandabschrägung in approximalen Kavitäten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 1181-1188 (1992).
- Hugo, B., Stassinakis, A., Hotz, P.: Die Randqualität der Schmelzabschrägung bei adhäsiven Klasse-II-Minikavitäten in vivo. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 832-835 (1995).
- Jacobsen, P.H.: The restoration of Class II cavities by polymeric materials. *J Dent* 12, 47-52 (1984).
- Jones, J.C., Grieve, A.R., Harrington, E.: A machine for thermal cycling in the investigation of marginal leakage. Its development and use. *Br Dent J* 146, 207-211 (1979).
- Kanemura, N., Sano, H., Tagami, J.: Tensile bond strength to and SEM evaluation of ground and intact enamel surfaces. *J Dent* 27, 523-530 (1999).
- Kappler, O., Loll, H., Weinmann, W., Thalacker, C.: Chewing simulation of silorane and methacrylate restorations. *J Dent Res* 86, Special Issue B, Abstr No 0537, (2007).
- 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 (1990).

- Korkmaz, Y., Ozel, E., Attar, N.: Effect of flowable composite lining on microleakage and internal voids in Class II composite restorations. *J Adhes Dent* 9, 189-194 (2007).
- Koyuturk, A.E., Sengun, A., Ozer, F., Sener, Y., Gokalp, A.: Shear bond strengths of self-etching adhesives to caries-affected dentin on the gingival wall. *Dent Mater J* 25, 59-65 (2006).
- Laughlin, G., Sakaguchi, R.: Cusp movement during polymerization using experimental low-shrinkage composites. *J Dent Res* 84, Special Issue A, Abstr No 0622, (2005).
- Leevailoj, C., Cochran, 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).
- Li, H.P., Burrow, M.F., Tyas, M.J.: The effect of long-term storage on nanoleakage. *Oper Dent* 26, 609-616 (2001).
- Manhart, J.: Restaurative und ästhetische Zahnheilkunde mit direkten Kompositen im Seitenzahnbereich. *Zahnärzteblatt Sachsen* 27-30 (2006).
- Moll, K., Fritzenschaft, A., Haller, B.: In vitro comparison of dentin bonding systems: effect of testing method and operator. *Quintessence Int* 35, 845-852 (2004).
- Momoi, Y., McCabe, J.F.: Hygroscopic expansion of resin based composites during 6 months of water storage. *Br Dent J* 176, 91-96 (1994).
- Neme, A.M., Maxson, B.B., Pink, F.E., Aksu, M.N.: Microleakage of Class II packable resin composites lined with flowables: an in vitro study. *Oper Dent* 27, 600-605 (2002).
- Palin, W.M., Fleming, G.J., Nathwani, H., Burke, F.J., Randall, R.C.: In vitro cuspal deflection and microleakage of maxillary premolars restored with novel low-shrink dental composites. *Dent Mater* 21, 324-335 (2005).
- Pashley, D.H.: Consideration of dentine permeability in cytotoxicity testing. *Int Endod J* 21, 143-154 (1988).
- Pashley, D.H.: Dentin: a dynamic substrate--a review. *Scanning Microsc* 3, 161-174 (1989).
- Pashley, D.H.: The effects of acid etching on the pulpodentin complex. *Oper Dent* 17, 229-242 (1992).
- Pashley, D.H., Livingston, M.J., Greenhill, J.D.: Regional resistances to fluid flow in human dentine in vitro. *Arch Oral Biol* 23, 807-810 (1978).
- 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, E.L., Tao, L., Mackert, J.R., Pashley, D.H.: Comparison of in vivo vs. in vitro bonding of composite resin to the dentin of canine teeth. *J Dent Res* 67, 467-470 (1988).

- Perdigao, J.: Dentin bonding-variables related to the clinical situation and the substrate treatment. *Dent Mater* 26, 24-37 (2010).
- Perdigao, J., Geraldeli, S., Hodges, J.S.: Total-etch versus self-etch adhesive: effect on postoperative sensitivity. *J Am Dent Assoc* 134, 1621-1629 (2003).
- Perdigao, J., Swift, E.J., Jr., Denehy, G.E., Wefel, J.S., Donly, K.J.: In vitro bond strengths and SEM evaluation of dentin bonding systems to different dentin substrates. *J Dent Res* 73, 44-55 (1994).
- Peumans, M., De Munck, J., Van Landuyt, K., Lambrechts, P., Van Meerbeek, B.: Five-year clinical effectiveness of a two-step self-etching adhesive. *J Adhes Dent* 9, 7-10 (2007).
- Peumans, M., De Munck, J., Van Landuyt, K.L., Poitevin, A., Lambrechts, P., Van Meerbeek, B.: Eight-year clinical evaluation of a 2-step self-etch adhesive with and without selective enamel etching. *Dent Mater* 26, 1176-1184 (2010).
- Peumans, M., Munck, J., Van, L.K., Lambrechts, P., Van, M.B.: Three-year clinical effectiveness of a two-step self-etch adhesive in cervical lesions. *Eur J Oral Sci* 113, 512-518 (2005).
- Phillips, R. W., Ryge, G.: Adhesive restorative dental materials. Proceedings of a workshop. Spencer, IN (1961).
- Pioch, T., Staehle, H.J., Duschner, H., Garcia-Godoy, F.: Nanoleakage at the composite-dentin interface: a review. *Am J Dent* 14, 252-258 (2001).
- Prati, C., Chersoni, S., Acquaviva, G.L., Breschi, L., Suppa, P., Tay, F.R., Pashley, D.H.: Permeability of marginal hybrid layers in composite restorations. *Clin Oral Investig* 9, 1-7 (2005).
- Purk, J.H., Dusevich, V., Glaros, A., Spencer, P., Eick, J.D.: In vivo versus in vitro microtensile bond strength of axial versus gingival cavity preparation walls in Class II resin-based composite restorations. *J Am Dent Assoc* 135, 185-193 (2004).
- Qvist, V., Qvist, J.: Replica patterns on composite restorations performed in vitro with different acid-etch procedures and dentin adhesives. *Scand J Dent Res* 95, 87-93 (1987).
- Rackelmann, G., Weinmann, W., Hansen, J., Anderski, A.: Parameters Influencing the Shrinkage Determination by Mercury Dilatometry. *J Dent Res* 85, Special Issue B, Abstr No 2461, (2006).
- Rahal, V., Briso, A.L., dos Santos, P.H., Sundfeld, M.L., Sundfeld, R.H.: Influence of the hybrid layer thickness and resin tag length on microtensile bond strength. *Acta Odontol Latinoam* 24, 8-14 (2011).
- Rathke, A., Alt, A., Gambin, N., Haller, B.: Dentin diffusion of HEMA released from etch-and-rinse and self-etch bonding systems. *Eur J Oral Sci* 115, 510-516 (2007).
- Reeh, E.S., Messer, H.H., Douglas, W.H.: Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod* 15, 512-516 (1989).

- Reis, A.F., Giannini, M., Pereira, P.N.: Long-term TEM analysis of the nanoleakage patterns in resin-dentin interfaces produced by different bonding strategies. *Dent Mater* 23, 1164-1172 (2007).
- Rodekirchen, M.: Zuverlässigkeit der visuellen Beurteilung zahnfarbener Restaurationen. Dissertation, Justus-Liebig-Universität, Gießen. (2004).
- Rossomando, K.J., Wendt, S.L., Jr.: Thermocycling and dwell times in microleakage evaluation for bonded restorations. *Dent Mater* 11, 47-51 (1995).
- Roulet, J.F.: A materials scientist's view: assessment of wear and marginal integrity. *Quintessence Int* 18, 543-552 (1987).
- Sano, H., Takatsu, T., Ciucchi, B., Horner, J.A., Matthews, W.G., Pashley, D.H.: Nanoleakage: leakage within the hybrid layer. *Oper Dent* 20, 18-25 (1995a).
- Sano, H., Takatsu, T., Ciucchi, B., Russell, C.M., Pashley, D.H.: Tensile properties of resin-infiltrated demineralized human dentin. *J Dent Res* 74, 1093-1102 (1995b).
- Schroeder, H.: *Orale Strukturbiologie*. Thieme Verlag Stuttgart (1987).
- Schweikl, H., Schmalz, G., Weinmann, W.: The induction of gene mutations and micronuclei by oxiranes and siloranes in mammalian cells in vitro. *J Dent Res* 83, 17-21 (2004).
- Selbert, T.: Qualitative und quantitative Randspaltanalyse von Klasse-V-Kavitäten in Abhängigkeit von Adhäsiv und Schichttechnik. Dissertation Universität Würzburg (2011).
- 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).
- Shimada, Y., Tagami, J.: Effects of regional enamel and prism orientation on resin bonding. *Oper Dent* 28, 20-27 (2003).
- Skupien, J.A., Susin, A.H., Angst, P.D., Anesi, R., Machado, P., Bortolotto, T., Krejci, I.: Micromorphological effects and the thickness of the hybrid layer - a comparison of current adhesive systems. *J Adhes Dent* 12, 435-442 (2010).
- 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).
- Steigerwald, R.: In-vitro Evaluation der Dentinhaftung und Randschlußqualität eines Komposits, eines säuremodifizierten Komposits und eines kunststoffmodifizierten Glasionomermzementes. Dissertation Universität Würzburg (2003).
- Swanson, T.K., Feigal, R.J., Tantbirojn, D., Hodges, J.S.: Effect of adhesive systems and bevel on enamel margin integrity in primary and permanent teeth. *Pediatr Dent* 30, 134-140 (2008).
- Swift, E.J.Jr.: Dentin/enamel adhesives: review of the literature. *Pediatr Dent* 24, 456-461 (2002).

- Tay, F.R., Hashimoto, M., Pashley, D.H., Peters, M.C., Lai, S.C., Yiu, C.K., Cheong, C.: Aging affects two modes of nanoleakage expression in bonded dentin. *J Dent Res* 82, 537-541 (2003).
- 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., Sano, H., Carvalho, R., Pashley, E.L., Pashley, D.H.: An ultrastructural study of the influence of acidity of self-etching primers and smear layer thickness on bonding to intact dentin. *J Adhes Dent* 2, 83-98 (2000).
- Thomsen, K.B., Peutzfeldt, A.: Resin composites: strength of the bond to dentin versus mechanical properties. *Clin Oral Investig* 11, 45-49 (2007).
- Tredwin, C.J., Stokes, A., Moles, D.R.: Influence of flowable liner and margin location on microleakage of conventional and packable class II resin composites. *Oper Dent* 30, 32-38 (2005).
- Unterbrink, G.L., Liebenberg, W.H.: Flowable resin composites as "filled adhesives": literature review and clinical recommendations. *Quintessence Int* 30, 249-257 (1999).
- Van Dijken, J., Sunnegardh-Grönberg, K., Sörensson, E.: Clinical Bonding of a Single-step Self-etching Adhesive in Noncarious Cervical Lesions. *J Adhes Dent* 9, 241-243 (2007).
- 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 (1992).
- Van Meerbeek, B., Yoshida, Y., Lambrechts, P., Vanherle, G., Duke, E.S., Eick, J.D., Robinson, S.J.: A TEM study of two water-based adhesive systems bonded to dry and wet dentin. *J Dent Res* 77, 50-59 (1998).
- Vojinovic, O., Nyborg, H., Brannstrom, M.: Acid treatment of cavities under resin fillings: bacterial growth in dentinal tubules and pulpal reactions. *J Dent Res* 52, 1189-1193 (1973).
- Weinmann, W., Eckhardt, G.: Compositions which undergo light-induced cationic curing and their use. US Patent # 6084004. (2000)
- Weinmann, W., Gasser, O., Guggenberger, R., Lechner, G., Soglowek, W., Zech, J.: Polymerizable compositions based on epoxides. US Patent # 6245828. (2001)
- Weinmann, W., Thalacker, C., Guggenberger, R.: Siloranes in dental composites. *Dent Mater* 21, 68-74 (2005).
- Wendt, S.L., McInnes, P.M., Dickinson, G.L.: The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dent Mater* 8, 181-184 (1992).
- Yapp, R., Powers, J.: Bond Strength of Filtek LS System to Tooth Structure. Studienbroschüre 3M ESPE zu Filtek Silorane. *The Dental Advisor* 24, (2007).

Yazici, A.R., Ozgunaltay, G., Dayangac, B.: The effect of different types of flowable restorative resins on microleakage of Class V cavities. *Oper Dent* 28, 773-778 (2003).

## Anhang

### 7 Anhang

#### 7.1 Materialverzeichnis

Auflichtmikroskop	Leica EZ4D Leica Microsystems CMS Schweiz
Autopolymerisat	Paldur transparent Heraeus Kulzer GmbH 63450 Hanau
Bevelshapefeile	Intensiv Bevelshape #BS40 rot Intensiv SA
Bildbearbeitungssoftware	Leica Application Suite Version 1.5.0 Leica Microsystems CMS Schweiz
Dentinadhäsiv- Systeme	AdheSE® Primer: K39886 Bonding: K38371 Ivoclar Vivadent GmbH 73479 Ellwangen  Adper™Scotchbond™ 1XT LOT 8NX 2011-01 3M Deutschland GmbH 41453 Neuss  Adper™Scotchbond™ SE Liquid A: 7AB Liquid B: 7AB 3M Deutschland GmbH 41453 Neuss  Clearfil SE Bond Primer: 00764A Bonding: 01106A Kuraray Medical Inc. 65926 Frankfurt am Main  Siloran System Adhesive Primer: 7AJ Bonding: 7AJ 3M Deutschland GmbH 41453 Neuss

Diamantschleifer	#806314835KR012; #806314835KREF012; Koment Gebr. Brasseler GmbH& Co. KG 32675 Lemgo
Einmal- Applikator	Disposable Applicators Size M 3M ESPE 3M Deutschland GmbH 41453 Neuss
Epoxidharz	Rencast CW 2215 Ident# 041194900 Sales Item# 000835808 Huntsman Advanced Materials 4057 Basel Schweiz
Epoxidharzhärter	REN HY 5162 Göbl Pfaff GmbH 85123 Karlskron
Graphitkleber	Planocarbon N650 Planocarbon Verdünner N651 Plano GmbH 35578 Wetzlar
Gummipolierer	rot: #9608204030 grün: #9618204030 Komet Gebr. Brasseler GmbH& Co. KG 32675 Lemgo
Holzkeile	HaweAdapt Keile Kerr GmbH 76158 Karlsruhe
Kältebad	UKT 600 Lauda 97922 Lauda-König

## Anhang

### Kochsalzlösung

Isotone Kochsalzlösung  
Fresenius AG  
61343 Bad Homburg

### Komposit

Clearfil AP-X  
LOT 01204A  
Clearfil Majesty Flow  
LOT 00204A  
Kuraray Medical Inc.  
65926 Frankfurt am Main

Filtek™ Siloran  
LOT 7AY  
Filtek™ Supreme XT  
LOT 7MB  
Filtek™ Supreme XT Flow  
LOT 7FN  
3M ESPE  
3M Deutschland GmbH  
41453 Neuss

Tetric™ EvoCeram  
LOT K43770  
Tetric™ EvoFlow  
LOT L00367  
Ivoclar Vivadent GmbH  
73479 Ellwangen

### Lichtpolymerisationsgerät

Elipar Freelight 2  
3M ESPE  
3M Deutschland GmbH  
41453 Neuss

### Phosphorsäuregel

Ultra-Etch  
Ultradent Products Inc.  
South Jordan, UT 84095 USA

### Rasterelektronenmikroskop

DSM 940  
Zeiss Deutschland  
73447 Oberkochen

### Röntgenfilmentwickler

Periomat Intra  
Entwicklerkonzentrat  
Dürr Dental AG  
74321 Bietigheim-Bissingen

Segmentmatrizen	HaweAdapt Sectional Matrix Kerr GmbH 76158 Karlsruhe
Silbernitrat	Silbernitrat AgNO <sub>3</sub> >99,9% p.a. Charge 09894601 Carl Roth GmbH& Co KG 76158 Karlsruhe
Silikonabformmasse	Honigum light LOT 601984 DMG Dental Chem.-Pharmaz. Fabrik GmbH 22547 Hamburg
Sputtergerät	K 550 Emitech GmbH 65232 Taunusstein
Trennscheibe	WOCO 93/6 Conrad GmbH 38678 Clausthal Zellerfeld
Trennschleifmaschine	WOCO 50/Med Conrad GmbH 38678 Clausthal Zellerfeld
Vermessungssoftware RaEM	RaEM Version 4.0.5 Betaversion Dr. Claus-Peter Müller Poliklinik für Zahnerhaltung Universität Würzburg
Wärmebad	MT Lauda 97922 Lauda- Königshofen
Wärmeschränk	Memmert 91126 Schwabach
Winkelstücke	KaVo Vertriebsgesellschaft mbH 88396 Biberach

## **Danksagung**

Mein Dank gilt zunächst PD Dr. Norbert Hofmann für die Überlassung des Themas und die gewissenhafte Unterstützung in der aufwendigen Laborarbeit. Mein herzlicher Dank geht auch an Herrn Professor Alfred Renk für die Übernahme des Korreferats.

Ich danke auch meinen Kollegen Frau Daniela Häfner und Herrn René Seidl, die zeitgleich mit mir im Labor gearbeitet haben, für die moralische Unterstützung, sowie Herrn Dr. Claus-Peter Müller für die Einarbeitung in das von ihm entwickelte Programm RaEM, welches die Auswertung der Proben unter dem Rasterelektronenmikroskop vereinfacht hat.

## Lebenslauf

### Angaben zur Person

Name: Katharina Stella Gura, geb. Küstermann  
Geburtsdatum: 17.10.1984  
Geburtsort: Würzburg  
Nationalität: deutsch  
Familienstand: verheiratet  
Eltern: Dr. Werner Küstermann, Kinderarzt  
Brigitte Kimmel-Küstermann, Lehrerin

### Ausbildung

1991- 1995 Eichendorff- Grundschule, Veitshöchheim  
1995- 2004 Deutschhaus- Gymnasium, Würzburg  
2004- Juli 2009 Studium der Zahnmedizin, Universität Würzburg  
Juli 2009- November 2009 Staatsexamen Zahnmedizin, Universität Würzburg

### Tätigkeiten

2004- Januar 2010 Stundenweise Aushilfe in der Kinderarztpraxis  
Dr.Werner Küstermann  
September 2007 – heute Doktorandin in der konservierenden Abteilung der  
Zahnklinik Würzburg  
Januar-Februar 2010 Wissenschaftliche Hilfskraft der konservierenden  
Abteilung der Zahnklinik Würzburg (stundenweise)  
1.2.2010- 28.2.2012 Vorbereitungsassistentin bei Dr.Bayor & Dr.  
Wunderlich, Bad Mergentheim  
Seit 1.3.2012 Angestellte Zahnärztin bei Dr. Bayor und Dr.  
Wunderlich, Bad Mergentheim