

Aus der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde,  
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar  
(Direktor: Prof. Dr. med. dent. Matthias Hannig)

**Marginale und interne Adaptation von Klasse-II-Kompositrestaurationen  
mit All-in-one-Adhäsiven in vitro**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde*  
**der Medizinischen Fakultät**  
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2008

vorgelegt von: Pascal Klein  
geb. am: 21.08.1972 in Neunkirchen

## **Inhaltsverzeichnis**

### **1. Zusammenfassung / Summary**

### **2. Einleitung**

### **3. Material und Methode**

3.1. Vorbereiten der Zähne und Kavitätenpräparation

3.2 Füllungstechnik

3.3 Thermocycling und Kausimulation

3.4 Herstellung der Replikamodelle / Vorbereitung der REM-Analyse

3.5 Rasterelektronenmikroskopische Füllungsrandanalyse

3.6 Der Farbstoffpenetrationstest

3.7 Statistik

### **4. Ergebnisse**

4.1 Rasterelektronenmikroskopische Füllungsrandanalyse

4.1.1 Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen schmelz- und dentinbegrenzten Restaurationsränder

4.1.2 Vergleichende Darstellung der Füllungsrandanalyse aller Gruppen

4.2 Interne Adaptation an der Grenzfläche zwischen Komposit und Dentin

### **5. Diskussion**

5.1 Versuchsaufbau

5.2 Materialauswahl und Füllungstechnik

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Einfluss von Kompositen auf die Randspaltbildung

5.3.2 Gesamtvergleich aller Adhäsive

5.3.3 Interne Adaptation

5.4 Schlussfolgerungen

**6. Literaturverzeichnis**

**7. Publikationen / Danksagung**

**8. Lebenslauf**

# 1. Zusammenfassung

Die vorliegende Arbeit analysierte das Randschlussverhalten und die interne Adaptation von mit All-in-one-Adhäsiven gelegten Kompositfüllungen in approximal dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten zur Klärung folgender Fragen:

1. Kann mit den untersuchten All-in-one-Adhäsiven initial ein spaltfreier Übergang zwischen Restauration und Zahnhartsubstanz erreicht werden?
2. Wie wirkt sich eine thermische und mechanische Wechselbelastung auf die Füllungsrandqualität aus?
3. Gibt es Qualitätsunterschiede zwischen Füllungsrandern im Schmelz und im Dentin?
4. Unterscheiden sich die Füllungsmaterialien hinsichtlich ihrer internen Adaptation voneinander?
5. Wie wirkt sich die Anwendung unterschiedlicher Komposite bei gleichem Adhäsiv aus?

An 56 extrahierten menschlichen Molaren wurden okklusal-approximale Kavitäten präpariert, deren zervico-approximaler Rand 1 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze lag. Jeweils 8 Zähne wurden unter Verwendung der folgenden Adhäsivsysteme und Komposite in Inkrementtechnik gefüllt:

Gruppe 1 : Xeno III / Tetric Evo Ceram

Gruppe 2 : Xeno III / Ceram X

Gruppe 3 : i-Bond / Venus

Gruppe 4 : EP 1 / Venus

Gruppe 5 : AK 3 / Venus

Gruppe 6 : Futurabond / Grandio

Gruppe 7 : Futurabond / Tetric Evo Ceram

Die Zähne wurden einer thermischen Wechselbelastung (5°C / 55°C, 2500 Zyklen à 70 Sekunden) und nachfolgend einer okklusalen Druckbelastung (70 N, 200.000 Zyklen) unterzogen.

Das Randschlussverhalten wurde nach jeder Belastungsphase raster-elektronenmikroskopisch bei 500-facher Vergrößerung untersucht.

Zur Beurteilung der internen Adaptation wurde im Anschluss an die In-vitro-Kausimulation ein Farbstoffpenetrationstest mit 0,5%-iger Methylenblaulösung durchgeführt. Die Probenzähne wurden dann halbiert und die Tiefe der Farbstoffpenetration in das Interface wurde für beide Querschnitte auflichtmikroskopisch analysiert.

Nach Abschluss der Belastungstests betrug der Anteil perfekter marginaler Adaptation im Bereich der schmelzbegrenzten Kavitätenränder 61,91% (Gruppe 1: Xeno III / Tetric Evo Ceram), 56,11% (Gruppe 2: Xeno III / Ceram X), 10,45% (Gruppe 3: i-Bond / Venus), 7,40% (Gruppe 4: EP 1 / Venus), 6,16% (Gruppe 5: AK 3 / Venus), 48,55% (Gruppe 6: Futurabond / Grandio) und 50,16% (Gruppe 7: Futurabond / Tetric Evo Ceram). Die schmelzbegrenzten Kavitätenränder zeigten in allen Gruppen hohe Anteile an Randspalten nach Belastung, insbesondere die der Gruppen 3, 4 und 5.

Im Bereich der dentinbegrenzten Füllungsänder ließ sich nach den Belastungstests auf 66,22% (Gruppe 1: Xeno III / Tetric Evo Ceram), 55,10% (Gruppe 2: Xeno III / Ceram X), 40,64% (Gruppe 3: i-Bond / Venus), 22,08% (Gruppe 4: EP 1 / Venus), 36,03% (Gruppe 5: AK 3 / Venus), 60,41% (Gruppe 6: Futurabond / Grandio) und 75,09% (Gruppe 7: Futurabond / Tetric Evo Ceram) der untersuchten Randlänge eine perfekte marginale Adaptation feststellen.

Mit keinem der verwendeten All-in-one-Adhäsive konnte im Schmelz oder im Dentin eine initial randspaltfreie Restauration hergestellt werden. Ein Wechsel des Komposits bei gleichem Adhäsiv zeigte keinen signifikanten Einfluss auf das Ergebnis der Randspaltanalyse.

Bei der internen Adaptation waren trotz der Unterschiede in der Randspaltanalyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen feststellbar.

Gruppe 1 (Xeno III / Tetric Evo Ceram) zeigte die besten Ergebnisse im Schmelzbereich, Gruppe 7 (Futurabond / Tetric Evo Ceram) die besten Ergebnisse im Dentinbereich.

Die Ergebnisse dieser Arbeit weisen darauf hin, dass die hier getesteten All-in-one-Adhäsive für den Einsatz in Klasse-II-Kavitäten nicht zu empfehlen sind.

## Summary

### **Marginal and internal adaptation of class-II-composite restorations with all-in-one adhesives in vitro**

In the present study the marginal seal and internal adaptation of resin composite restorations placed by use of all-in-one adhesives in class-II-cavities with margins located in dentin were analysed. The following questions were to be answered:

1. Is it possible to achieve a perfect marginal adaptation at the tooth-restoration interface with the all-in-one-adhesives examined in this study?
2. How do thermocycling and mechanical stress affect the margin quality?
3. Are there differences in quality between the restoration's margins located in enamel and dentin?
4. Are there differences between composite materials with respect to the restoration's internal adaptation?
5. What is the effect of combining different resin composites with the same adhesive system?

Occlusal-proximal cavities were prepared in 56 extracted human molars with the cervico-proximal margins located 1 millimeter beyond the cemento-enamel-junction. In each group, 8 teeth were filled by incremental technique using the following adhesive systems and resin composites:

Group 1 : Xeno III / Tetric Evo Ceram

Group 2 : Xeno III / Ceram X

Group 3 : i-Bond / Venus

Group 4 : EP 1 / Venus

Group 5 : AK 3 / Venus

Group 6 : Futurabond / Grandio

Group 7 : Futurabond / Tetric Evo Ceram

The teeth were exposed to thermocycling (5°C/55°C, 2,500 cycles for 70 s) followed by occlusal loading (70N, 200,000 cycles).

The marginal quality was examined by scanning electron microscopy (500-fold enlargement) after thermocycling and occlusal loading.

After in-vitro mechanical loading (ML), a dye penetration test with a 0,5 % methylene blue solvent was performed in order to evaluate the internal adaptation. The specimens were bisected and the depth of dye penetration into the interface was analysed by reflected light microscopy. The most important criterion for evaluation of the marginal quality was a perfect adaptation without gap.

After ML, the percentage frequency of perfect marginal adaptation in enamel was 61,91% (group 1: Xeno III / Tetric Evo Ceram), 56,11% (group 2: Xeno III / Ceram X), 10,45% (group 3: i-Bond / Venus), 7,40% (group 4: EP 1 / Venus), 6,16% (group 5: AK 3 / Venus), 48,55% (group 6: Futurabond / Grandio) and 50,16% (group 7: Futurabond / Tetric Evo Ceram). The margins located in enamel showed high amounts of gap formation after ML in all groups, especially in the groups 3, 4 and 5.

In dentin, following the ML, a perfect marginal adaptation was observed at 66,22% (group 1: Xeno III / Tetric Evo Ceram), 55,10% (group 2: Xeno III / Ceram X), 40,64% (group 3: i-Bond / Venus), 22,08% (group 4: EP 1 / Venus), 36,03% (group 5: AK 3 / Venus), 60,41% (group 6: Futurabond / Grandio) and 75,09% (group 7: Futurabond / Tetric Evo Ceram) of the analysed margins.

With none of the all-in-one adhesives used in the present study – neither in enamel nor in dentin – a gap-free restoration could be achieved. Changing the resin composite while using the same adhesive system did not significantly influence the marginal seal. In contrast to the results of the marginal analysis, the results of the internal adaptation showed no significant differences. Group 1 (Xeno III / Tetric Evo Ceram) had the best results in enamel, group 7 (Futurabond / Tetric Evo Ceram) in dentin.

The present results suggest that the all-in-one adhesives evaluated in this in vitro study cannot be recommended for the restoration of class-II-cavities.

## 2. Einleitung

Der gestiegene ästhetische Anspruch der Patienten sowie das Bestreben, bezahlbare Alternativen für Amalgam zu finden, dessen Akzeptanz stark gesunken ist, führten bis heute zu einer zunehmenden Anwendung adhäsiv befestigter Kompositmaterialien auch im Seitenzahnbereich (Frankenberger et al. 2005, Frankenberger 2002, Glockner et al. 1998).

Möglich wurde diese Erweiterung des Indikationsspektrums der Komposite durch die zunehmende Verbesserung ihrer physikalischen Eigenschaften. Wesentliches Ziel hierbei war die Reduktion der Polymerisationsschrumpfung, die das zentrale Problem bei der Applikation von Kunststofffüllungen darstellt und sich negativ auf den Randschluss auswirkt (Choi et al. 2000, Hannig et al. 2000). Übersteigt die Schrumpfkraft des Komposits die adhäsiven Verbundkräfte, entstehen bereits beim Legen der Füllung Randspalten (Ernst et al. 2004).

Neben der Reduktion der Schrumpfung ist die Erhöhung der Verschleißfestigkeit ebenfalls nach wie vor eines der wichtigsten Ziele.

Beide Verbesserungen - eine höhere Verschleißfestigkeit und eine geringere Polymerisationsschrumpfung - wurden im Vergleich zu früheren Kompositen durch die Einführung der Feinpartikelhybridkomposite erreicht. Durch den höheren Fülleranteil konnte die Polymerisationsschrumpfung auf ca. 3 % reduziert werden (Ernst et al. 2004, Haller et al. 2000, Hannig et al. 2000). Seit dem Jahr 2000 sind Nanofüller-Hybridkomposite auf dem Markt, die die physikalischen Eigenschaften und damit universelle Anwendbarkeit von Hybridkompositen mit ausgezeichneter Polierbarkeit und dem Oberflächenglanz der Mikrofüllerkomposite kombinieren (Ernst et al. 2005).

Um eine möglichst randspaltfreie Kompositrestauration zu erzielen, sollte man folgende Aspekte beachten:

Die inneren Kavitätenränder sollten abgerundet und die approximalen schmelzbegrenzten Kavitätenränder angeschrägt werden (Ben-Amar et al. 1987).

Zudem sollte bei der Applikation des Komposits stets viel freie Oberfläche im Vergleich zur gebundenen Oberfläche vorliegen.

Dadurch resultiert ein kleiner C-Faktor, der als Quotient aus freier zu gebundener Oberfläche des Komposits definiert wird. Bei kleinem C-Faktor kann in der viskös-elastischen Phase des Polymerisationsvorganges durch Nachfließen des Komposits eine Stressverringerung erreicht werden, was zu weniger Randspalten führt (Ernst et al. 2004). Daher sollte bei der Applikation des Komposits zur Verminderung der Schrumpfung die Inkrementtechnik angewendet werden (Glockner et al. 1998), bei der man sich dieses Prinzip durch nacheinander aufgetragene und polymerisierte Kompositschichten zunutze macht.

Zur Kompensation der Schrumpfungskräfte sind adhäsive Verbundkräfte nötig (Ernst et al. 2004). Der Zahnschmelz bietet durch seinen Aufbau aus Hydroxylapatitkristalliten, Schmelzprismen und seinen hohen Anteil an anorganischer Substanz (ca. 96%) hierfür gute Voraussetzungen.

1955 beschrieb Buonocore erstmals die Möglichkeit, durch Anätzen des Zahnschmelzes mittels Phosphorsäure ein mikroretentives Relief zu erzeugen, wodurch ein sicherer Verbund mit dem applizierten Komposit gewährleistet wird (Buonocore 1955). Durch unterschiedliche Säurelöslichkeit der Schmelzprismen im Zentrum und in der Peripherie entsteht beim Anätzen des Schmelzes durch Säure eine raue Struktur, die Adhäsiven das Einfließen ermöglicht und via Photopolymerisation zu einer innigen Verzahnung mit dem Zahnschmelz führt (Frankenberger 2002). Auch modernere selbstätzende Adhäsive, die ohne separate Phosphorsäureätzung angewendet werden, können trotz teilweise recht hohem pH eine gute Haftung am Zahnschmelz erzielen (Hannig et al. 2002). Obwohl das Ätzmuster vergleichsweise gering ausgeprägt ist, kann - während die selbstätzenden Primermoleküle den Schmelz anlösen - inter- und intrakristallin Monomer vordringen und eine stabile „interkristalline Nanoretention“ ausbilden (Hannig et al. 2002).

An marginal schmelzbegrenzten Restaurationen kann also eine gute Randqualität beobachtet werden, während bis heute die Versorgung von Läsionen, die sich bis in den Dentinbereich erstrecken, als problematisch gilt (De Munck et al. 2003, Glockner et al. 1998, Haller et al. 2000, Lang et al. 1998).

Grund hierfür ist der im Vergleich zum Zahnschmelz unterschiedliche Aufbau des Dentins mit seinem hohen Gehalt an organischen Bestandteilen – insbesondere Kollagenfasern – und dem wesentlich niedrigeren Anteil an Hydroxylapatitkristallen, die zudem noch unregelmäßig angeordnet sind (Frankenberger et al. 2004, Swift et al. 1995). Auch der hohe Wasser- bzw. Feuchtigkeitsgehalt des Dentins erschwert die adhäsive Verankerung von Kompositen.

Einen wesentlichen Fortschritt zur Verbesserung der Dentinhaftung brachte die Ausdehnung der Konditionierung auf den Dentinbereich, was die Voraussetzung zur Ausbildung einer Hybridschicht ist, erstmals beschrieben von Nakabayashi et al. (1982). Durch Konditionieren der Dentinoberfläche wird diese demineralisiert, der smear layer gelöst und bei etch-and-rinse-Systemen auch vollständig entfernt. Nachfolgend aufgetragene Primer und Adhäsive können in das freigelegte Kollagennetzwerk penetrieren und bilden zusammen mit diesem die bereits erwähnte Hybridschicht. Diese ist Grundvoraussetzung für einen stabilen Haftverbund zwischen Dentin und Komposit (Frankenberger et al. 2004). Alle modernen Dentinadhäsivsysteme basieren auf der Ausbildung einer Hybridschicht, wirken also in ähnlicher Weise (Blunck et al. 1997).

Seit vielen Jahren findet eine stetige Weiterentwicklung der Dentinadhäsive statt, zum einen, um die Haftung zu verbessern, zum anderen, um die Anwendung möglichst zu vereinfachen und zu verkürzen. So existiert heute eine Vielzahl verschiedener Adhäsivsysteme auf dem Markt (Abo et al. 2004). Einen sehr guten Überblick über die verschiedenen Arten der Adhäsive gibt die Einteilung von De Munck und Van Meerbeek, die grundsätzlich eine Trennung nach selbststützenden Adhäsiven und Adhäsiven mit separatem Ätzzvorgang vornehmen und diese beiden Hauptgruppen dann noch einmal nach der Anzahl der benötigten Arbeitsschritte unterteilen (De Munck et al. 2005).

Eines der Hauptbestreben der letzten Jahre war die Reduktion der benötigten Arbeitsschritte, um eine einfachere Handhabung zu erreichen (Grégoire et al. 2005) und dennoch eine Verbesserung von Retention und Randschlussqualität zu erzielen (Haller et al. 2000).

Seit etwa zehn Jahren werden auch sogenannte All-in-one-Adhäsive angeboten, die alle benötigten Arbeitsschritte von der Applikation des Ätzgels bis zum Auftragen des Adhäsivs in einem einzigen Schritt vereinen und so dem Trend nach schnell und einfach anzuwendenden Adhäsiven gerecht werden (De Munck et al. 2005).

Sie enthalten funktionelle, reaktive Monomere, beispielsweise mit Phosphatresten zum Anätzen der Zahnhartsubstanz und einem hydrophoben Ende mit Methacrylatresten als funktionelle Gruppen. Neben reduzierter Applikationszeit und einer Vereinfachung der Anwendung (Abo et al. 2004, Atash et al. 2005, Frankenberger et al. 2004) wird den All-in-one-Adhäsiven auch der Vorteil einer reduzierten Techniksensitivität nachgesagt (Chersoni et al. 2004, Hashimoto et al. 2003, Jacobsen et al. 2003, Koshiro et al. 2006, Peumans et al. 2005, Yoshida et al. 2004). Somit sollen mögliche Fehler, die zu verminderter initialer oder dauerhafter Haftung führen, eliminiert bzw. abgemildert werden. Beispiel hierfür ist die Übertrocknung des Dentins nach der Konditionierung und vor der Primerapplikation, was ein Kollabieren des Kollagengerüsts (bis zu 65%) bewirken kann (Carvalho et al. 2003), so dass die Infiltration der Primer in das Kollagennetz beeinträchtigt wird. Ein weiteres Beispiel ist die entstehende Diskrepanz zwischen der Demineralisationstiefe durch die applizierte Säure und der nachfolgenden Penetrationstiefe der Monomere (Peumans et al. 2005). Mittlerweile wurde jedoch nachgewiesen, dass es auch bei einigen All-in-one-Adhäsiven zu einer gewissen Diskrepanz zwischen der Demineralisationstiefe und dem Vordringen des Monomers kommen kann (Carvalho et al. 2005).

Bei neueren All-in-one-Adhäsiven, die mit mildereren Säuremonomeren arbeiten, verbleiben Hydroxylapatitkristalle um die Kollagenfibrillen und können mit den funktionellen Monomeren reagieren (Koshiro et al. 2006, Koshiro et al. 2005).

So gibt es Hinweise, dass es auch zu einer chemischen Bindung zwischen dem Calcium der Hydroxylapatitkristalle und bestimmten funktionellen Monomeren kommt (Fu et al. 2004, Fu et al. 2005, Yoshida et al. 2004). Dies könnte zusätzlich zur mechanischen Bindung zu einer guten Langzeitprognose beitragen (Koshiro et al. 2004).

Durch die nur leichte Dekalzifikation des Dentins entsteht hier außerdem ein sehr schmales Interface ( $\leq 300$  nm), welches im Gegensatz zur herkömmlichen Hybridschicht „nanointeraction zone“ genannt wird, von der man annimmt, dass sie eine gute Dauerhaftigkeit aufweist (Koshiro et al. 2006).

Ein Nachteil der All-in-one-Adhäsive ist allerdings ihre Funktion als semipermeable Membran (Hashimoto et al. 2004, Hashimoto et al. 2005, Tay et al. 2004), was vermehrt zum Auftreten sogenannter „water trees“ führt. Diese wasserhaltigen Kanäle stehen in Verdacht, potentielle Ausgangspunkte für Bonding-Degradation oder Kollagenhydrolyse zu sein (Hashimoto et al. 2005).

Nach wie vor gibt es eine kontroverse Diskussion über die Qualität von mit vereinfachten Adhäsiven gelegten Kompositrestaurationen. Da in der Literatur fast ausschließlich über Haftfestigkeitswerte berichtet wird, soll in dieser Arbeit die Effektivität moderner All-in-one-Adhäsive beim Legen von Klasse-II-Kompositfüllungen durch Simulation der klinischen Belastung mittels eines Kausimulators überprüft werden, was innerhalb der Laborverfahren die hierfür anerkannteste Methode darstellt (Frankenberger 2002).

#### Fragestellung

1. Kann mit den untersuchten All-in-one-Adhäsiven initial ein spaltfreier Übergang zwischen Restauration und Zahnhartsubstanz erreicht werden?
2. Wie wirkt sich eine thermische und mechanische Wechselbelastung auf die Füllungsrandqualität aus?
3. Gibt es Qualitätsunterschiede zwischen Füllungsrandern im Schmelz und im Dentin?
4. Unterscheiden sich die Füllungsmaterialien hinsichtlich ihrer internen Adaptation voneinander?
5. Wie wirkt sich die Anwendung unterschiedlicher Komposite bei gleichem Adhäsiv aus?

### 3. Material und Methode

#### 3.1 Vorbereiten der Zähne und Kavitätenpräparation

Als Material für die vorliegende Untersuchung wurden 56 unbeschädigte, kariesfreie, extrahierte menschliche Molaren verwendet. Sie wurden zunächst in 0,1%-iger Thymollösung gelagert. Nach manueller und maschineller Reinigung erfolgte die Lagerung in Wasser, welches 1mal wöchentlich gewechselt wurde.

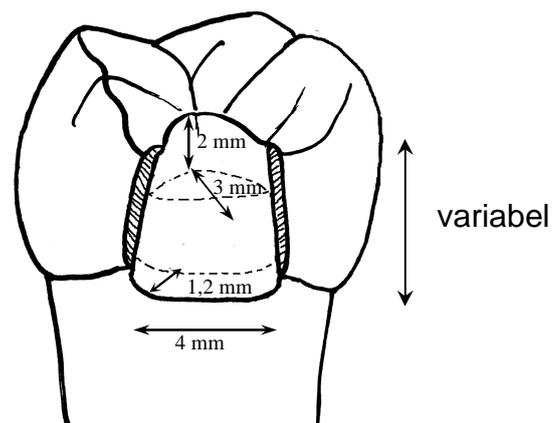
In jeden Zahn wurde eine zweiflächige Kavität präpariert, die entweder die mesial-okklusalen oder die okklusal-distalen Flächen einbezog. Die Präparation des approximalen Kavitätenbereichs wurde leicht birnenförmig mit abgerundeten Ecken ausgeführt. Die zervikale Stufe lag 1 mm apikal der Schmelz-Zement-Grenze und hatte in bucco-oraler Richtung eine Breite von 4 mm. Die Tiefe der Stufe zwischen Kavitätenwand und pulpoaxialer Wand betrug 1,2 mm (Abb. 1).

Die okklusale Kavität wurde im tiefsten Punkt 2 mm tief präpariert, der Abstand von der zentralen Präparationsgrenze zur späteren approximalen Füllungsoberfläche betrug 3 mm.

Die gesamte Kavität wurde abschließend finiert (8830L 314 010; Komet), die approximalen Schmelzränder wurden im Winkel von  $45^\circ$  0,5 mm breit angeschrägt.

**Abb. 1:**

Schematische Darstellung der Kavitätenpräparation.



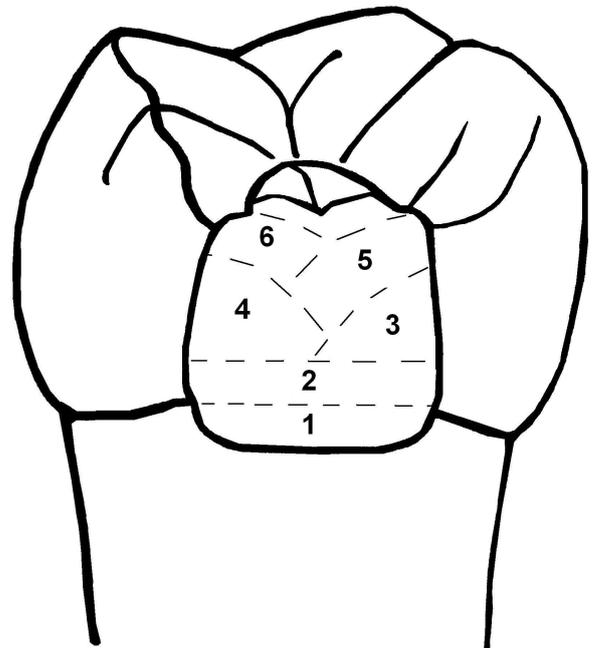
## 3.2 Füllungstechnik

Die 56 gleichartig präparierten Zähne wurden auf sieben Gruppen zu je acht Zähnen verteilt (n=8) und mit den in Tab. 1 angegebenen Materialkombinationen restauriert. Die Haftvermittler wurden entsprechend der Herstellerangaben (Tab. 2) angewendet. Die Applikation erfolgte mit Hilfe eines Mikrobrush. Sowohl die Haftvermittler als auch die Kompositenschichten wurden von okklusal polymerisiert. Zum Aushärten des Komposits wurde eine Polymerisationslampe Modell Astralis 7 (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, Jagst, D) verwendet. Die Füllungen wurden in Inkrementtechnik gelegt (Abb. 2), wobei jede Schicht 40 s polymerisiert wurde. Die maximale Schichtdicke betrug im zervikalen Bereich 1 mm, weiter okklusal 2 mm. Zur Ausarbeitung wurden Finierdiamanten (8863 314 012; Komet), Gummipolierer (9608 204 030; Komet) und flexible Polierscheiben in abnehmenden Korngrößen (Sof-Lex Pop-on; 3M, Borken, D) verwendet.

Die Qualität der Ausarbeitung wurde anschließend unter dem Auflichtmikroskop kontrolliert.

### Abb. 2:

Schematische Darstellung der Inkrementtechnik.  
Die Ziffern geben die Schichtungsreihenfolge der Inkremente an.



**Tabelle 1** Verwendete Kombinationen von Adhäsiven und Kompositen in den einzelnen Gruppen

<b>Gruppe</b>	<b>Adhäsiv</b> ( Hersteller )	<b>Komposit</b> ( Hersteller )
<b>1</b>	<b>Xeno III</b> (DENTSPLY DeTrey GmbH, Konstanz, D)	<b>Tetric Evo Ceram</b> (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, D)
<b>2</b>	<b>Xeno III</b> (DENTSPLY DeTrey GmbH, Konstanz, D)	<b>Ceram X</b> (DENTSPLY DeTrey GmbH, Konstanz, D)
<b>3</b>	<b>i-Bond</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)	<b>Venus</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)
<b>4</b>	<b>Prototyp EP 1</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)	<b>Venus</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)
<b>5</b>	<b>Prototyp AK 3</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)	<b>Venus</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)
<b>6</b>	<b>Futurabond</b> (VOCO GmbH, Cuxhaven, D)	<b>Grandio</b> (VOCO GmbH, Cuxhaven, D)
<b>7</b>	<b>Futurabond</b> (VOCO GmbH, Cuxhaven, D)	<b>Tetric Evo Ceram</b> (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, D)

**Tabelle 2** Zusammensetzung und Anwendung der verwendeten Haftvermittler

<b>Produkt</b> (Hersteller)	<b>Komponenten</b>	<b>Anwendung</b>
<b>Xeno III</b> (DENTSPLY DeTrey GmbH, Konstanz, D)	<b>Xeno III Flüssigkeit A</b> (HEMA, H <sub>2</sub> O, Ethanol, 2,6-Di-tert-p-hydroxytoluol(=BHT))  <b>Xeno III Flüssigkeit B</b> (Pyro-EMA, PEM-F, UDMA, BHT, Kampferchinon, p-Dimethyl-aminoethyl-benzoat(=EPD))	-beide Flüssigkeiten ca. 5 s. gründlich vermischen -alle Kavitätenflächen mit Xeno III reichlich benetzen -mind. 20 s einwirken lassen -mind. 2 s sanft verblasen -mind. 10 s aushärten
<b>i-Bond</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)	<b>i-Bond</b> (UDMA, 4-Methacryloyloxytrimellitsäureanhydrid(=4-META), Glutarialdehyd, Aceton, H <sub>2</sub> O, Photoinitiatoren, Hilfsstoffe)	-i-Bond in reichlicher Menge auf die Kavitätenoberfläche auftragen -zwei weitere Schichten i-Bond auftragen -30 s einwirken lassen, leicht einmassieren -i-Bond einige Sekunden sanft verblasen, Kavitätenoberfläche muss durchgängig glänzend erscheinen -20 s polymerisieren
<b>Prototyp EP 1</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)	<b>EP 1</b> (UDMA, 4-Methacryloyloxytrimellitsäureanhydrid(=4-META), Glutarialdehyd, Phosphorsäureester, SiO <sub>2</sub> (<10%), Aceton, H <sub>2</sub> O, Photoinitiatoren, Hilfsstoffe)	-EP1 in reichlicher Menge auf die Kavitätenoberfläche auftragen, leicht einmassieren -Pinsel neu benetzen, zweite Schicht wie beschrieben auftragen -20 s einwirken lassen -sorgfältig verblasen, Oberfläche muß sichtbar glänzend sein -20 s lichthärten
<b>Prototyp AK 3</b> (Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau, D)	<b>AK 3</b> (UDMA, 4-Methacryloyloxytrimellitsäureanhydrid(=4-META), Glutarialdehyd, Phosphorsäureester, Aceton, H <sub>2</sub> O, Photoinitiatoren, Hilfsstoffe)	-AK 2 in reichlicher Menge auf die Kavitätenoberfläche auftragen, leicht einmassieren -Pinsel neu benetzen, zweite Schicht wie beschrieben auftragen -20 s einwirken lassen -sorgfältig verblasen, Oberfläche muß sichtbar glänzend sein -20 s lichthärten
<b>Futurabond</b> (VOCO GmbH, Cuxhaven, D)	<b>Futurabond Liquid A</b> (H <sub>2</sub> O, Ethanol, SiO <sub>2</sub> -Nanofüller)  <b>Futurabond Liquid B</b> (Dimethacrylate, säuremodifizierte Methacrylate, HEMA, Initiatoren, Stabilisatoren)	-Liquid A und B ca. 5 s mischen -nicht zu dünne Schicht auftragen, 20 s einmassieren -mind. 5 s trocknen -10 s polymerisieren

Nach dem Legen der Füllungen und anschließender 24-stündiger Wasserlagerung wurden alle approximalen Füllungsråder mit dem additionsvernetzenden Silikon President light body (Coltène, Whaledent AG, Altstätten, Schweiz) abgeformt.

### 3.3 Thermocycling und Kausimulation

Im Anschluss wurden alle Zähne einer thermischen Wechselbelastung (5°C/ 55°C, 2500 Zyklen à 70 Sekunden) unterzogen. Danach erfolgte wieder eine Abformung mit dem additionsvernetzenden Silikon President light body.

Zuletzt wurden alle Zähne 200.000 Zyklen im Kausimulator mit einer Kraft von 70 N mechanisch belastet, wobei menschliche Prämolaren als Antagonisten verwendet wurden. Die Kontaktpunkte lagen im zentralen Bereich jeder Füllung. Auch nach Kausimulation wurden alle approximalen Füllungsflächen mit President light body abgeformt.

### 3.4. Herstellung der Replikamodelle / Vorbereitung der REM – Analyse

Alle im Versuchsverlauf mit President light body hergestellten Abformungen wurden mit Stycast (1266, T-E-Klebertechnik, Hannover, D) ausgegossen. Die Replikas wurden zur rasterelektronenmikroskopischen Auswertung mit Leitsilber (Leit-C nach Göcke, Neubauer Chemikalien, 48031 Münster) auf Probenteller aufgebracht und mit Gold besputtert.

### 3.5 Rasterelektronenmikroskopische Füllungsrandanalyse

Die rasterelektronenmikroskopische Füllungsrandanalyse der hergestellten Replikamodelle wurde bei 500-facher Vergrößerung in 100 µm - Schritten durchgeführt.

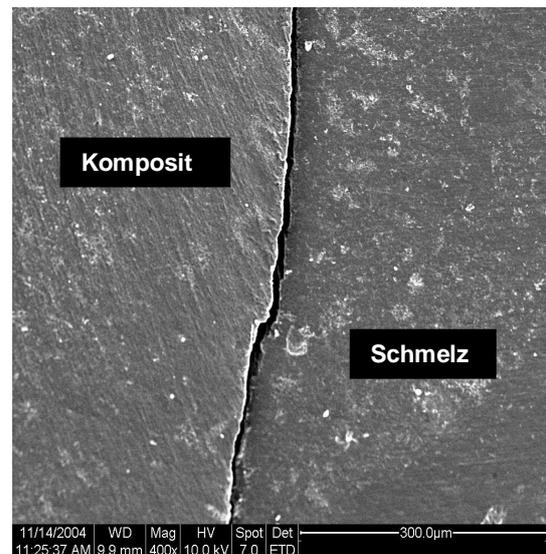
Die Bewertungskriterien waren:

- Randspalt (Abb.3)
- kontinuierlicher Randübergang (Abb.4)
- Quellung (Abb.5)

Schmelz- und Dentinränder wurden getrennt ausgewertet. Dokumentiert wurden die Gesamtrandlängen und die Länge der Randabschnitte entsprechend der einzelnen Bewertungskriterien. Somit konnte der prozentuale Anteil der einzelnen Füllungsrandkriterien bezogen auf die Gesamtlänge der Schmelz- bzw. Dentinränder einer Probe errechnet werden.

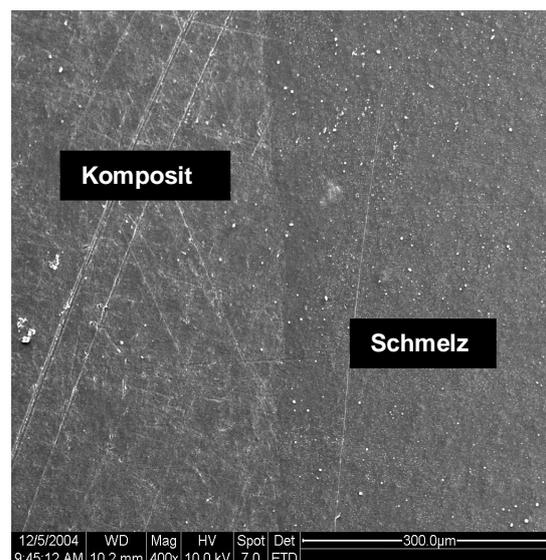
**Abb. 3:**

REM – Aufnahme eines Randspaltes  
(schmelzbegrenzter Füllungsrand nach  
mechanischer Belastung,  
Versuchsgruppe 3)



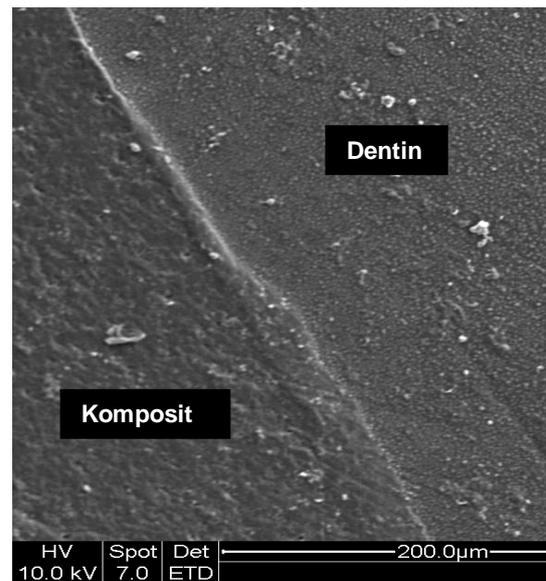
**Abb. 4:**

REM – Aufnahme eines kontinuierlichen  
Randüberganges  
(schmelzbegrenzter Füllungsrand nach  
Legen der Füllung, Versuchsgruppe 1)



**Abb. 5:**

REM – Aufnahme einer Aufquellung im Füllungsrandbereich (dentinbegrenzter Füllungsrand nach Thermocycling, Versuchsgruppe 4)



### 3.6 Der Farbstoffpenetrationstest

Zum Abschluss der Untersuchungen wurde bei allen Zähnen nach der Kausimulation ein Farbstoffpenetrationstest durchgeführt. Dazu wurden alle Foramina apicalia mit Komposit verschlossen und der komplette Zahn mit Ausnahme der Füllung und der unmittelbar an sie angrenzenden Zahnhartsubstanz mit Nagellack versiegelt.

Die so präparierten Zähne lagerten 24 Stunden in 0,5%-igem Methylenblau und wurden anschließend gründlich unter fließendem Wasser abgespült.

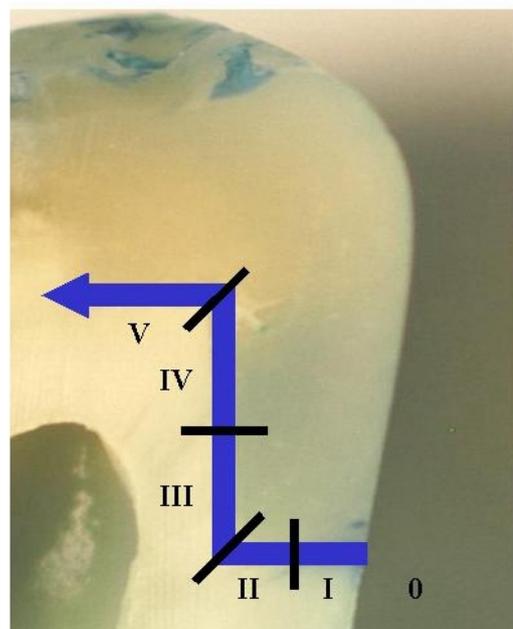
Mit Hilfe eines Sagittalschnittes durch den zentralen Zahnanteil wurde jeder Zahn in zwei Hälften geteilt und jede Hälfte mit Hilfe einer Digitalkamera (Nikon D 100) mit Makroobjektiv (AF Micro-Nikkor 105 mm 1:2,80) hinsichtlich der Farbstoffpenetration dokumentiert und entsprechend nach folgender Gradeinteilung beurteilt.

## Gradeinteilung der Farbstoffpenetration:

- Grad 0: farbdichter Verbund
- Grad 1: Penetration von Farbstoff bis maximal zur Hälfte der zerviko – approximalen Stufe
- Grad 2: Penetration von Farbstoff auf ganzer Länge der zerviko – approximalen Stufe
- Grad 3: Penetration von Farbstoff bis maximal zur Hälfte der axialen Kavitätenwand
- Grad 4: Penetration von Farbstoff auf ganzer Länge der axialen Kavitätenwand
- Grad 5 : Penetration von Farbstoff in den Bereich des okklusalen Kavitätenbodens

### Abb. 6:

Auflichtmikroskopische Aufnahme eines Füllungsquerschnittes mit schematischer Darstellung der Penetrationsgrade



### 3.7 Statistik

Für die statistische Analyse wurde die Häufigkeit der einzelnen Kriterien innerhalb der einzelnen Versuchsgruppen nach den verschiedenen Belastungstests und zwischen den einzelnen Gruppen verglichen. Dazu wurden die Testverfahren nach Kruskal-Wallis (H-Test) und nach Mann-Whitney (U-Test) herangezogen. Das Signifikanzniveau lag jeweils bei  $p < 0,05$ . Zum Vergleich der Ergebnisse der Randauswertungen an den Schmelz- und Dentinrändern wurde der Wilcoxon-Test verwendet. Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe von SPSS for windows 12.0 (SPSS, Inc. Chicago, Illinois, USA)

## 4. Ergebnisse

### 4.1. Rasterelektronenmikroskopische Füllungsrandanalyse

#### 4.1.1 Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen schmelz- und dentinbegrenzten Restaurationsränder

Die Abbildungen 7 bis 9 zeigen die graphische Darstellung der Ergebnisse der Füllungsrandanalyse in den einzelnen Gruppen in Form von Boxplotdiagrammen. Dargestellt ist jeweils der prozentuale Randspaltanteil in Bezug auf die Gesamtrandlänge bei den jeweiligen Belastungsstufen, die mit **24** (nach Legen der Füllungen und anschließender 24-stündiger Wasserlagerung), **TC** (nach Thermocycling) und **ML** (nach mechanischer Belastung) gekennzeichnet sind.

Schmelz- und Dentinwerte sind getrennt dargestellt. Der Median wird durch den schwarzen Querbalken repräsentiert, der Kasten entspricht jeweils der Darstellung des 25. bis 75. Perzentils. Signifikante Unterschiede zwischen den Spaltanteilen an Schmelz- und Dentinrändern innerhalb einer Gruppe sind mit einem Stern markiert.

Abbildung 7 zeigt im Vergleich die Ergebnisse von Gruppe 1 und 2, bei denen das Adhäsiv Xeno III mit den Kompositen Tetric Evo Ceram und Ceram X angewendet wurde. Die Belastung hatte einen signifikanten Einfluss auf die Entstehung von Randspalten im Schmelzbereich und im Dentinbereich.

Vergleicht man Schmelz- und Dentinwerte der beiden Gruppen miteinander, so zeigte Xeno III mit Tetric Evo Ceram etwas weniger Randspalten als mit Ceram X, jedoch waren diese Unterschiede weder im Schmelz- noch im Dentinrandbereich signifikant.

Es gab auch keine signifikanten Unterschiede beim Vergleich der Schmelz- und Dentinränder innerhalb der einzelnen Gruppen mit Ausnahme von Gruppe 2 nach Belastungsstufe 24 ( $p=0,036$ ).

Abbildung 8 veranschaulicht parallel zu Abbildung 7 die Ergebnisse für die Gruppen 3, 4 und 5. Hier wurde das Komposit Venus mit den Adhäsiven i-Bond (Gr. 3), EP1 (Gr.4) und AK3 (Gr.5) angewendet.

Auch hier hatte die Belastung einen signifikanten Einfluss auf die Entstehung von Randspalten, sowohl im Schmelzbereich (jeweils  $p < 0,001$ ) als auch im Dentinbereich (Gr.3:  $p = 0,005$ , Gr.4:  $p < 0,001$ , Gr.5:  $p < 0,002$ ).

Im Gruppenvergleich zeigten sich nach Belastungsstufe „24“ bei Gruppe 4 im Schmelzbereich statistisch signifikant weniger Spalten als bei Gruppe 3 und 5 ( $p < 0,001$  bzw.  $p = 0,003$ ), bei den Dentinrändern gab es keine statistisch signifikanten Unterschiede. Nach thermischer Belastung gab es im Schmelzbereich keine signifikanten Unterschiede, die Dentinränder von Gruppe 4 wiesen jedoch statistisch signifikant mehr Randspalten auf als die Gruppen 3 und 5.

Nach mechanischer Belastung waren weder im Schmelz- noch im Dentinbereich statistisch signifikante Unterschiede bezüglich der Randspalten zwischen den Gruppen 3, 4 und 5 feststellbar.

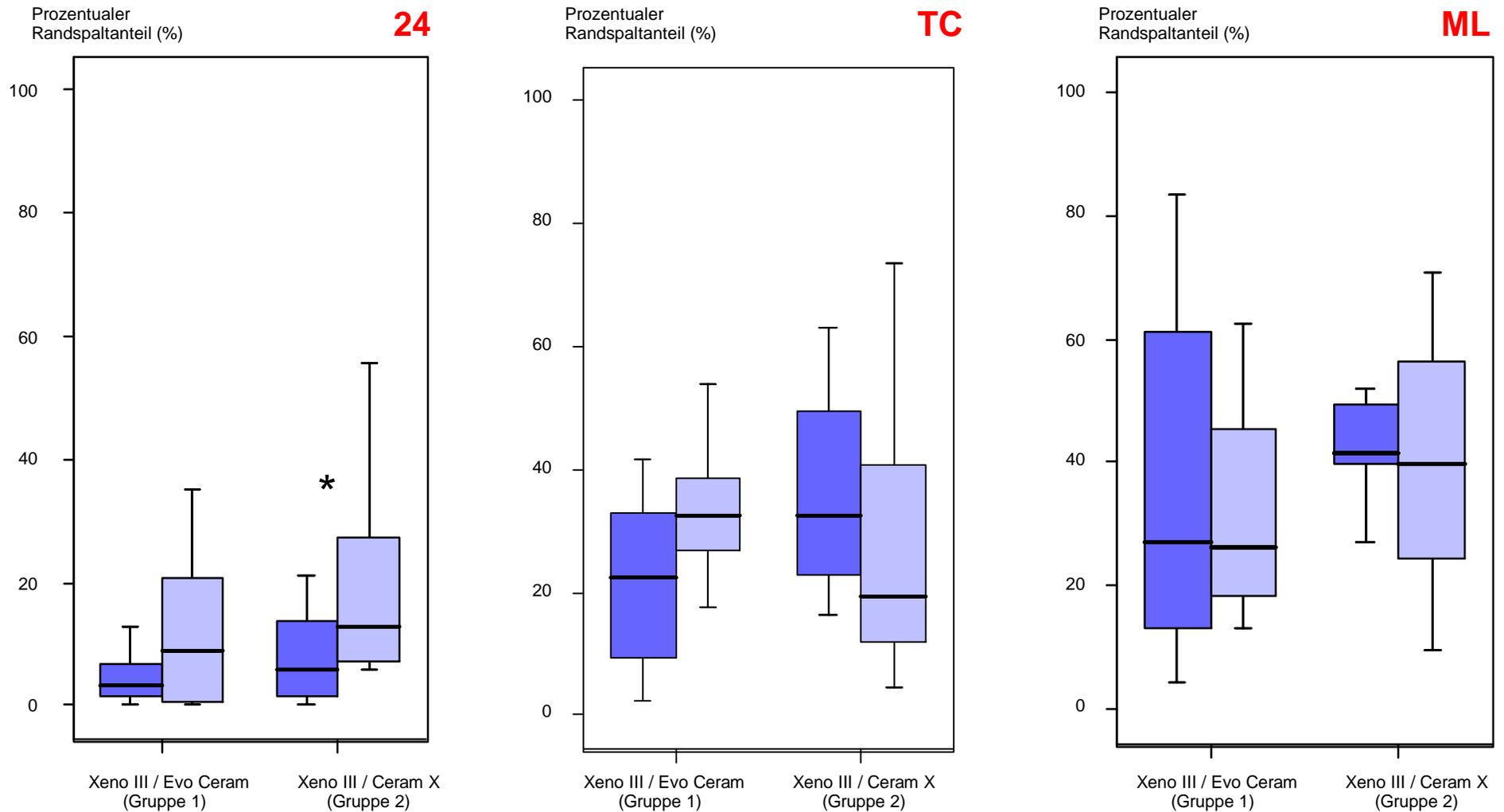
Innerhalb der einzelnen Gruppen zeigten die Schmelzbereiche stets mehr Randspalten als die Dentinbereiche. Bis auf Gruppe 4 nach Belastungsstufe „ML“ war dieser Unterschied auch immer statistisch signifikant.

Abbildung 9 stellt graphisch die Randspaltanalyse der Gruppen 6 und 7 dar. Hier war wie bei den Gruppen 1 und 2 ein Adhäsiv (Futurabond) mit zwei unterschiedlichen Kompositen (Gruppe 6 - Grandio, Gruppe 7 – Tetric Evo Ceram) angewendet worden.

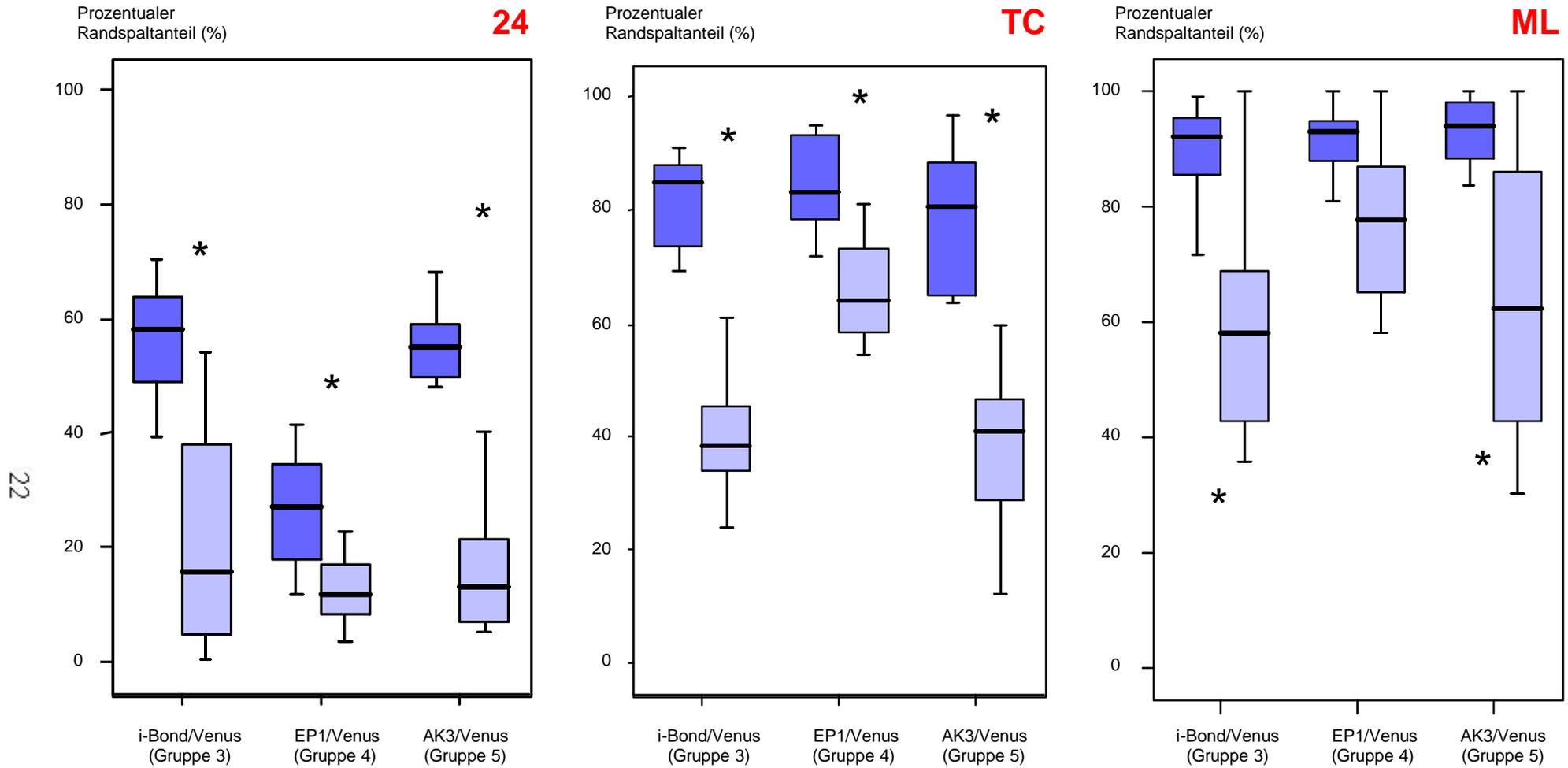
Auch hier hatte die Belastung generell einen signifikanten Einfluss auf die Entstehung von Randspalten.

Bei keiner der drei Belastungsstufen unterschieden sich im Gruppenvergleich die Schmelz- bzw. Dentinwerte signifikant voneinander.

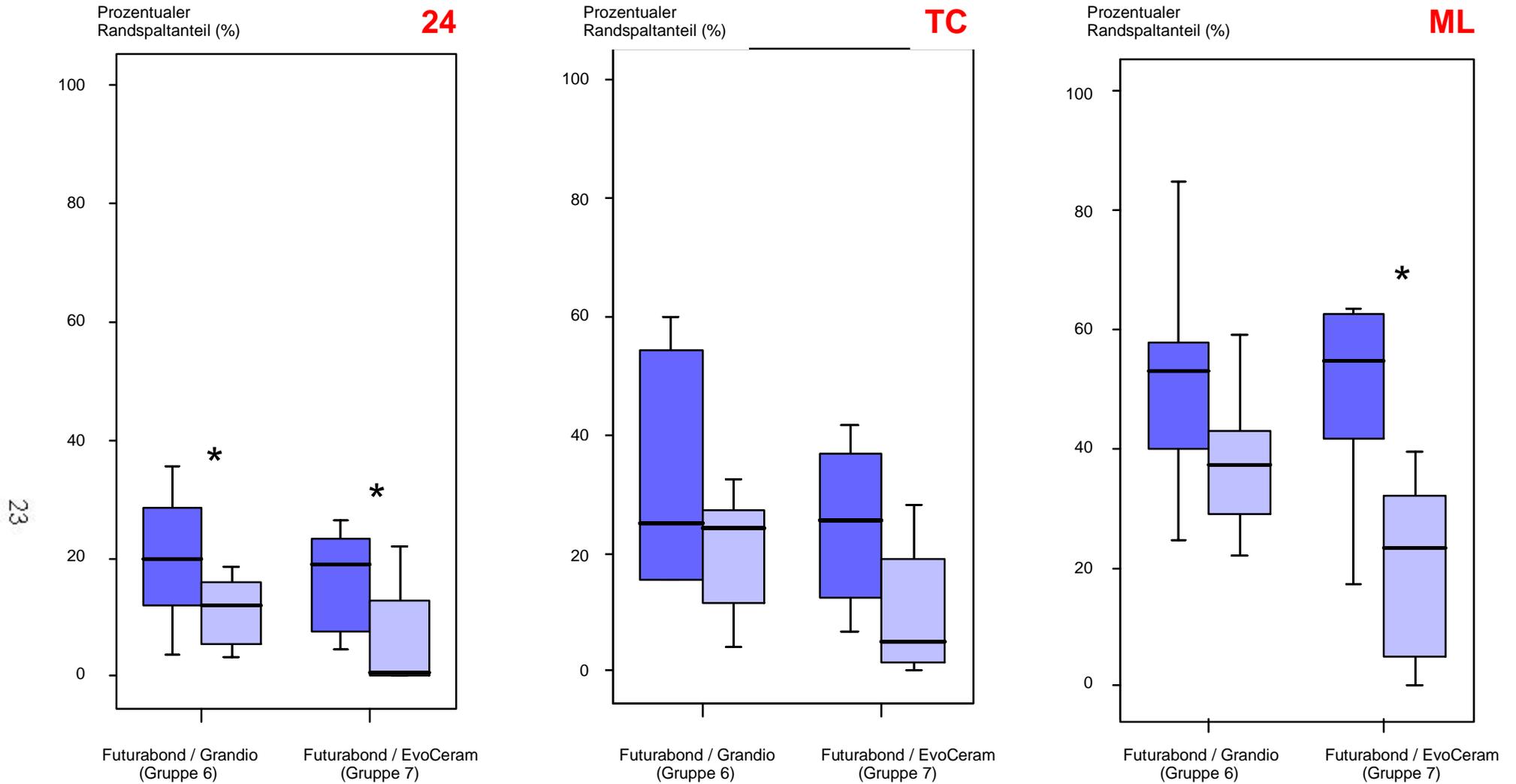
Signifikante Unterschiede zwischen Schmelz- und Dentinwerten innerhalb der einzelnen Gruppen zeigten sich bei beiden Gruppen nach Belastungsstufe „24“ und bei Gruppe 7 nach „ML“. Der Randspaltanteil im Dentin war bei beiden Gruppen stets geringer als im Schmelz.



**Abb. 7:** Boxplotdiagramme der Gruppen 1 und 2 für das Randkriterium „Randspalt“ in % nach der jeweiligen Belastungsstufe (24 = nach Legen der Füllungen und anschließender 24-stündiger Wasserlagerung, TC = nach Thermocycling, ML = nach mechanischer Belastung, ■ = Schmelzbereich, ■ = Dentinbereich, Balken = Median, Kasten = 25. Perzentil bis 75. Perzentil, \* = signifikanter Unterschied der Randspaltanteile zwischen Schmelz und Dentin innerhalb einer Gruppe)



**Abb. 8:** Boxplotdiagramme der Gruppen 3,4 und 5 für das Randkriterium „Randspalt“ in % nach der jeweiligen Belastungsstufe (24 = nach Legen der Füllungen und anschließender 24-stündiger Wasserlagerung, TC = nach Thermocycling, ML = nach mechanischer Belastung, ■ = Schmelzbereich, □ = Dentinbereich, Balken = Median, Kasten = 25. Perzentil bis 75. Perzentil, \* = signifikanter Unterschied der Randspaltanteile zwischen Schmelz und Dentin innerhalb einer Gruppe)



**Abb. 9:** Boxplotdiagramme der Gruppen 6 und 7 für das Randkriterium „Randspalt“ in % nach der jeweiligen Belastungsstufe (24 = nach Legen der Füllungen und anschließender 24-stündiger Wasserlagerung, TC = nach Thermocycling, ML = nach mechanischer Belastung, ■ = Schmelzbereich, ■ = Dentinbereich, Balken = Median, Kasten = 25. Perzentil bis 75. Perzentil, \* = signifikanter Unterschied der Randspaltanteile zwischen Schmelz und Dentin innerhalb einer Gruppe)

#### 4.1.2 Vergleichende Darstellung der Füllungsrandanalyse aller Gruppen

Die Abbildungen 10, 11 und 12 zeigen im Überblick die Ergebnisse der Füllungsrandanalyse der Gruppen 1 bis 7 in Form gestapelter Säulendiagramme, wobei auch das Bewertungskriterium „Aufquellung“ berücksichtigt ist. Dargestellt sind die Mittelwerte der Bewertungskriterien Randspalt, kontinuierliche Übergänge und Quellung als prozentualer Anteil an der Gesamtrandlänge nach den jeweiligen Belastungen.

Abbildung 10 verdeutlicht die Ergebnisse nach Legen der Füllungen und anschließender 24-stündiger Wasserlagerung.

Die Gruppen 3 und 5 zeigten an den Schmelzrändern bereits einen Randspaltanteil von über 50% und damit signifikant mehr Spalten als alle anderen Gruppen. An den Dentinrändern hingegen gab es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Randspalten. Alle Gruppen verfügten hier im Mittel noch über deutlich mehr als 70% kontinuierlichen Randüberganges.

Hinsichtlich des Auftretens des Kriteriums „Quellung“ ließ sich im Dentinbereich ein signifikanter Einfluss der verwendeten Adhäsive feststellen.

Die mit Futurabond gelegten Kompositrestaurationen wiesen im Dentin einen signifikant höheren Aufquellungsanteil auf als die „Heraeus Kulzer“ – Gruppen ( $p=0,009$ ) und tendenziell mehr Aufquellungen, als die mit Xeno III gelegten Füllungen.

Abbildung 11 verdeutlicht die generelle Abnahme des spaltfreien Füllungsrandes nach Thermocycling.

Im Schmelz war der Anteil des kontinuierlichen Füllungsrandes bei Gruppe 3, 4 und 5 auf etwa 20% bzw. weniger gesunken. Diese Gruppen wiesen einen signifikant höheren Spaltanteil auf als die übrigen, die sich untereinander nur in Tendenzen unterschieden.

Im Dentinbereich waren die Unterschiede weniger deutlich. Bei Gruppe 4 waren mit etwa 34% kontinuierlichem Rand signifikant mehr Spalten zu verzeichnen als bei allen anderen Gruppen.

Auch nach Thermocycling war der Einfluss des Adhäsivs bezüglich des Auftretens von Aufquellungen im Dentinbereich signifikant. Erneut lag die Aufquellungsrate der Futurabond - Gruppe höher als die der anderen Gruppen, im Vergleich zu der „Heraeus Kulzer“ - Gruppe war der Unterschied wieder signifikant ( $p=0,001$ ).

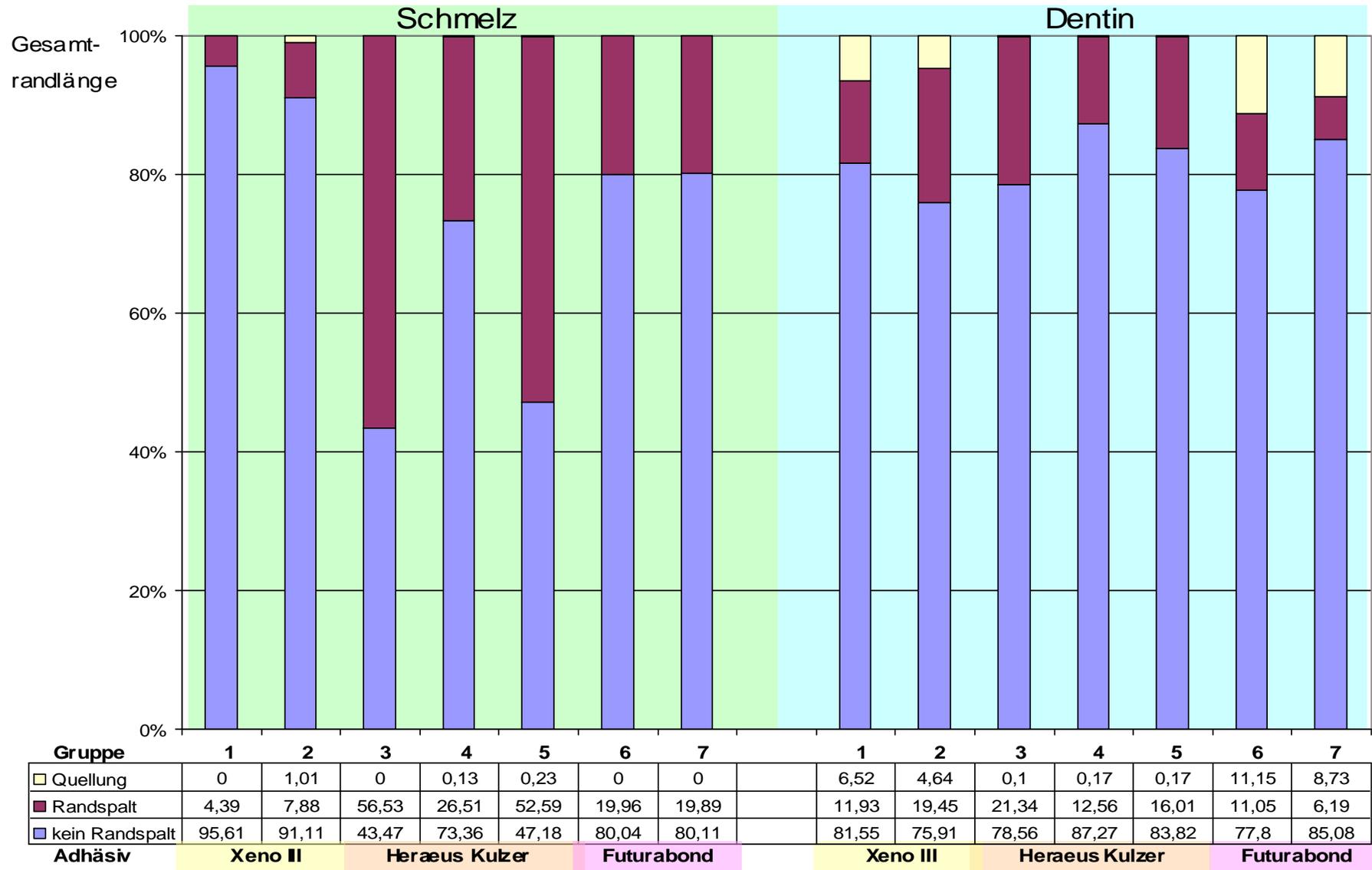
Die Ergebnisse nach mechanischer Belastung sind in Abbildung 12 graphisch dargestellt.

Der Anteil der Randspalten in Relation zur Gesamtrandlänge in den Gruppen 3, 4 und 5 betrug knapp 90% bzw. über 90 %. Alle anderen Gruppen wiesen im Schmelz signifikant mehr kontinuierliche Randübergänge auf. Jedoch war der Anteil des spaltfreien Randübergangs auch in Gruppe 1, die am wenigsten Spalten aufwies, auf 61,91 % gesunken.

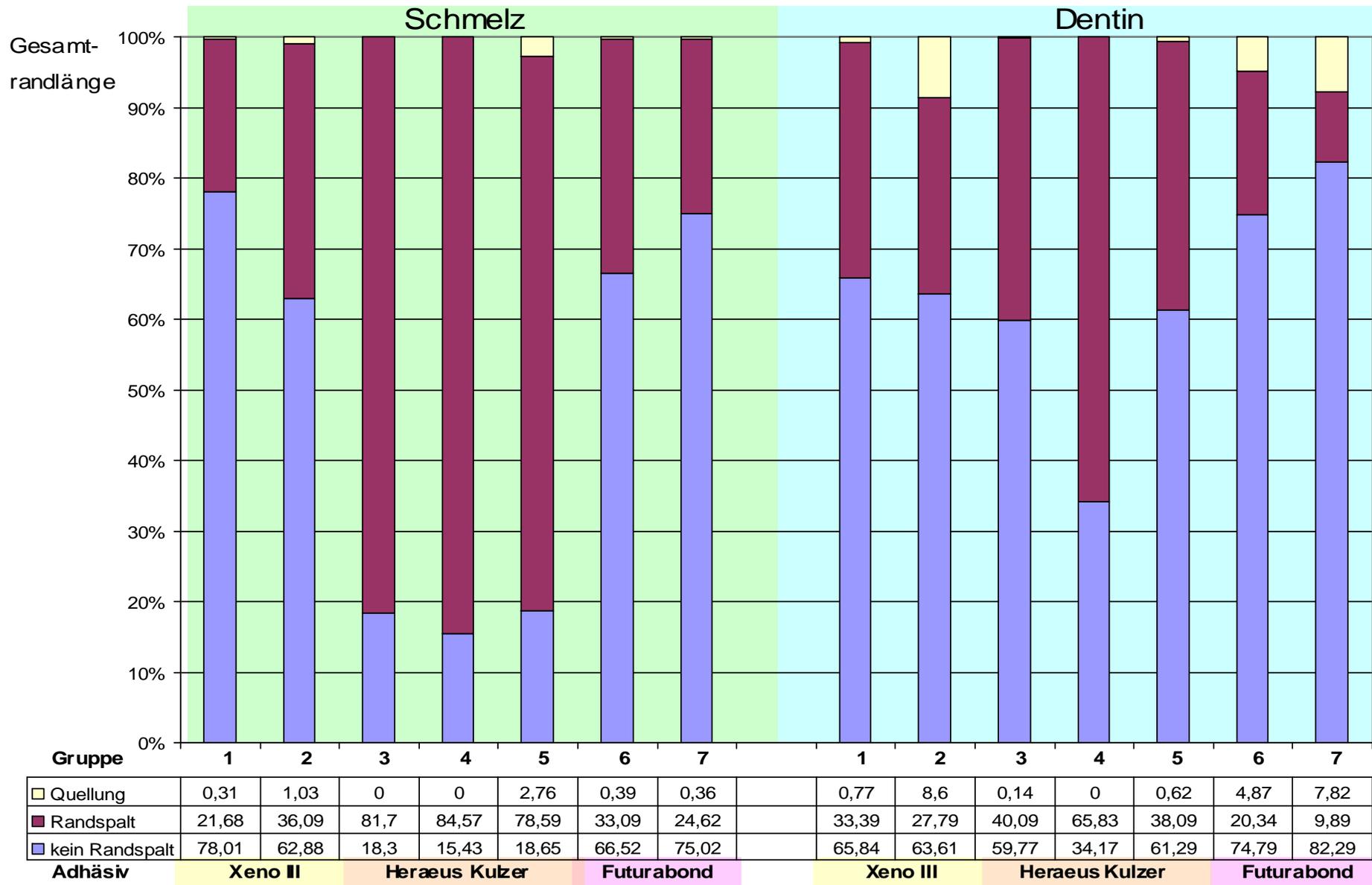
Auch im Dentin ergab die Randspaltanalyse der Gruppen 3, 4 und 5 weniger kontinuierliche Randübergänge als in den übrigen Gruppen. Gruppe 4 hatte mit 77,12 % den höchsten Randspaltanteil und damit signifikant mehr Spalten als Gruppe 1, 2, 6 und 7.

Der signifikante Einfluss des Adhäsivs auf die Aufquellungen im Randbereich manifestierte sich auch nach Kausimulation.

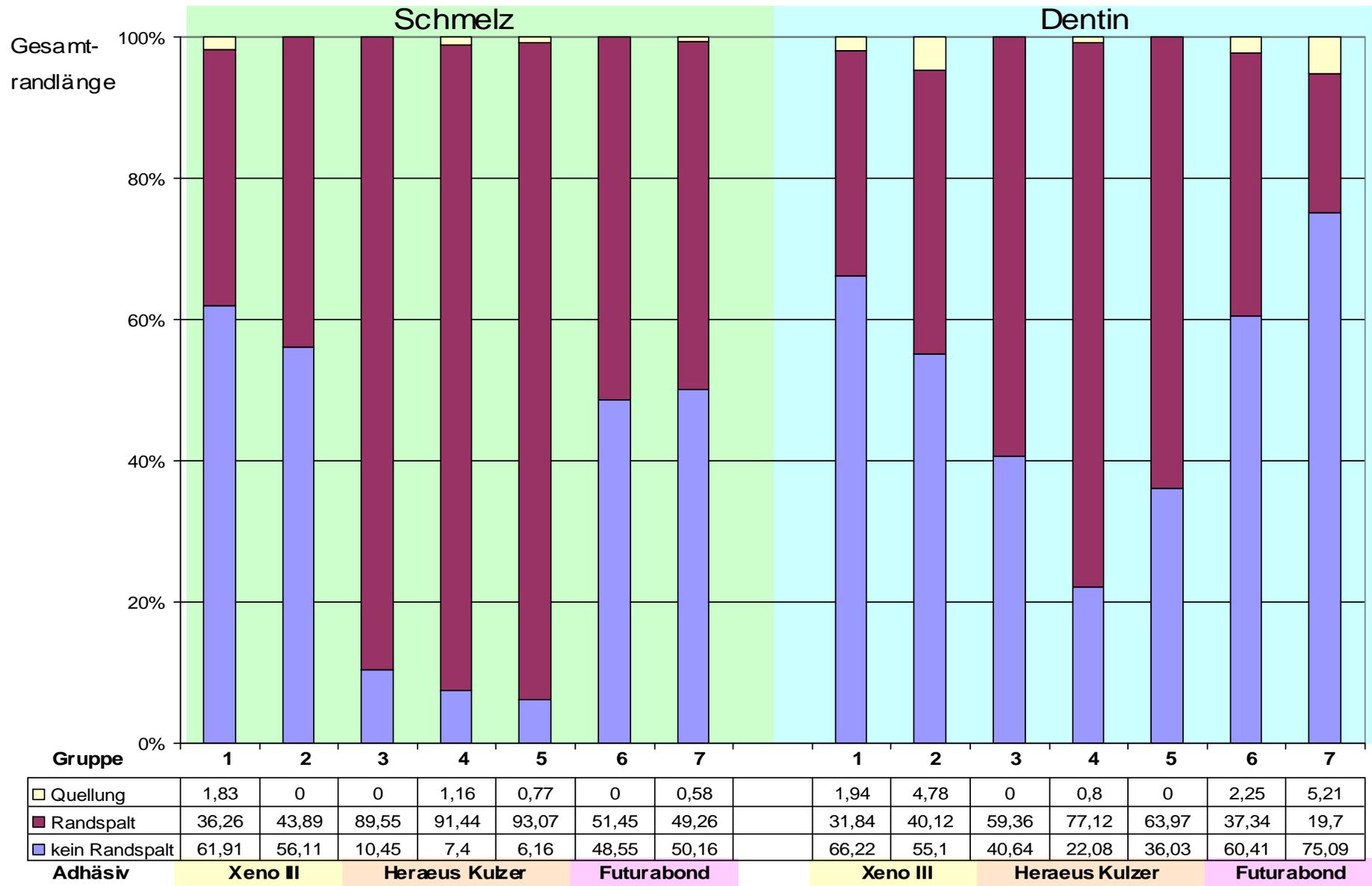
Die Xeno III – Gruppe und die Futurabond – Gruppe zeigten mehr Aufquellungen im Dentinbereich nach Kausimulation als die Heraeus Kulzer – Gruppe, wobei sich auch diesmal nur die Futurabond – Gruppe signifikant von den mit Heraeus Kulzer – Produkten hergestellten Restaurationen unterschied ( $p=0,019$ ).



**Abb. 10:** Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien in den Versuchsgruppen 1-7 vor thermischer und mechanischer Belastung



**Abb. 11:** Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien in den Versuchsgruppen 1-7 nach thermischer Belastung



**Abb. 12:** Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien in den Versuchsgruppen 1-7 nach thermischer und mechanischer Belastung

## 4.2 Interne Adaptation an der Grenzfläche zwischen Komposit und Dentin

Die Abbildungen 13 bis 19 zeigen in graphischer Darstellung die Häufigkeit des Auftretens der Penetrationsgrade 0 bis 5 innerhalb der einzelnen Gruppen. Dargestellt ist jeweils die Anzahl der einzelnen Proben jeder Gruppe verteilt auf die Penetrationsgrade 0 bis 5.

Die Untersuchung der internen Adaptation wurde ausschließlich nach mechanischer Belastung durchgeführt.

Die Probenanzahl betrug jeweils  $n=8$  mit Ausnahme von Gruppe 7. Hier war bei mechanischer Belastung ein Zahn frakturiert, so dass keine Auswertung möglich war. Die Probenanzahl betrug hier also nur  $n=7$ .

Das Kriterium „farbdichter Verbund“ wurde in den Gruppen 1, 2, 4 und 7 einmal, in Gruppe 3 dreimal erreicht. In Gruppe 5 und 6 drang Farbstoff in das „Interface“ jeder Probe ein.

Wegen partieller oder totaler Füllungsverluste konnte in den Gruppen 4, 6 und 7 bei einer Probe, in Gruppe 5 sogar bei zwei Proben Farbstoff bis in den okklusalen Kavitätenboden vordringen, was dem Penetrationsgrad V entspricht.

Es zeigten sich generell keine signifikanten Unterschiede zwischen den Ergebnissen der einzelnen Gruppen bezüglich der Farbstoffpenetration.

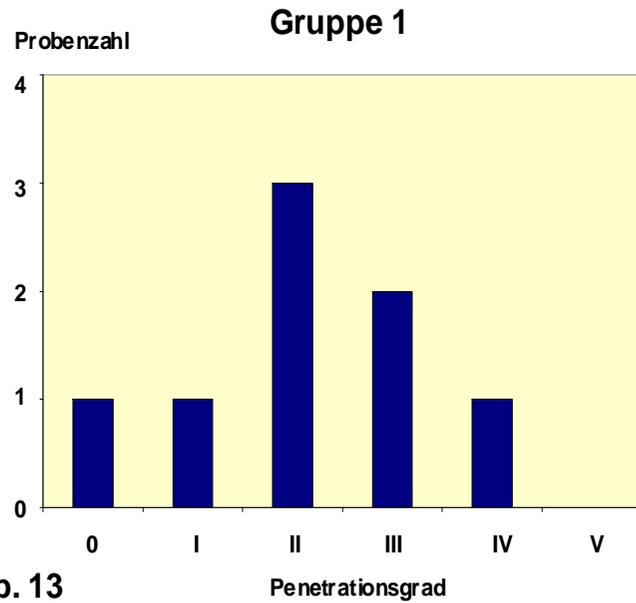


Abb. 13

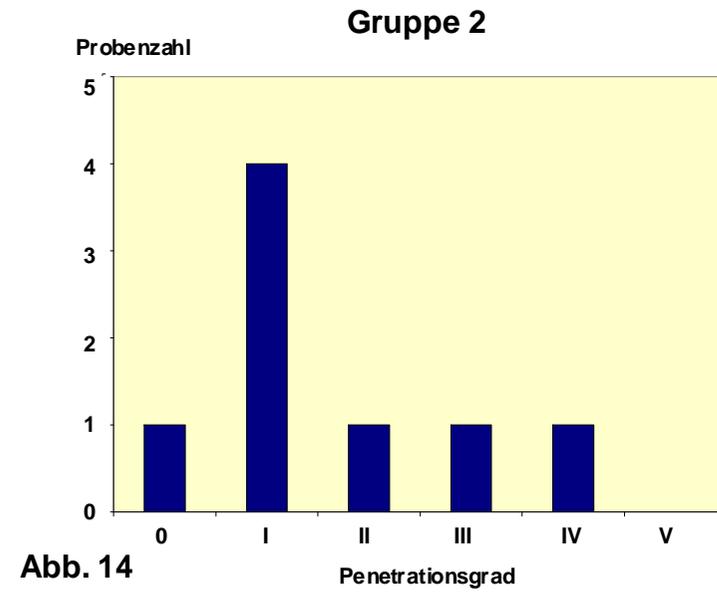


Abb. 14

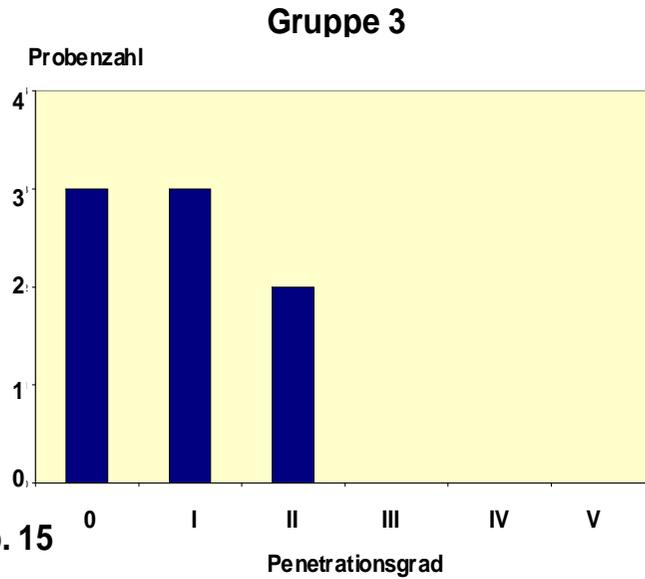


Abb. 15

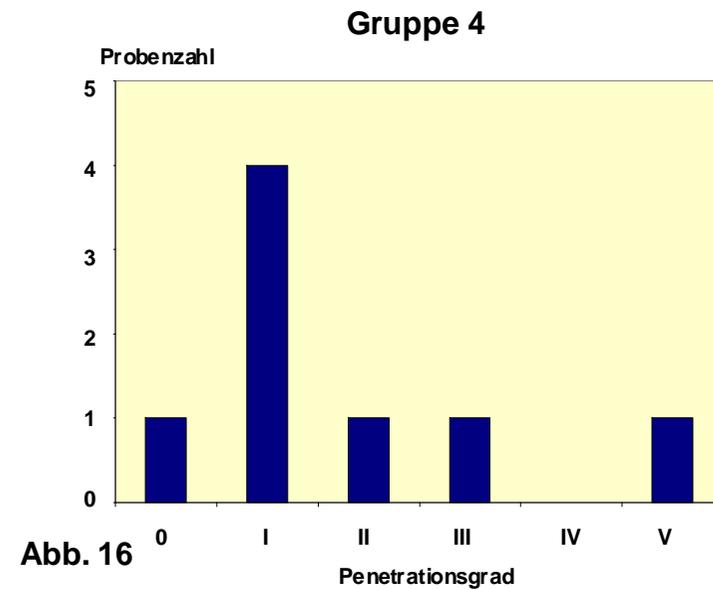


Abb. 16

Abb. 13,14,15,16: Häufigkeitsverteilung (Probenzahl) der Farbstoffpenetrationsgrade 0–V in den Versuchsgruppen 1-4

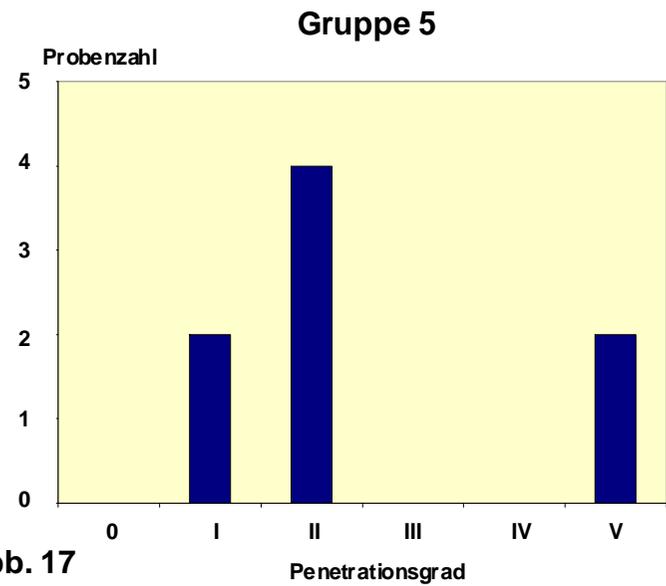


Abb. 17

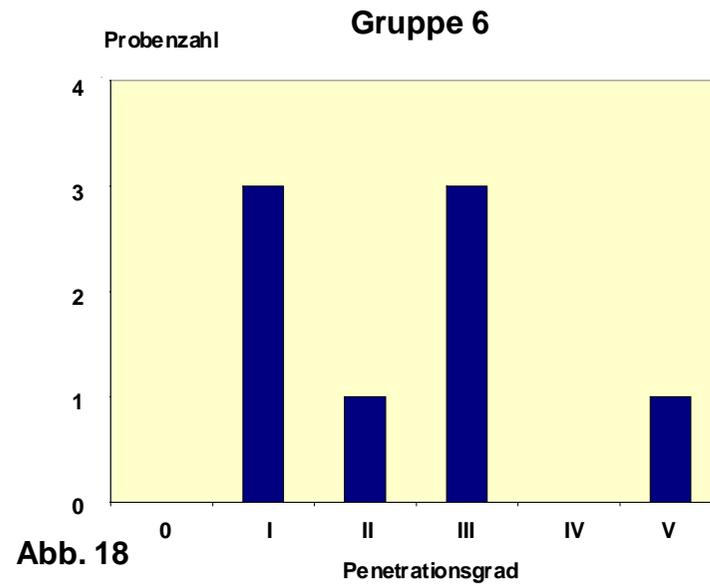


Abb. 18

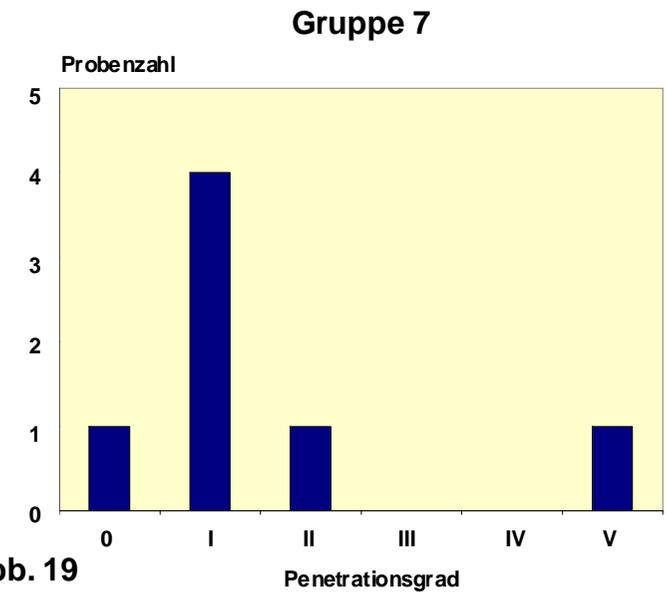


Abb. 19

**Abb. 17,18,19:** Häufigkeitsverteilung (Probenzahl) der Farbstoffpenetrationsgrade 0–V in den Versuchsgruppen 5–7

## 5. Diskussion

### 5.1 Versuchsaufbau

Während anerkannt ist, dass die Versorgung einer allseits schmelzbegrenzten Kavität mit einer adhäsiv befestigten Restauration zu einer guten Randqualität führt, ist die adhäsive Versorgung einer Läsion, die bis unter die Schmelz-Zement-Grenze reicht, nach wie vor kritisch zu betrachten (Haller et al. 2000, De Munck et al. 2003). Diesem Problem wurde durch das Kavitätdesign mit zervikaler Dentinbegrenzung in dieser Studie Rechnung getragen.

Neben der Gefahr, dass bereits beim Legen der Füllungen Randspalten auftreten, ist der adhäsive Verbund zwischen Komposit und Zahnhartsubstanz in der Mundhöhle zudem ständig wechselnden thermischen und mechanischen Belastungen sowie Angriffen durch Säuren und Enzyme ausgesetzt (De Munck 2004). All diese Einflüsse wirken sich negativ auf den Füllungsrand aus und können die Entstehung von Randspalten begünstigen. Dieser Verlust der marginalen Integrität kann zu Hypersensibilitäten, zu Sekundärkaries und letztendlich zum Verlust der Füllung führen (De Munck 2004).

Mit der vorliegenden Arbeit sollte daher nicht nur die Qualität des initialen Randschlusses von mit modernen All-in-one-Adhäsiven gelegten Kompositrestaurationen überprüft werden, sondern auch der Einfluss thermischer und mechanischer Belastung auf die marginalen Füllungsänder.

Die thermische Belastung wurde durch eine Apparatur simuliert, bei der die Proben einer wechselnden Temperatur zwischen 5°C und 55°C ausgesetzt waren (Hannig und Bott 2000, Frankenberger et al. 2003). Die Zyklenzahl betrug 2500, was von Lösche 1991 als ausreichend erachtet wurde und den ISO-Standard von 500 Zyklen deutlich überschreitet. Somit konnte hier die Auswirkung der Belastung, welcher der adhäsive Verbund durch Temperaturänderungen ausgesetzt ist, überprüft werden. Die Temperaturänderung führt aufgrund der unterschiedlichen Expansionskoeffizienten von Zahnhartsubstanz und Komposit zu Stress im Interface-Bereich, so dass es an dieser Grenzfläche zu Spannungsentladungen in Form von Randspalten kommen kann.

Im Anschluss an die Thermowechselbelastung wurden die Proben einer Kaukraftbelastung im Kausimulator unterzogen. Dies stellt innerhalb der Laborverfahren die allgemein anerkannte Methode zur Simulation der klinischen Belastung von Seitenzahnrestorationen dar (Frankenberger 2002). Als Antagonisten wurden wie von Krejci 1990 gefordert natürliche Schmelzhöcker verwendet. Die Proben wurden über 200.000 Zyklen einer Kraft von 70 N unterzogen, was deutlich über den physiologisch auftretenden Kaukräften von 20 - 40 N (Glockner et al. 1998) liegt, um eine ausreichende Kontrolle der Belastungsstabilität des adhäsiven Verbundes zu erhalten. Während des gesamten Versuchsablaufs lagerten die Zähne entsprechend dem feuchten Milieu der Mundhöhle in Wasser, was eine Austrocknung des Dentins verhinderte.

Es ist bekannt, dass Wasserlagerung ein Faktor ist, der die Degradation des adhäsiven Verbundes fördert (Blunck und Roulet 1997, Frankenberger et al. 2004, Garcia et al. 2007, Hashimoto et al. 2007, Torkabadi et al. 2008). Dennoch konnten hydrolytische Degradationsprozesse, die in vivo in der Mundhöhle auftreten, wegen der insgesamt kurzen Versuchsdauer in dieser Studie wohl nicht ausreichend simuliert werden. Ebenso wurde auch der negative Einfluss, den Enzyme, die in vivo im Speichel oder im vitalen Dentin vorkommen, auf die Randdichtigkeit haben können, nicht überprüft.

Um nach jeder Belastungsstufe eine Randspaltkontrolle durchführen zu können, wurde die Analyse mittels Rasterelektronenmikroskop und Replikatechnik gewählt. Die rasterelektronenmikroskopische Analyse ist der auflichtmikroskopischen Analyse wegen der deutlich höheren Auflösung weit überlegen. Durch die Herstellung von Replikas wurden Artefakte, die durch Dehydratation bei Verwendung der Zähne selbst als Analyseobjekte im Rasterelektronenmikroskop aufgetreten wären, vermieden (Reinhardt et al. 1984). Zudem blieben die Zähne erhalten, um weitere Belastungen und letztendlich auch die Überprüfung der internen Adaptation durchführen zu können.

## 5.2. Materialauswahl und Füllungstechnik

Die verwendeten Dentinhaftvermittler und Füllungsmaterialien stellen eine zum Zeitpunkt der Studie repräsentative Auswahl von Dentinadhäsiven und Kompositen dar. Bei allen Adhäsiven handelte es sich um All-in-one-Adhäsive, die ohne separaten Ätzzvorgang angewendet werden und die sich wegen ihrer zeitsparenden und unkomplizierten Anwendung zunehmender Beliebtheit erfreuen. Auch zwei Prototypen der Firma Heraeus Kulzer (EP 1 und AK3) wurden untersucht.

In den Gruppen 1 und 2 bzw. 6 und 7 waren bei gleichem Adhäsiv unterschiedliche Komposite angewendet worden, um zu überprüfen, wie sich dies auf die Füllungsrandqualität auswirkt. Bei den verwendeten Kompositen handelte es sich um Nanohybridkomposite mit Ausnahme des Feinpartikelhybridkomposits Venus.

Neben den angewendeten Materialien ist die Kavitätengestaltung von Bedeutung für eine gute Randqualität der Kompositrestauration (Ben Amar et al. 1987). In jeden Zahn wurde eine zweiflächige mesial-okklusale oder okklusal-distale Kavität präpariert. Am approximalen schmelzbegrenzten Füllungsrand wurde, wie von vielen Autoren empfohlen, eine 0,5 mm breite Anchrägung angelegt, so dass durch transversales Anschneiden der Schmelzprismen bessere Voraussetzungen für ein gut ausgeprägtes retentives Ätzmuster erzielt wurden (Ben Amar et al. 1987, Hannig et al. 1999).

Alle Füllungen wurden in Inkrementtechnik gelegt, um die Schrumpfkkräfte gering zu halten und einen initial möglichst spaltfreien Randschluss zu erreichen (Glockner et al. 1998). Zur Gewährleistung einer vollständigen Durchhärtung des Füllungsmaterials wurde eine Schichtdicke von 2 mm nicht überschritten und jedes Inkrement 40 Sekunden polymerisiert.

Die Ausarbeitung der Füllungen erfolgte auch im Approximalbereich unter direkter Sicht, was in der klinischen Situation nur selten möglich ist. Zudem erfolgte vor der ersten Abformung der Proben eine Qualitätskontrolle der approximalen Füllungsänder unter dem Auflichtmikroskop. Dies diente dazu, insbesondere Füllungsüberhänge, welche die Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop unmöglich machen können, zu verhindern.

Durch diese Maßnahmen wurden die Ursachen, die zum Randversagen führen können, weitestmöglich vermieden. Daraus resultierte eine geringe Streuung der Ergebnisse und eine sehr gute Vergleichsmöglichkeit der Gruppen untereinander. Allerdings fallen die Ergebnisse dieser Studie deshalb wohl auch etwas besser aus, als es in einer klinischen Situation der Fall gewesen wäre, und sind daher nicht direkt auf die Mundhöhlensituation übertragbar.

## 5.3 Diskussion der Ergebnisse

### 5.3.1 Einfluss von Kompositen auf die Randspaltbildung

Bei den Gruppen 1 und 2 sowie 6 und 7 waren bei gleichem Adhäsiv unterschiedliche Komposite angewendet worden, um deren Auswirkung auf die Qualität des Füllungsrandes zu überprüfen.

In Gruppe 1 war das Adhäsiv Xeno III mit Tetric Evo Ceram angewendet worden, in Gruppe 2 mit dem Komposit Ceram X. Die Analyse der schmelzbegrenzten Füllungsänder der Proben aus Gruppe 1 und 2 ergab vor thermischer und mechanischer Belastung weder im Schmelz- noch im Dentinbereich signifikante Unterschiede beim Vergleich der Randspaltanteile zwischen den Gruppen. Nach thermischer und auch nach mechanischer Belastung war bei beiden Gruppen sowohl im Schmelz- als auch im Dentinbereich eine deutliche Abnahme des kontinuierlichen Randüberganges feststellbar. Allerdings zeigten sich bis Versuchsende weiterhin keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Randspaltanteile im Schmelz- bzw. Dentinbereich zwischen beiden Gruppen.

In Gruppe 6 und 7 waren die Komposite Grandio (Gruppe 6) und Tetric Evo Ceram (Gruppe 7) mit dem Adhäsiv Futurabond angewendet worden. Auch hier waren bei keiner der drei Belastungsstufen signifikante Unterschiede bezüglich des Anteils der Randspalten beim Vergleich der beiden Gruppen miteinander zu verzeichnen. Dies galt hier ebenfalls sowohl für den Schmelz- als auch für den Dentinbereich.

Die Tatsache, dass bei gleichem Adhäsiv die Anwendung unterschiedlicher Komposite zu ähnlichen Ergebnissen führte, lässt die Schlussfolgerung zu, dass die Qualität der Verbindung zwischen Komposit und Zahnhartsubstanz überwiegend vom verwendeten Adhäsiv abhängt.

Da das Ausmaß der Polymerisationsschrumpfung einen großen Einfluss auf die Randqualität, die mit einem Komposit erzielt wird, haben kann und alle verwendeten Komposite der Gruppen 1, 2, 6 und 7 eine ähnliche Volumenschrumpfung aufweisen (Grandio 1,6 %, Tetric Evo Ceram 1,6 %, Ceram X 2,3 % lt. Herstellerangaben), erscheint es plausibel, dass sich bei gleichem Adhäsiv ein Wechsel des Komposits kaum auf die Ergebnisse auswirkte.

Zudem war auch durch Anwendung der Inkrementtechnik bereits initial für eine möglichst geringe Schrumpfung des Komposites gesorgt worden.

Bei einer klinischen Studie über 2 Jahre ergab auch der Vergleich eines Nanofüllerkomposits mit einem Feinpartikelhybridkomposit, die jeweils mit demselben Dentinadhäsiv angewendet worden waren, keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Füllungsrandqualitäten (Ernst et al. 2005). Auch van Dijken et al. konnten in einer ebenfalls zweijährigen klinischen Studie keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Randqualität von Klasse-V-Restorationen feststellen, die alle mit dem All-in-one-Adhäsiv Xeno III aber mit zwei unterschiedlichen Kompositen gelegt worden waren (van Dijken et al. 2007).

### **5.3.2 Gesamtvergleich aller Adhäsive**

Die Randspaltanalyse der Restorationen hatte ergeben, dass vorrangig 3 Randkriterien auftraten, die bei der Auswertung berücksichtigt wurden. Dies waren kontinuierlicher Randübergang, Randspaltbildung und Quellung.

Vergleicht man die Ergebnisse aller Gruppen miteinander, so wurden bereits nach Legen der Füllungen erhebliche Qualitätsunterschiede bezüglich des adhäsiven Verbundes in Abhängigkeit vom verwendeten Dentinadhäsiv deutlich.

Vor thermischer und mechanischer Belastung wiesen die mit Xeno III und Futurabond gelegten Restaurationen im Schmelzbereich noch über 90 % bzw. über 80 % kontinuierliche Ränder auf, wohingegen bei den mit i-Bond und AK 3 hergestellten Restaurationen bereits jetzt mehr als 50 % Randspalten auftraten. Im Dentinbereich war der Unterschied vor Belastung zwischen den einzelnen Gruppen statistisch nicht signifikant.

Im weiteren Versuchsverlauf wurde erkennbar, dass thermische und mechanische Belastung bei allen Gruppen deutlich zur Randspaltbildung beitrugen. Nach Abschluss der Versuche wiesen die mit Xeno III gelegten Restaurationen im Schmelz und Dentin noch über 50% perfekte Randanteile auf, die mit Futurabond gelegten Restaurationen im Schmelz noch etwa 50%, im Dentin ca. 60% (Gruppe 6) bzw. 75% (Gruppe 7). Bei allen mit Heraeus Kulzer-Produkten gelegten Restaurationen war der randspaltfreie Anteil im Schmelz auf etwa 10% gesunken, im Dentin ergaben sich je nach Adhäsiv Werte zwischen 20% und 40%. Es zeigte sich also eine deutliche Abhängigkeit der Qualität des erzielten Verbundes vom verwendeten Adhäsiv.

Bei i-Bond, Ep1 und AK 3 hatten thermische und mechanische Belastung zum fast vollständigen Versagen des adhäsiven Verbundes insbesondere im Schmelzbereich geführt. Hier war es offenbar bereits initial zu einer nur sehr unzureichenden Verbindung zwischen Adhäsiv und Zahnhartsubstanz gekommen.

Das bessere Abschneiden von Xeno III gegenüber i-Bond bezüglich der Randspaltanalyse bestätigt generell Ergebnisse von Frankenberger und Tay aus dem Jahre 2005, die bei ähnlichem Studiendesign auch unter anderem diese beiden Adhäsive miteinander verglichen hatten. Allerdings ergab die Randspaltanalyse der vorliegenden Studie für den Schmelzbereich von i-Bond vor und nach Belastung deutlich mehr Spalten als die Studie von Frankenberger und Tay, während für den Dentinbereich von i-Bond vergleichbare Ergebnisse gefunden wurden. Auch die Auswertung der Randspaltanalyse von Xeno III im Schmelz- und Dentinbereich führte in beiden Studien zu ähnlichen Ergebnissen.

Als Erklärung für die sehr unbefriedigenden Werte von i-Bond im Schmelz gaben Frankenberger und Tay an, dass i-Bond nicht in der Lage war, die Schmierschicht im Schmelz vollständig zu durchdringen (Frankenberger und Tay 2005). Wegen der ähnlichen Inhaltsstoffe von EP 1 und AK 3 könnte das auch bei diesen Produkten der Fall gewesen sein.

Eine Erklärung dafür, dass die Werte von i-Bond, EP 1 und AK 3 im Dentinbereich deutlich besser ausfielen als im Schmelzbereich wäre die, dass das Füllungs-material während der Polymerisation, bei der starke Schrumpfungsspannungen auftreten, Richtung Dentin schrumpfen konnte.

Das Adhäsiv hatte offenbar zum Schmelz im Gegensatz zum Dentin keinen stabilen Verbund hergestellt. Dies lässt die Schlussfolgerung zu, dass die These, eine rein schmelzbegrenzte Kavität bedeute automatisch eine gute Prognose für die Qualität einer adhäsiven Restauration, zumindest für All-in-one-Adhäsive nicht grundsätzlich gilt.

Bei Studien, die Haftfestigkeitswerte überprüften, fanden einige Autoren bei Zug- bzw. Scherkraftversuchen höhere Werte für Xeno III im Vergleich zu i-Bond (Atash, Van den Abbeele 2005, Sadek et al. 2005), was die Ergebnisse dieser Randanalyse stützt.

Bei der Füllungsrandanalyse im Rasterelektronenmikroskop wurde deutlich, dass Aufquellungen im Randbereich bei den mit i-Bond, EP 1 und AK 3 hergestellten Restaurationen seltener auftraten als bei den übrigen Gruppen. Möglicher Grund ist die Verwendung von Aceton neben Wasser in den Adhäsiven von Heraeus Kulzer als Lösungsmittel, welches sich durch hohen Verdunstungsdruck auszeichnet (Frankenberger 2002). Im Gegensatz dazu enthalten die übrigen Adhäsive Wasser und Ethanol als Lösungsmittel. Zudem beinhalten diese im Vergleich zu den Heraeus Kulzer - Produkten Füllstoffe, können daher eine größere Schichtdicke ausbilden und besitzen so mehr Quellungspotential.

Es zeigte sich bei der Auswertung der Füllungsänder ebenfalls, dass Quellungsbereiche bei Belastung eher zu Randspaltbildung neigen als kontinuierliche Randübergänge.

Obwohl das Ergebnis der Randspaltanalyse aller hier getesteten Adhäsive nicht zufriedenstellend war, gab es signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Offenbar hängt der Erfolg des adhäsiven Verbundes zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit neben der fachgerechten Anwendung der Adhäsive auch in hohem Maße von ihrer individuellen Zusammensetzung ab.

Zu diesem Schluss kommen auch Blunck und Zaslanski, die eine Randspaltanalyse von 14 All-in-one-Adhäsiven nach 21-tägiger-, ein- und dreijähriger Wasserlagerung und anschließendem Thermocycling durchgeführt hatten (Blunck und Zaslansky 2007). Nicht immer zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen den All-in-one-Adhäsiven und der Kontrollgruppe, die aus drei Mehrflaschensystemen bestand, jedoch wurde ein deutlicher Unterschied bezüglich der Randspaltanteile beim Vergleich der einzelnen All-in-one-Adhäsive untereinander deutlich.

Osorio et al., die Mikrozughafffestigkeitswerte von zehn Adhäsiven – darunter fünf All-in-one-Adhäsive – nach 24 Stunden sowie nach 6 und 12 Monaten Wasserlagerung überprüft hatten, kamen zu dem Ergebnis, dass auch die Resistenz gegenüber hydrolytischer Degradation - ohne zusätzliche mechanische oder thermische Belastung - stark materialabhängig ist (Osorio et al. 2008).

Die Belastungsstabilität bzw. Dauerhaftigkeit einer adhäsiv gelegten Füllung scheint also stark vom jeweils verwendeten Adhäsiv abhängig zu sein. So erscheint es durchaus plausibel, dass andere Autoren mit vereinfachten Adhäsivsystemen auch gute Ergebnisse erreichten.

Hannig und Bott konnten zum Beispiel mit selbstkonditionierenden Primer-Systemen einen nahezu vollständigen belastungsstabilen Randschluss erzielen (Hannig und Bott 2000). Auch in klinischen Studien konnten akzeptable Ergebnisse für selbstätzende bzw. All-in-one-Adhäsive nachgewiesen werden (Bekes et al. 2007, van Dijken et al. 2007). Sidhu et al. konnten beispielsweise auch keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen den Mikrozughafffestigkeitswerten von den überprüften selbstätzenden 2-Schritt-Systemen im Vergleich zu All-in-one-Adhäsiven feststellen (Sidhu et al. 2007).

Generell zeigten die Ergebnisse der vorliegenden Studie jedoch, dass mit den hier verwendeten All-in-one-Adhäsiven, die in ihrer Handhabung recht unkompliziert sind, letztendlich keine zufriedenstellenden Ergebnisse bezüglich der Randqualität erzielbar waren. Auch in vielen weiteren Studien wird erkennbar, dass das Zusammenfassen aller Arbeitsschritte zu einem einzigen bei den All-in-one-Adhäsiven in vielen Fällen dazu führt, dass die Randqualität, die 2- oder 3- Schritt – Adhäsive erzielen, nicht mehr erreicht werden kann.

Bortolotto et al. (2008) setzten Restaurationen, die mit einem selbstätzenden 1-Schritt und einem selbstätzenden 2-Schritt-System gelegt worden waren, einer mechanischen und enzymatischen Stressbelastung aus. Das Ergebnis des 1-Schritt-Systems in der abschließenden Randspaltanalyse war deutlich schlechter als das des 2-Schritt-Systems.

Frankenberger und Tay (2005) hatten 3-, 2- und 1-Schritt-Adhäsive einer thermomechanischen Wechselbelastung unterzogen. Die Analyse der Ergebnisse ergab nach Belastung im Schmelz- und Dentinbereich signifikant schlechtere Werte des 1-Schritt-Systems im Vergleich zu den 2- und 3-Schritt-Adhäsiven. Einige der 2-Schritt Adhäsive konnten allerdings nahezu die gleiche Randqualität erzielen wie die 3-Schritt-Adhäsive.

Perdigao et al. untersuchten 5 All-in-one Adhäsive hinsichtlich ihrer Widerstandsfähigkeit gegen einwirkende Zugkräfte und verglichen diese Ergebnisse mit den Ergebnissen von zwei 2-Schritt-Adhäsiven (Perdigao et al. 2006). Im Dentinbereich wiesen alle All-in-one-Adhäsive statistisch schlechtere Werte auf als die 2-Schritt-Systeme, während sich im Schmelzbereich nicht bei allen Adhäsiven ein signifikanter Unterschied zeigte. Perdigao et al. (2006) forderten aufgrund der sehr schlechten Werte einiger All-in-one-Adhäsive eine strengere Kontrolle der Adhäsive, bevor sie für die klinische Verwendung empfohlen werden.

Insgesamt bestätigt sich offenbar die Erkenntnis auch anderer Autoren (Diez 2003, Peumans et al. 2005, Frankenberger et al. 2007, Toledano et al. 2006), dass eine Anwendungsvereinfachung der Adhäsive gleichzeitig fast immer einen Effektivitätsverlust mit sich bringt.

### 5.3.3 Interne Adaptation

Da die stressinduzierten Spaltbildungen nicht unbedingt am Außenrand der Restauration auftreten müssen, ist eine Untersuchung der internen Adaptation nötig, um einen vollständigen Aufschluss über die Qualität der gelegten Restauration zu erhalten (Dietschi und Herzfeld 1998). Das bekannteste Verfahren hierzu ist der Farbstoffpenetrationstest, welcher in vielen anderen Studien ebenfalls angewendet wurde (Haller und Schuster 2000, Hannig und Fu 2001, Dietschi und Herzfeld 1998). In der vorliegenden Studie wurde als Farbstoff Methylenblau verwendet, in dem die Zähne 24 Stunden lang gelagert wurden. Danach wurde durch den zentralen Anteil der approximalen Füllung ein sagittaler Schnitt gelegt und die so entstandenen Schnitthälften wurden im Auflichtmikroskop untersucht. Trotz unterschiedlicher Ergebnisse bei der Außenrandanalyse fanden sich bei der Untersuchung der internen Adaptation keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen. Tendenziell schnitt i-Bond im Vergleich zu den übrigen Adhäsiven sogar etwas besser ab trotz schlechterer marginaler Ergebnisse. Grund hierfür könnte sein, dass die auf die Restauration einwirkende Stressbelastung sich marginal stärker auswirkte als intern.

Es bleibt zu bedenken, dass durch einen einzigen Sagittalschnitt auch nur ein kleiner Teil des internen Verbundes freigelegt wurde und ein Schnitt an einer anderen Stelle möglicherweise zu einem anderen Ergebnis geführt hätte.

Es zeigt sich auch in weiteren Studien, dass die Ergebnisse der Außenrandanalyse nicht mit den Ergebnissen der internen Adaptation übereinstimmen müssen (Hannig und Femerling 1998, Diez 2003).

Ernst et al. untersuchten 2008 die Korrelation von rasterelektronenmikroskopischer Randspaltanalyse und Farbstoffpenetration anhand von Klasse V-Restaurationen nach Thermocycling (Ernst et al. 2008). Dabei wurde eine recht kurze Eintauchzeit von 10 Sekunden einer etwas längeren von 30 Minuten gegenübergestellt. Während eine zehneckündige Eintauchzeit keine Übereinstimmung mit den Ergebnissen der Randspaltanalyse ergab, konnte für den Schmelzbereich nach 30-minütiger Eintauchzeit eine recht gute Korrelation nachgewiesen werden.

Für die im Zementbereich liegenden Kavitätenränder war dies jedoch nicht möglich. Eine längeres Belassen der Proben im Farbstoff scheint also empfehlenswerter zu sein, eine vollständige Übereinstimmung mit der rasterelektronenmikroskopischen Randspaltanalyse kann jedoch auch dann offenbar nicht erzielt werden.

Atash und Van den Abbeele überprüften 2005 anhand von Scherkraftversuchen die Qualität von 4 unterschiedlichen Adhäsiven und konnten trotz signifikanter Unterschiede bei der Scherkraftanalyse keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Farbstoffpenetration feststellen (Atash und Van den Abbeele 2005). Dies weist darauf hin, dass sich auch aus den Ergebnissen von Scherkraftversuchen offenbar nicht automatisch Rückschlüsse auf die interne Adaptation ziehen lassen.

Deliperi et al. (2007) konnten im Gegensatz zur vorliegenden Studie signifikant mehr Farbstoffpenetration bei mit i-Bond gelegten Restaurationen feststellen als bei Kompositrestaurationen, die mit Xeno III gelegt worden waren. Grund hierfür könnte die mit nur 500 Zyklen Thermocycling wesentlich geringere Belastung bei Deliperi et al. (2007) sein. Dieser Belastung hatte Xeno III bezüglich der internen Adaptation anfangs möglicherweise besser widerstehen können als i-Bond. Bei stärkeren Belastungen, wie sie in dieser Studie auf die Restaurationen einwirkten, hatte sich dieser Unterschied jedoch offenbar ausgeglichen. So zeigt sich auch in anderen Studien, dass Adhäsive bis zu einer gewissen Belastungsgrenze eine akzeptable Randqualität aufweisen können, die dann bei weiterer Belastung aber deutlich nachlässt (Wattanawongpitak et al. 2007)

## 5.4 Schlussfolgerungen

Mit der wachsenden Nachfrage nach zahnfarbenen Füllungsmaterialien wächst auch die Nachfrage nach einfach anzuwendenden, zeitsparenden und dennoch möglichst effektiven Adhäsiven. Noch immer wird die Stabilität ins Dentin reichender Füllungsränder, die mit Adhäsivtechnik gelegt wurden, als kritisch angesehen.

In der vorliegenden Arbeit konnte mit keinem der verwendeten All-in-one-Adhäsive, die ohne separate Phosphorsäureätzung angewendet wurden, ein initial randspaltfreier Verbund erzielt werden.

Thermische und mechanische Belastung führten zudem zu einer deutlichen Verschlechterung der Randqualität. Das verwendete Komposit zeigte dabei keinen signifikanten Einfluss auf die Randqualität der gelegten Restaurationen. Die Analyse der internen Adaptation ergab trotz unterschiedlicher Ergebnisse der Außenrandanalyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen.

Die besten Ergebnisse im Schmelzbereich erreichte in dieser Studie die Kombination Xeno III / Tetric Evo Ceram, im Dentinbereich Futurabond mit Tetric Evo Ceram.

Allerdings wiesen auch diese Materialkombinationen bereits nach Legen der Füllungen Randspalten auf. Man muss dabei bedenken, dass es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine In-vitro-Studie handelt, bei der Restaurationen an kariesfreien Zähnen unter optimalen Bedingungen gelegt wurden. Zudem wurde der Pulpainnendruck nicht simuliert ebenso wenig wie Säure- und Enzymangriffe, denen der adhäsive Verbund im Mund ausgesetzt ist.

Eine generelle Empfehlung für die Anwendung von 1-Schritt-All-in-one-Adhäsiven im Seitenzahnbereich kann daher aufgrund dieser Studie nicht gegeben werden.

Zudem weisen die Ergebnisse dieser Arbeit darauf hin, dass die These, eine rein schmelzbedingte Kavität bedeute automatisch eine gute Prognose für die Qualität einer adhäsiven Restauration, für All-in-one-Adhäsive nicht grundsätzlich gilt.

Es bleibt abzuwarten, ob in Zukunft All-in-one-Adhäsive entwickelt werden können, die ähnlich gute Ergebnisse wie 2- oder 3-Schritt- Adhäsivsysteme erreichen.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Abo T., Uno S., Sano H. (2004)  
Comparison of bonding efficacy of an all-in-one adhesive with a self-etching primer system  
Eur J Oral Sci 112:286-292
2. Atash R., Van den Abbeele A. (2005)  
Bond strengths of eight contemporary adhesives to enamel and to dentine: an in vitro study on bovine primary teeth  
Int J Paediatr Dent 15:264-273
3. Atash R., Van den Abbeele A. (2005)  
Sealing ability and bond strength of four contemporary adhesives to enamel and to dentin  
Eur J Paediatr Dent 6:185-190
4. Bekes K., Boeckler L., Gernhardt C.R., Schaller H.G. (2007)  
Clinical performance of a self-etching and a total-etch adhesive system – 2-year results  
J Oral Rehabil 34:855-861
5. Ben-Amar A., Metzger Z., Gontar G. (1987)  
Cavity design for class II restorations  
J Prosthet Dent 58:5-8
6. Blunck U., Roulet J.-F. (1997)  
Einfluss der Wasserlagerung auf die Wirksamkeit von Dentinadhäsiven  
Dtsch Zahnärztl Z 52:806-808

7. Blunck U., Zaslansky P. (2007)  
Effectiveness of all-in-one adhesive systems tested by thermocycling following short and long-term water storage  
J Adhes Dent 9:231-240
8. Bortolotto T., Onisor I., Krejci I., Ferrari M., Tay F.R., Bouillaguet S. (2008)  
Effect of cyclic loading under enzymatic activity on resin-dentin interfaces of two self-etching adhesives  
Dent Mater 24:178-184
9. Buonocore D.H. (1955)  
A simple method of increasing the adhesion of acryl filling materials to enamel surfaces  
J Dent Res 34:849-853
10. Carvalho R.M., Mendonca J.S., Santiago S.L., Silveira R.R., Garcia F.C.P., Tay F.R., Pashley D.H. (2003)  
Effects of HEMA/Solvent Combinations on Bond Strength to Dentin  
J Dent Res 82:597-601
11. Carvalho R.M., Chersoni S., Frankenberger R., Pashley D.H., Prati C., Tay F.R. (2005)  
A challenge to the conventional wisdom that simultaneous etching and resin infiltration always occurs in self-etching adhesives  
Biomaterials 26:1035-1042
12. Chersoni S., Suppa P., Grandini S., Goracci C., Monticelli F., Yiu C., Huang C., Prati C., Breschi L., Ferrari M., Pashley D.H., Tay F.R. (2004)  
In vivo and in vitro Permeability of One-step Self-etch Adhesives  
J Dent Res 83:459-464

13. Choi K.K., Condon J.R., Ferracane J.L. (2000)  
The effects of adhesive thickness on polymerization contraction stress of composite  
J Dent Res 79:812-817
14. Deliperi S., Bardwell D.N., Wegley C. (2007)  
Restoration interface microleakage using one total-etch and three self-etch adhesives  
Oper Dent 32:179-184
15. De Munck J. (2004)  
An in vitro and in vivo study on the durability of biomaterial-tooth bonds  
Katholieke Universiteit Leuven, Belgium
16. De Munck J., Van Meerbeek B., Yoshida Y., Inoue S., Vargas M., Suzuki K., Lambrechts P., Vanherle G. (2003)  
Four-year Water Degradation of Total-etch Adhesives Bonded to Dentin  
J Dent Res 82:136-140
17. De Munck J., Van Landuyt K., Peumans M., Poitevin A., Lambrechts P., Braem M., Van Meerbeek B. (2005)  
A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: Methods and results  
J Dent Res 84:118-132
18. Dietschi D., Herzfeld D. (1998)  
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

19. Dietz D. (2003)  
Das Randschlussverhalten von Kompositfüllungen in dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten unter Verwendung verschiedener Adhäsivsysteme  
Med Diss, Kiel
20. Ernst C.P., Brandenbusch M., Meyer G., Canbek K., Gottschalk F., Willershausen B. (2006)  
Two-year clinical performance of a nanofiller vs a fine-particle hybrid resin composite  
Clin Oral Invest 10:119-125
21. Ernst C.P., Brandenbusch M., Victor A., Klose S., Zieger B., Willershausen B. (2004)  
Randschluss adhäsiver Klasse-V-Restaurationen bei konventioneller und Soft-Start-Polymerisation in vitro  
Dtsch Zahnärztl Z 59:504-513
22. Ernst C.P., Galler P., Willershausen B., Haller B. (2008)  
Marginal integrity of class V restorations: SEM versus dye penetration  
Dent Mater 24:319-327
23. Frankenberger R. (2002)  
Zur Dauerhaftigkeit des Dentinverbundes  
Dtsch Zahnärztl Z 57:154-171
24. Frankenberger R., Strobel W.O., Lohbauer U., Krämer N., Petschelt A. (2004)  
The effect of six years of water storage on resin composite bonding to human dentin  
J Biomed Mater Res Pt B Appl Biomater 69B:25-32

25. Frankenberger R., Tay F.R. (2005)  
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
26. Frankenberger R., Krämer N., Lohbauer U., Nikolaenko S.A., Reich S.M. (2007)  
Marginal integrity is the clinical performance of bonded restorations predictable in vitro?  
J Adhes Dent 9:107-116
27. Fu B., Yuan J., Qian W., Shen Q., Sun X., Hannig M. (2004)  
Evidence of chemisorption of maleic acid to enamel and hydroxyapatite  
Eur J Oral Sci 112:362-367
28. Fu B., Sun X., Qian W., Shen Y., Chen R., Hannig M. (2005)  
Evidence of chemical bonding to hydroxyapatite by phosphoric acid esters  
Biomaterials 26:5104-5110
29. Garcia R.N., de Goes M.F., Giannini M. (2007)  
Effect of water storage on bond strength of self-etching adhesives to dentin  
J Contemp Dent Pract 7:46-53
30. Grégoire G., Guignes P., Millas A. (2005)  
Effect of self-etching adhesives on dentin permeability in a fluid flow model  
J Prosthet Dent 93:56-63
31. Glockner K., Reich M.E., Kos S., Keil C., Ebeleseder K., Städtler P. (1998)  
Randadaptation von verschiedenen Klasse-II-Restaurationen  
Dtsch Zahnärztl Z 53:775-780

32. Haller B., Schuster P. (2000)  
Randqualität eines Ormocers (Admira) und eines Feinhybridkomposits  
(Arabesk top) in Klasse-II-Kavitäten  
Dtsch Zahnärztl Z 55:331-335
  
33. Haller B. (1994)  
Mechanismus und Wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern  
Dtsch Zahnärztl Z 49:750-759
  
34. Hannig M., Bock H., Bott B., Hoth-Hannig W. (2002)  
Inter-crystalline nanoretention of self-etching adhesives at enamel imaged by  
transmission electron microscopy  
Eur J Oral Sci 110:464-470
  
35. Hannig M., Bott B. (2000)  
Randschlussverhalten von plastischen zahnfarbenen Füllungen in  
dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten  
Dtsch Zahnärztl Z 55:134-138
  
36. Hannig M., Bott B., Emmermann A. (1999)  
Randschlussverhalten von Klasse-II-Kompositfüllungen nach  
Schmelzkonditionierung mit selbstätzenden Primern  
Dtsch Zahnärztl Z 54:133-136
  
37. Hannig M., Femerling T. (1998)  
Influence of air-abrasion treatment on the interfacial bond between composite  
and dentin  
Oper Dent 23:258-265

38. Hannig M., Fu B. (2001)  
Effect of air abrasion and resin composite on microleakage of class V restorations bonded with self-etching primers  
J Adhes Dent 3:265-272
39. Hashimoto M., Ohno H., Yoshida E., Hori M., Sano H., Kaga M., Oguchi H. (2003)  
Resin-enamel bonds made with self-etching primers on ground enamel  
Eur J Oral Sci 111:447-453
40. Hashimoto M., Ito S., Tay F.R., Svizero N.R., Sano H., Kaga M., Pashley D.H. (2004)  
Fluid movement across the resin-dentin interface during and after bonding  
J Dent Res 83:843-848
41. Hashimoto M., Tay F.R., Ito S., Sano H., Kaga M., Pashley D.H. (2005)  
Permeability of adhesive resin films  
J Biomed Mater Res Pt B Appl Biomater 74B:699-705
42. Hashimoto M., Fujita S., Kaga M., Yawaka Y. (2007)  
In vitro durability of one-bottle resin adhesives bonded to dentin  
Dent Mater J 26:677-686
43. Jacobsen T., Söderholm K.-J. M., Yang M., Watson T.F. (2003)  
Effect of composition and complexity of dentin-bonding agents on operator variability – analysis of gap formation using confocal microscopy  
Eur J Oral Sci 111:523-528
44. Koshiro K., Sidhu S.K., Inoue S., Ikeda T., Sano H. (2006)  
New concept of resin-dentin interfacial adhesion: The nanointeraction zone  
J Biomed Mater Res Pt B Appl Biomater 77B:401-408

45. Koshiro K., Inoue S., Tanaka T., Koase K., Fujita M., Hashimoto M., Sano H. (2004)  
In vivo degradation of resin-dentin bonds produced by a self-etch vs. a total-etch adhesive system  
Eur J Oral Sci 112:368-375
46. Krejci I., Reich T., Lutz F., Albertoni M. (1990)  
In-vitro-Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssysteme 1.  
Computer-gesteuerter Kausimulator  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 100:953-960
47. Lang H., Schwan R., Müllejans R., Raab W. (2000)  
Der Verbund im Kavitäteninneren und die Stabilität des Füllungsrandes  
Dtsch Zahnärztl Z 55:751-755
48. Lösche A.C. (1991)  
Verbesserung der Randqualität von Kompositfüllungen durch lichtleitende und lichtstreuende Glaskeramikeinsätze – eine In-vitro-Untersuchung  
Med Diss, Berlin
49. Nakabayashi N., Kojima K., Masuhara E. (1982)  
The promotion of adhesion by the infiltration of monomers into tooth substrates  
J Biomed Mat Res 16:265-273
50. Osorio R., Pisani-Proenca J., Erhardt M.C., Osorio E., Aguilera F.S., Tay F.R., Toledano M. (2008)  
Resistance of ten contemporary adhesives to resin-dentine bond degradation  
J Dent 36:163-169

51. Perdigao J., Gomes G., Gondo R., Fundingsland J.W. (2006)  
In vitro bonding performance of all-in-one adhesives. Part I: microtensile bond strengths  
J Adhes Dent 8:367-373
52. Peumans M., De Munck J., Van Landuyt K., Lambrechts P., Van Meerbeek B. (2005)  
Three-year clinical effectiveness of a two-step self-etch adhesive in cervical lesions  
Eur J Oral Sci 113:512-518
53. Peumans M., Kanumilli P., De Munck J., Van Landuyt K., Lambrechts P., Van Meerbeek B. (2005)  
Clinical effectiveness of contemporary adhesives: A systematic review of current clinical trials  
Dent Mater 21:864-881
54. Reinhardt K.J. (1997)  
Aktuelle Perspektiven der Dentin-Haftvermittlung.  
In-vitro-Studie zur Scherfestigkeit und zum Randschluss in zervical dentinbegrenzten Kavitäten  
Phillip J 14:101-112
55. Sadek F.T., Goracci C., Cardoso P.E., Tay F.R., Ferrari M. (2005)  
Microtensile bond strength of current dentin adhesives measured immediately and 24 hours after application  
J Adhes Dent 7:297-302
56. Sidhu S.K., Omata Y., Tanaka T., Koshiro K., Spreafico D., Semeraro S., Mezzanzanica D., Sano H. (2007)  
Bonding characteristics of newly developed all-in-one adhesives  
J Biomed Mater Res B Appl Biomater 80:297-303

57. Swift E.J., Perdigao J., Heymann H.O. (1995)  
Bonding to enamel and dentin: A brief history and state of the art, 1995  
Quintessence Int 26:95-110
58. Tay F.R., Pashley D.H., Suh B., Carvalho R., Miller M. (2004)  
Single-step, self-etch adhesives behave as permeable membranes after polymerization. Part I. Bond strength and morphologic evidence  
Am J Dent 17:271-278
59. Toledano M., Osorio R., Albaladejo A., Aguilera F.S., Tay F.R., Ferrari M. (2006)  
Effect of cyclic loading on the microtensile bond strengths of total-etch and self-etch adhesives  
Oper Dent 31:25-32
60. Torkabadi S., Nakajima M., Ikeda M., Foxton R.M., Tagami J. (2008)  
Bonding durability of HEMA-free and HEMA-containing one-step adhesives to dentine surrounded by bonded enamel  
J Dent 36:80-86
61. van Dijken J.W., Sunnegardh-Grönberg K., Sörensson E. (2007)  
Clinical bonding of a single-step self-etching adhesive in noncarious cervical lesions  
J Adhes Dent 9:241-243
62. Wattanawongpitak N., Yoshikawa T., Burrow M.F., Tagami J. (2007)  
The effect of thermal stress on bonding durability of resin composite adaptation to the cavity wall  
Dent Mater J 26:445-450

63. Yoshida Y., Nagakane K., Fukuda R., Nakayama Y., Okazaki M., Shintani H., Inoue S., Tagawa Y., Suzuki K., De Munck J., Van Meerbeek B. (2004) Comparative study on adhesive performance of functional monomers  
J Dent Res 83:454-458

## **7. Publikationen / Danksagung**

Ich danke Herrn Prof. Dr. med. dent. Matthias Hannig für die Möglichkeit, an seiner Klinik promovieren zu dürfen, für die Überlassung dieses interessanten Themas sowie für die Unterstützung und Betreuung der Arbeit.

Für die Hilfe während der gesamten Promotion und bei der Vorbereitung zur erfolgreichen Teilnahme am Voco Dental Challenge (2. Platz) gilt mein großer Dank der ehemaligen Oberärztin Frau Dr. Karin Huber, die jederzeit als Ansprechpartnerin zur Verfügung stand.

Für die Bereitstellung der Adhäsive und Kompositmaterialien danke ich den Firmen Dentsply De Trey GmbH, Konstanz / D, Heraeus Kulzer GmbH & Co KG, Hanau / D, Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen / D, und Voco GmbH, Cuxhaven / D.

Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Maria und meinen Kindern Romina und Maxima, die während der Promotion oft auf mich verzichten mussten.

## 8. Lebenslauf

Name: Pascal Klein  
Anschrift: Weierswies 4a  
66538 Neunkirchen / Saarland

### Persönliche Daten:

Geburtsdatum: 21.08.1972  
Geburtsort: Neunkirchen  
Familienstand: verheiratet seit dem 30.08.2002  
zwei Kinder (geb. 08.01.1999 & 06.12.2002)

Schulbildung: 1978 Grundschule Elversberg  
1982-1991 Albertus-Magnus-Gymnasium Sankt Ingbert  
1991 Erlangen der allgemeinen Hochschulreife

Berufsausbildung: 1993 – 1999 Studium der Zahnmedizin in Homburg / Saar

Beruf: 2000 – 2001 Assistenz Zahnarzt, Praxis Dr. Arenz, Saarbrücken  
seit 2002 selbständiger Zahnarzt in der Gemeinschaftspraxis  
Dr. Frank Arenz – Pascal Klein – Ruth Arenz, Saarbrücken