

Aus der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde

Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

(Direktor: Prof. Dr. M. Hannig)

**Einfluss verschiedener Adhäsive auf die marginale Adaptation  
von Klasse-II-Kompositrestaurationen in vitro**

*Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde*

**der Medizinischen Fakultät**

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2010

vorgelegt von: Ingrida Martusewitsch

geb. am: 12 Januar 1973 in Pruseliai, Litauen.

Amtierender Dekan: Prof. Dr. M.D. Menger

1. Berichterstatter: Prof. Dr. M. Hannig

2. Berichterstatter: Prof. Dr.

Tag der Promotion:

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>7</b>
2.1	Adhäsive Füllungstechnik .....	8
2.1.1	Allgemeines .....	8
2.1.2	Schmelzhaftung .....	9
2.1.3	Dentinhaftung .....	9
2.2	Dentinadhäsive .....	11
<b>3</b>	<b>Material und Methoden</b> .....	<b>18</b>
3.1	Auswahl der Zähne .....	18
3.2	Präparation der Kavität .....	18
3.3	Aufteilung der Zähne auf die Versuchsgruppen .....	19
3.4	Legen der Füllung .....	19
3.5	Ausarbeitung der Füllung .....	20
3.6	Abformungen der Restaurationsränder .....	23
3.7	Thermischer und mechanischer Belastungstest .....	23
3.8	Farbstoffpenetrationstest .....	24
3.9	Statistische Auswertungen.....	26
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	<b>28</b>
4.1	Rasterelektronenmikroskopische Füllungsrandanalyse .....	28
4.1.1	Gruppe A: Merz Testprodukt .....	28
4.1.1.1	Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder .....	28
4.1.1.2	Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder .....	30
4.1.2	Gruppe B: AQ-Bond.....	31

---

4.1.2.1	Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder .....	31
4.1.2.2	Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder .....	34
4.1.3	Gruppe C: Adper Prompt L-Pop .....	36
4.1.3.1	Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder .....	36
4.1.3.2	Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder .....	39
4.1.4	Gruppe D: Opti Bond FL .....	40
4.1.4.1	Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder .....	40
4.1.4.2	Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder .....	43
4.1.5	Gruppe E:Hybrid Bond.....	46
4.1.5.1	Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder .....	46
4.1.5.2	Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder .....	49
4.1.6	Gruppe F: Adper Scotchbond 1 XT.....	52
4.1.6.1	Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder .....	52
4.1.6.2	Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder .....	53
4.1.7	Gruppe G: Opti Bond Solo Plus .....	55
4.1.7.1	Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder .....	55
4.1.7.2	Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder .....	57
4.2	Vergleichende Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen schmelzbegrenzten Restaurationsränder .....	60

---

4.3	Vergleichende Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen dentinbegrenzten Restaurationsränder .....	69
4.4	Farbstoffpenetrationstest .....	73
<b>5</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>80</b>
5.1	Versuchsaufbau .....	80
5.1.1	Untersuchung in vitro .....	80
5.1.2	Materialauswahl.....	81
5.1.3	Präparation .....	82
5.1.4	Applikationsweise der Adhäsive .....	83
5.1.5	Legen der Füllung.....	84
5.1.6	Polymerisation .....	85
5.1.7	Politur .....	86
5.1.8	Wasserlagerung.....	86
5.1.9	Künstliche Alterung.....	86
5.1.9.1	Thermische Wechselbelastung.....	86
5.1.9.2	In-vitro-Kaubelastung.....	87
5.1.10	Quantitative Randanalyse im REM.....	88
5.1.11	Interne Adaptation - Farbstoffpenetration .....	89
5.2	Ergebnisse.....	90
5.2.1	Füllungsrandanalyse bei Anwendung unterschiedlicher Adhäsive .....	90
5.2.1.1	Gruppe D: OptiBond FL .....	90
5.2.1.2	Gruppe F: Adper Scotchbond 1XT.....	91
5.2.1.3	Gruppe C: Adper Prompt L-Pop (APLP) .....	93
5.2.1.4	Gruppe A: Merz Testprodukt.....	96
5.2.1.5	Gruppe B: AQ Bond.....	96
5.2.1.6	Gruppe E: Hybrid Bond.....	97
5.2.1.7	Gruppe G: Opti Bond Solo Plus.....	98
5.2.2	Vergleichende Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen schmelzbegrenzten Restaurationsränder.....	98

---

5.2.3	Vergleichende Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen dentinbegrenzten Restaurationsränder ..	101
<b>6</b>	<b>Schlussfolgerung .....</b>	<b>103</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>104</b>
<b>8</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>137</b>
	<b>Danksagung .....</b>	<b>139</b>
	<b>Lebenslauf.....</b>	<b>141</b>

## 1 Zusammenfassung

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurde das Randschlussverhalten von verschiedenen Dentinhaftvermittlern in Klasse-II-Kavitäten untersucht. Für die Untersuchung wurden 56 extrahierte, kariesfreie humane untere Weisheitszähne verwendet. In jeden Zahn wurde eine mesio-okklusale Kavität präpariert, deren zervikale Stufe 1,2 mm breit war und 1 mm zervikal unter der Schmelz-Zementgrenze endete. Die Zähne wurden auf 7 Versuchsgruppen zu je acht Zähnen (n=8) verteilt. Jeweils acht Kavitäten pro Versuchsgruppe wurden streng nach Herstellerangaben mit den folgenden Haftvermittlern vorbehandelt:

Gruppe A: Merz Testprodukt

Gruppe B: AQ Bond

Gruppe C: Adper Prompt L-Pop

Gruppe D: Opti Bond FL

Gruppe E: Hybrid Bond

Gruppe F: Adper Scotchbond 1XT

Gruppe G: Opti Bond Solo Plus

Als Restaurationsmaterial kam das Komposit Tex 1 (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen) zum Einsatz. Jede Füllung wurde inkrementweise gelegt.

Ziel dieser Untersuchung war es, den Einfluss unterschiedlicher Adhäsive (Etch-and-Rinse Zwei- und Drei-Schritt-Systeme sowie selbstkonditionierende All-in-one und Zwei-Schritt-Systeme) auf die marginale Adaptation von Klasse-II-Kavitäten-Kompositrestaurationen an Schmelz- und Dentinrändern zu ermitteln. Die marginale Integrität der Restaurationen wurde durch rasterelektronenmikroskopische Randspaltanalysen bei 400facher Vergrößerung ermittelt. Zuvor wurden die Proben bei Raumtemperatur in Wasser gelagert, anschließend 2500 Zyklen einer thermischen Wechselbelastung für jeweils 70s (Thermocycling bei 5 Grad /55 Grad Celsius) ausgesetzt und durch 200.000 Zyklen im Kausimulator mit einer Kraft von 70 N belastet. Die Beurteilung der Randqualität wurde in Schritten von 100 µm nach folgenden Kriterien vollzogen: perfekter Rand, unregelmäßiger Rand, Haarriss, Randspalt. Die

Hauptkriterien bei der Bewertung der Füllungsqualität waren der perfekte Rand und der Randspalt. Im Anschluss an die In-vitro-Kausimulation wurde ein Farbstoffpenetrationstest mit 0,5%iger Methylenblau-Lösung durchgeführt, um die interne Adaptation zwischen Komposit und Zahnschmelz festzustellen. Die vorliegende Arbeit sollte die folgenden Fragen klären:

- Kann mit den untersuchten Adhäsivsystemen ein spaltfreier Rand an Schmelz und Dentin erreicht werden?
- Wie verändert sich die Randqualität nach der thermischen und mechanischen Belastung sowohl am Schmelz als auch am Dentin bei verschiedenen Adhäsiven?
- Sind die vereinfachten Systeme in Bezug auf die Randqualität vergleichbar mit den Systemen unter Anwendung der Phosphorsäureätzung oder den Systemen, die aus mehreren Schritten und Komponenten bestehen?

Die statistische Analyse der Ergebnisse erfolgte mit Microsoft Excel 2003 im Betriebssystem WindowsXP und dem Zusatzpaket XLStat, Version 2008. Es wurde ein Signifikanzniveau von  $p=0,05$  verwendet.

Der höchste Anteil an perfekten Rändern im Bereich der **schmelzbegrenzten** Kavitäten lag in dieser Studie in der Gruppe D (Opti Bond FL) bei 92,2%.

In den Versuchsgruppen B (79,3%), C (67,3%) und F (66,9%) konnten hohe Anteile von perfekten Rändern initial nachgewiesen werden. Die Adhäsive der Gruppe A und G wiesen sehr geringe Anteile perfekter Ränder an den schmelzbegrenzten Restaurationsrändern (unter 10%) und höhere Anteile an Randspalten (über 50%) auf.

Die prozentuellen Anteile der perfekten Ränder am Schmelz betragen in absteigender Reihenfolge:

- nach der thermischen Belastung: D (72,7%), C (45,9%), F (44,8%), B (34,5%), E (19,5%), G (4,9%), A (4,0%).
- nach der mechanischen Belastung: D (64,9%), B (30,9%), C (28,2%), F (28,1%), E (13,0%), G und A (0%).

In den **dentinbegrenzten** Kavitäten konnte ein kleinerer Anteil an perfekten Rändern im Gegensatz zu den schmelzbegrenzten Kavitäten festgestellt werden. Der höchste Anteil perfekter marginaler Adaptation am Dentin lag nach



der Fertigstellung der Restauration in der Gruppe E bei 68,7%. Am Dentin wiesen die anderen Gruppen bezüglich des perfekten Randes mit D (39,4%), B (38,8%), A (24,1%), C (17,5%), F (13,3%) und G (10,1%) geringere Werte auf.

Die prozentuellen Anteile der perfekten Ränder am Dentin betragen in der absteigenden Reihenfolge:

- nach der thermischen Belastung: B (22,9%), E (21,7%), D (11,4%), A (10,0%), F (8,9%), C (4,3%), G (2,3%).
- nach der mechanischen Kaubelastung: B (19,9%), E (19,6%), A (16,7%), F (7,7%), C (5,2%), D (4,3%), G (0,4%).

Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass durch keines der verwendeten Adhäsive ein spaltfreier Rand sowohl am Schmelz als auch am Dentin erreicht werden konnte. Die anschließenden thermischen und mechanischen Belastungen verschlechterten die Randqualität signifikant. Die Etch-and-Rinse Systeme mit der Phosphorsäureätzung erzielten einen wenig besseren Randschluss in den schmelzbegrenzten Kavitäten als die selbstkonditionierenden Systeme; das Etch-and-Rinse-Drei-Schritt Adhäsiv hatte einen größeren Anteil an perfekten Rändern als das Etch-and-Rinse Zwei-Schritt-Adhäsiv. Jedoch konnten keine prinzipiellen Unterschiede zwischen den Etch-and-Rinse-Systemen und den selbstkonditionierenden Systemen festgestellt werden. In den dentinbegrenzten Kavitäten erzielten selbstkonditionierende Adhäsive gleiche oder sogar leicht bessere Ergebnisse als Etch-and-Rinse-Adhäsive. Nur die Gruppen B und D erzielten sowohl am Schmelz als auch am Dentin befriedigende Ergebnisse, dahingegen zeigte Gruppe E eine gute Randqualität am Dentin. Am Schmelz wies die Gruppe E jedoch nur 28,1% an perfekten Rändern auf.

## Summary

The present in vitro study investigated the marginal behaviour of class-II resin composite restorations placed by use of various adhesive systems. For this study, 56 extracted, caries-free human wisdom teeth were used. In each tooth a mesio-occlusal cavity was prepared with proximal margins located 1mm beyond (below) the cemento-enamel junction. The teeth with prepared cavities were randomly divided into 7 experimental groups, each group comprised of 8 teeth. The cavities of each experimental group were treated with one of the following adhesive systems strictly according the manufacturers' instructions:

Group A: Merz experimental product

Group B: AQ Bond

Group C: Adper Promp L-Pop

Group D: Opti Bond FL

Group E: Hybrid Bond

Group F: Adper Scotchbond 1XT

Group G: Opti Bond Solo Plus

The resin composite Tex 1 (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen) was used as restorative material. The fillings were placed using the incremental technique.

The aim of the study was to evaluate the marginal adaptation obtained by application of different adhesive systems (etch-and-rinse two- and three-step systems, as well self-conditioning all- in-one and two-step systems) in class II composite resin restorations at enamel and dentin margins. The marginal adaptation of the restorations was assessed by scanning electron microscopy (SEM) at 400 fold magnification. The teeth with the restorations were stored in water at room temperature, before the samples were thermocycled (2.500 cycles between 5 and 55 degrees for 70 s in each water bath). Subsequently, the restorations were subjected to 200.000 cycles of occlusal loading (chewing simulation) with a force of 70 N. Marginal adaptation of the restorations was assessed on replica models, according to the following criteria: perfect margin, marginal irregularities, marginal gaps and hairline cracks. In addition, after chewing simulation a dye penetration test was

performed with 0.5% methylene blue solution in order to assess the internal adaptation between resin composite and tooth hard substance.

The purpose of the present study was to clarify the following questions:

- Is it possible to achieve gap-free marginal adaptation by use of the adhesive systems involved in the present investigation?
- How does the marginal quality change after thermo-mechanical stress at the enamel as well as dentinal margins using different types of adhesive systems?
- Do the simplified systems offer the same marginal quality as the adhesive systems with phosphoric acid or those systems including several steps and components do?

The statistical analysis was performed with Microsoft Excel in Windows XP and the additional package XL Stat (Fahmy 2008), version 2008.

High amounts of perfect marginal adaptation at the restorations' margins located in enamel were detected in experimental groups D (92.2%), B (79.3%), C (67.3%) and F (66.9%) after placement of the fillings. In contrast, the groups A and G revealed only low amounts (less than 10%) of perfect marginal seal and high percentages of marginal gaps (more than 50%) at the restoration–enamel interface.

The percentages of perfect margins at the resin-composite-enamel-interface were (listed in decreasing sequence):

- after thermal loading: group D (72.7%), C (45.9%), F (44.8), B (34.5%), E (19.5%), G (4.9%), A (4.0%),
- after mechanical loading: group D (64.9%), B (30.9%), C (28.2%), F (28.1%), E (13.0%), G and A (0%)

At the restoration margins located in dentin, only a low amount of perfect marginal adaptation was found after placement of the fillings: group D (39.4%), B (38.8%), A (24.1%), C (17.5%), F (13.3%) and G (10.1%). The highest percentage of perfect marginal adaptation at the restoration-dentin interface after placement of the fillings was detected in group E (68.7%).

The percentages of perfect marginal seal at the margins located in dentin were (listed in decreasing sequence):

- after thermal loading: group B (22.9%), E (21.7%), D (11.4%), A (10.0%), F (8.9%), C (4.3%), G (2.3%).
- after mechanical loading: group B (19.9%), E (19.6%), A (16.7%), F (7.7%), C (5.2%), D (4.3%), G (0.4%).

The results of the this in vitro study indicate that it was not possible to achieve a completely gap-free marginal adaptation at the restorations' margins located in enamel as well as in dentin using the adhesive systems involved in the present investigation. Subsequent thermal and mechanical loadings significantly reduced / decreased the marginal quality. The etch-and-rinse systems using phosphoric acid provided a little bit better marginal adaptation at the restorations' enamel margins than the self-conditioning systems. The etch-and-rinse three-step adhesive achieved a higher amount of perfect margins than the etch-and-rinse two-step adhesive. Nevertheless, general differences could not be assessed between the etch-and-rinse systems and the self-conditioning adhesive systems. At the restorations' dentinal margins the self conditioning systems achieved same results or even better results than the etch-and-rinse adhesives. Only in experimental groups B and D, satisfactory results were achieved regarding the marginal adaptation obtained at the resin composite-enamel as well as at the resin composite-dentin interfaces.

## 2 Einleitung

Das wachsende Patientenstreben nach Ästhetik und kontroverse Meinungen über die gesundheitliche Beeinträchtigung durch das Füllungsmaterial Amalgam führt dazu, dass Komposite zunehmenden Einsatz auch im Seitenzahnbereich finden. Der finanzielle und zeitliche Aufwand bei Kompositfüllungen ist im Vergleich zur Amalgamfüllung größer, aber immer noch preiswerter als indirekte Keramikrestorationen. Die minimalinvasive, kariesorientierte zahnschonende Kavitätenpräparation bei Kompositfüllungen hat einen großen Vorteil gegenüber der Black'schen Regel „extension for prevention“ bei Amalgamfüllungen. Deswegen etablieren sich Komposite immer mehr in den Praxen. Die früheren Komposite führten durch ihre schlechten mechanischen Eigenschaften und die große Polymerisationsschrumpfung im kautragenden Seitenzahnbereich oft zum Mißerfolg. Nach der Entwicklung des Bowen-Monomers (Bowen, 1962) erfolgte ein langer Weg in der Weiterentwicklung, bis die Komposite die erforderlichen Voraussetzungen für ein universelles Restaurationsmaterial erfüllen konnten.

Die neuen Komposite enthalten mehr Füllstoffe und haben eine kleinere Partikelgröße (0,2 µm). Durch den hohen Fülleranteil verringert sich der Abstand zwischen den Partikeln. Das Komposit erhält dadurch sowohl eine geringere Polymerisationsschrumpfung als auch eine maximale Abrasionsfestigkeit (Ratetschak und Wolf, 1994). Die Hybridkomposite verfügen aufgrund ihrer Füllkörpertechnologie und des Füllkörperanteils über die notwendigen physikalischen und mechanischen Eigenschaften, auch Kaulast tragende Klasse-I- und-II-Kavitäten dauerhaft erfolgreich zu restaurieren (Manhart, 2006). Alle heute auf dem Markt verfügbaren Kompositmaterialien unterliegen jedoch nach wie vor einer Polymerisationsschrumpfung von 2-4% (Ernst et al. 2004). Mit Hilfe der Adhäsivtechnik soll ein fester Verbund zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit erzielt und dadurch die Bildung von Randspalten während der Polymerisation verhindert werden (Haberkorn, 2006). Erst durch die adhäsive Verankerung gelang es, einen Kompensationsmechanismus zur

Polymerisationsschrumpfung zu etablieren mit der Möglichkeit, dauerhafte Restaurationen anzufertigen (Frankenberger, 2001).

Seit Buonocore 1955 die Schmelz-Ätztechnik einführte, begann eine neue Epoche in der Füllungstherapie. Durch das Ätzen mit 37%iger Phosphorsäure wird ein Ätzmuster erzeugt, das zu einer mikromechanischen Verankerung zwischen Komposit und Zahnhartsubstanz führt. Die daraus entstehende Haftung ist ausreichend, um den durch die Polymerisationsschrumpfung erzeugten Kräften wirksam entgegenzutreten (Frankenberger, 2001). In zirkulär schmelzbegrenzten Klasse-II-Kavitäten kann eine stabile marginale Adaptation erzielt werden (Hickel, 1997, Hannig et al. 1999). In Bezug auf die Haftung zum Schmelz, erzeugt die Phosphorsäureätzung eine größere Oberfläche und hat sich als zuverlässig erwiesen (Frankenberger et al. 2003). Problematisch ist der Randschluss von Kompositfüllungen in approximal dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten. Trotz der Dentinadhäsive können am Dentin keine dauerhaft dichten Restaurationsränder erzielt werden (Hickel, 1997, Lang et al. 2000, Hannig und Friedrichs, 2001, Manhart et al. 2003). Bedingt durch die Struktur des Dentins ergeben sich ganz andere Voraussetzungen für den adhäsiven Verbund als im Schmelz (Burrow et al. 2008).

## **2.1 Adhäsive Füllungstechnik**

### **2.1.1 Allgemeines**

Adhäsive (lat.adhere = anheften) sind Substanzen, die zwei Oberflächen miteinander verbinden. Die Adhäsion findet durch eine chemische oder mechanische Bindung zwischen zwei Materialien statt. Der Begriff „*Bonding*“ fasst beide Mechanismen zusammen. Bei den adhäsiven Techniken überwiegen sowohl bei der Schmelz- als auch bei der Dentinhaftung die mikromechanischen Kräfte. Die adhäsive Technik hat sich klinisch bewährt und ist aus der restaurativen Therapie nicht mehr wegzudenken (Haller und Blunck, 2003).

### 2.1.2 Schmelzhaftung

Der Grundstein jeglicher Adhäsion in der zahnmedizinischen Füllungstherapie wurde 1955 mit der Einführung der Schmelz-Ätz-Technik durch Buonocore gelegt (Buonocore, 1955). Ätzen mit 30-40%iger Phosphorsäure schafft eine ideale Oberflächenmorphologie für die mikromechanische Verankerung von Kunststoffen (Frankenberger et al. 2002). Die durch Schmelzätzung erzeugten Porositäten ermöglichen das Einsickern ungefüllter und gefüllter Bondingmaterialien in den Schmelz. Auf diese Weise kommt es zu einer innigen Verzahnung von Adhäsiv und Schmelz durch die Ausbildung von sogenannten Tags. Durch eine Randabschrägung bei der Kavitätenpräparation werden die Schmelzprismen vorzugsweise quer zu ihrer Verlaufsrichtung angeschnitten. Das nach Säurekonditionierung resultierende mikroretentive Ätzmuster ermöglicht eine effektive, randdichte Verankerung von Komposit am Zahnschmelz (Haller und Günther, 1998; Hannig et al. 1999). Damit die volle Benetzbarkeit dieses Ätzmusters erhalten bleibt, muss es durch sichere Trockenlegung vor dem Zutritt von Speichel, Blut und Sulkusfluid geschützt werden (Blunck, 2007). Kann die Schmelzhaftung durch Schmelz-Ätz-Technik (SÄT) als seit Jahrzehnten optimal gelöst betrachtet werden, so hat es großer Anstrengungen bei der Dentinhaftung bedurft (Janda, 2008).

### 2.1.3 Dentinhaftung

Aufgrund des meist ausgeprägten Zerstörungsgrades reichen die Ränder von Füllungen zervikal häufig in den Wurzelbereich, was die Verwendung eines Dentinadhäsives erforderlich macht (Haller et al. 1998). Der Verbund am Dentin ist wesentlich schwerer durchzuführen; dafür verantwortlich ist dessen hydrophile tubuläre Mikrostruktur in Verbindung mit seinem hohen organischen Gehalt. Dentin ist aus 50 Vol.-% anorganischen, 30 Vol.-% organischen Anteilen und 20 Vol.-% Wasser aufgebaut. Die organische Matrix besteht zu 91-92 % aus Kollagen und 8-9 % aus nichtkollagener Grundsubstanz (Rateitschak und Wolf, 1994). Die anorganischen Bestandteile stellen Hydroxylapatite dar, die aus Kalzium- und Phosphatmineralien bestehen. Ein

typisches Merkmal des Dentins sind die Tubuli, die einen direkten Zugang zur Pulpa haben (Haller und Blunck, 2003). Die Tubuli sind mit Odontoblastenfortsätzen und Dentinliquor ausgefüllt. Der Dentinliquor, eine in der Pulpa gebildete, extrazelluläre Gewebsflüssigkeit, ist stark proteinhaltig und bezüglich  $\text{Ca}^{++}$  - und  $\text{PO}_4^-$  -Ionen gesättigt (Lutz et al. 1993). Daher ist das Dentin hydrophil. Um hydrophobes Komposit mit dem hydrophilen Dentin zu verbinden, wurden verschiedene Dentinadhäsionssysteme entwickelt.

Die weitere Schwierigkeit der Haftung liegt in der Schmierschicht. Bei der Präparation entsteht eine 1-5  $\mu\text{m}$  dicke Schmierschicht auf der Dentinoberfläche. Diese verschließt die Dentintubuli und unterbindet so das Austreten der Tubuliflüssigkeit, verhindert jedoch eine chemische und feste mikromechanische Verbindung mit dem Dentin (Gwinnett, 1994). Auch beim Dentin stellt die mikromechanische Verankerung den überwiegenden Verbundmechanismus dar. Als Konditionierung wird die Behandlung des Dentins mit Säuren oder Komplexbildnern zur Auflösung oder Entfernung der Schmierschicht bezeichnet (Haller, 1994, Hannig et al. 1994). Obwohl es verschiedene Ansätze zur Vorbehandlung der Oberfläche gibt, ist die Säure-Ätzung die am häufigsten empfohlene (Frankenberger, 2002). Es werden nicht nur die Dentintubuli durch die Säureätzung eröffnet, so dass ein Adhäsiv in diese penetrieren kann, sondern es wird auch ein Kollagenfasergeflecht freigelegt, welches ebenfalls von geeigneten Adhäsiven infiltriert wird (Janda, 2008). Während moderne Ein-Komponenten-Adhäsive Primer und Adhäsiv in einer Lösung vereinen, verlassen sich die gängigen Zwei-Komponenten-Systeme auf einen niedrig viskosen Primer, der ausschließlich die Durchdringung und Imprägnation des durch Säure-Ätzung freigelegten Kollagennetzwerkes bewirkt. Dem Primer folgt ein hydrophobes Adhäsiv, das die interfibrillären Räume füllt und die geschaffene Grenzfläche mechanisch stabilisiert. Es entsteht eine gemischte Zone von mit Adhäsiv verkletteten Kollagenfasern, die als Hybridschicht bezeichnet wird (Frankenberger, 2002).



## 2.2 Dentinadhäsive

1965 stellte Bowen das erste Dentinadhäsiv vor. Seitdem wurden verschiedene Dentinadhäsionsstrategien entwickelt, die anhand unterschiedlicher Entwicklungsstufen als Generationen bezeichnet werden (Frankenberger, 2002). Abhängig von der Behandlung der Schmierschicht lassen sich prinzipiell zwei Arten der Dentinhaftung unterscheiden: Die Schmierschicht wird entweder erhalten und mit Kunststoff imprägniert oder aufgelöst bzw. entfernt. Die Schmierschicht besteht aus zermahlenden Dentinresten (Kollagen, Apatit), Wasser, Bakterien und ist mechanisch instabil.

### Erste und zweite Generation der Dentinhaftvermittler

Bei den ersten beiden Generationen von Adhäsiven wurde die Schmierschicht gelassen. Es wurde eine gute Infiltration der Schmierschicht erreicht, die Dentinhaftung des Komposits wurde aber durch die zu geringe Haftung der Schmierschicht auf dem darunter liegendem Dentin limitiert (Frankenberger, 2002). Der Verbund wurde auch ohne mechanische Beanspruchung durch hydrolytische Zersetzungsprozesse in der belassenen Schmierschicht beeinträchtigt. Diese Adhäsive haben kein Potenzial für die klinische Anwendung gefunden.

#### Adhäsive der ersten Generation:

Clearfil bonding agent (Kuraray, Osaka, J)

Orthomite Super Bond (Sun-Medikal, Kyoto, J)

#### Adhäsive der zweiten Generation sind:

Prisma Universal Bond (De Trey Densply)

Dentin Adhesit (Vivadent)

Scotchbond TM DC bzw. LC (3M Espe)

### Dritte Generation der Dentinhaftvermittler

Bei der dritten Generation erzielte man einen klinischen Erfolg. Der Schmelzrand wird mit 30-40%-iger Phosphorsäure geätzt, dabei bleibt das Dentin ausgespart. Diese Produkte bestehen aus mehreren Komponenten, so dass

man hier von Dentinhaftvermittlersystemen spricht. Das System besteht aus einem Primer, einem Adhäsiv und einem Bonding. Das Dentin wird mit den selbstätzenden Primerlösungen behandelt. Durch die im Primer enthaltene Säure wird die Schmierschicht aufgelöst, das darunter liegende Dentin demineralisiert. Die im Primer enthaltenen amphiphilen Monomere (HEMA) imprägnieren die Kollagenfasern und bereiten das Umfließen des Bondingharzes vor. Das Bondingharz fließt in die Zwischenräume des Kollagennetzwerkes und erzeugt eine Mischzone aus demineralisiertem Dentin und ungefülltem Kunststoff. Diese Zone wird Hybridschicht genannt und ist ein Schlüsselfaktor für ein erfolgreiches Dentinbonding (Frankenberger, 2002). Die klinische Anwendung der Adhäsive der dritten Generation ist jedoch diffizil, weil ein selektives Ätzen der Schmelzränder klinisch schwer umsetzbar ist.

#### Adhäsive der dritten Generation:

Syntac Classic (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, D)

A.R.T. Bond TM (Coltene, Altstätten, CH)

Scotchbond 2 TM (Dental Products/3M, Loughborough, GB)

#### **Vierte Generation der Dentinhaftvermittler**

Das selektive Ätzen der Schmelzränder war aufgrund des häufigen unbeabsichtigten Mehraustritts aus der Applikationsspritze der Phosphorsäure recht diffizil.

In dieser neuen Generation wird eine Vereinfachung der Anwendung durch gleichzeitiges Anätzen von Schmelz und Dentin mittels Phosphorsäure erreicht, die nach einer Einwirkzeit (für Schmelz bis 30 s, für Dentin 20 s) mit Wasser abgesprüht wird. Charakteristisch für die 3. und 4. Generation ist die Trennung von Primer und Bonding Agent. Diese Produkte werden auch als Etch-und-Rinse-, früher Total-Ätz-Systeme bezeichnet. Die konditionierende Funktion des Primers fällt somit weg und beschränkt sich lediglich darauf, mit Hilfe der Monomere eine Verbindung zwischen dem hydrophilen Dentin und dem hydrophoben Kunststoff herzustellen (Gärtner, 2006).

Die Adhäsive der vierten Generation sind:

OptiBond FL (Kerr)

Solobond Plus (Voco)

Gluma Solid Bond (Heraeus-Kulzer)

Die Anwendung von Bondingsystemen mit Phosphorsäure-Ätzung birgt verschiedene Risiken. Eine zu lange Ätzdauer bewirkt eine zu große Demineralisationstiefe und eine Trocknung des Dentins kann zum Kollagenkollaps und dadurch zur unvollständigen Monomerinfiltration führen. Sollte das Dentin zu stark getrocknet worden sein, kann das Verkleben der Kollagenfasern zumindest bis zu einem gewissen Maß wieder rückgängig gemacht werden, indem es mit einem leicht wasserfeuchten Microbrush erneut angefeuchtet wird (Re-wetting). Gerade in Klasse-II-Kavitäten ist der Abstand zur Pulpa sehr gering und bei unzureichender Dentinversiegelung treten postoperative Hypersensibilitäten auf. Das Ätzen bewirkt eine deutliche Erhöhung der Dentinpermeabilität in sehr tiefen Kavitäten (Restdentindicke < 200 µm), in den flachen und mittleren Kavitäten mit verbliebener Dentindicke von mehr als 500 µm spielt die Eröffnung der Dentintubuli für die Permeabilität keine Rolle (Frankenberger, 2006). Als Folge der Dentinpermeabilität ist eine postoperative Hypersensibilität festzustellen.

Nach Phosphorsäure-Ätzung werden im Allgemeinen stärkere Pulpairritationen beobachtet als nach Konditionierung mit selbstätzenden Primern.

Um die klinische Fehleranfälligkeit und Techniksensitivität zu minimieren, wurden selbstkonditionierende Bondingsysteme entwickelt.

**Fünfte Generation der Dentinhaftvermittler**

Zur weiteren Vereinfachung wurden so genannte „Ein-Flaschen-Adhäsive“ in Kombination mit der Etch-und-Rinse-Technik entwickelt. Hier befinden sich Primer und Bonding in einer Flasche.

Adhäsive der fünften Generation sind:

Prime&amp;Bond NT (Densply De Trey)

Excite (Ivoclar Vivadent)

Admira Bond (Voco)

Adper Scotchbond 1XT (3M Espe)

Obwohl in der Literatur schlechtere Ergebnisse im Vergleich mit den aufwendigeren Systemen gefunden wurden, sind diese Adhäsive durch einfachere Anwendung klare Marktführer geworden (Frankenberger et al. 1996, Haller und Fritzenschaft, 1999, Ernst, 2001, De Munck et al. 2003 b, Goracci et al. 2004, Brackett et al. 2006, Yesilyurt und Bulucu, 2006).

### **Sechste Generation der Dentinhaftvermittler**

Der sechsten Generation gehören Self-Etch-Adhäsive an. Das Besondere an den Self-Etch-Adhäsiven ist, dass sie auf die Schmelzätzung mit Phosphorsäure verzichten. Die Schmelz- und Dentinkonditionierung erfolgt mittels saurer Monomere (Maleinsäure, methacrylierte Phosphorsäureester oder Carboxylgruppen), deren Ätzwirkung geringer als Phosphorsäure, aber immer noch ausreichend ist. Bei dieser Generation werden Primer und Adhäsiv in zwei Arbeitsschritten aus separaten Fläschchen appliziert. Vertreter dieser Gruppe ist Opti Bond Solo Plus (Kerr).

### **Siebte Generation der Dentinhaftvermittler**

Bei der siebten Generation sind Primer und Adhäsiv in einer Flasche (All-in-one). Saure Lösungen aus hydrophilen und hydrophoben Monomeren sowie aus Monomeren mit Säureestern erfüllen gleichzeitig die Funktion von Ätzmittel, Primer und Adhäsiv. Die Phosphorsäureester sind im sauren Milieu nicht ausreichend hydrolysestabil. Deshalb wurden die ersten All-in-one Systeme aus zwei Lösungen angemischt. Die neueren Präparate enthalten das erforderliche Wasser, das für die Dissoziation erforderlich ist. Alternativ befinden sich wasserfreie All-in-one-Präparate auf dem Markt, die das für die Dissoziation erforderliche Wasser aus einer feuchten Kavität beziehen.

Adhäsive der siebten Generation sind:

Adper Prompt L-Pop (3M Espe)

One-Up Bond (Tokuyama, Tokyo, Japan)

Xeno III (Densply De Trey)

Hierbei sind Primer und Adhäsiv in einem Folienblister getrennt aufbewahrt und werden vor Applikation durch Aktivierung automatisch vermischt.

Dieser Gruppe gehören auch gebrauchsfertige Primer-Adhäsive mit Einmalapplikation (AQ Bond (Sun Medical), i Bond (Heraeus Kulzer)) an.

Während die Adhäsive bislang chronologisch nach Generationen eingeteilt wurden, kam man vor kurzem zu der Erkenntnis, dass diese Einteilung mittlerweile nicht mehr tragfähig ist, da der Wirkmechanismus und die Anzahl der Applikationsschritte wichtiger sind als der Zeitpunkt der Markteinführung (Frankenberger, 2006).

**Tab.1: Einteilung der Adhäsivsysteme nach Wirkungsmechanismen und Anzahl der Applikationsschritte (Frankenberger, 2006)**

<b>1. Vier-Schritt-Selective-Etching:</b>			
Phosphorsäure	Primer 1	Primer 2	Bonding Agent
Nur Schmelz	Schmelz/Dentin	Schmelz/Dentin	Schmelz/Dentin
<i>Beispiel: Syntac (Etchant, Primer, Adhesive [2. Primer], Heliobond)</i>			
<b>2. Drei-Schritt-Selective-Etching:</b>			
Phosphorsäure	Primer 1	Primer 2	Bonding Agent
Nur Schmelz	Mischen und applizieren: Schmelz/Dentin		Schmelz/Dentin
<i>Beispiel: A.R.T. Bond (Etchant, Primer A+B, Bond)</i>			
<b>3. Vier-Schritt-Total-Etching:</b>			
Phosphorsäure	Primer 1	Primer 2	Bonding Agent
Schmelz/Dentin	Schmelz/Dentin	Schmelz/Dentin	Schmelz/Dentin
<i>Beispiel: Syntac (Etchant, Primer, Adhesive [2. Primer], Heliobond)</i>			
<b>4. Drei-Schritt-Total-Etching:</b>			
Phosphorsäure	Primer 1	Primer 2	Bonding Agent
Schmelz/Dentin	Mischen und applizieren: Schmelz/Dentin		Schmelz/Dentin
<i>Beispiel: A.R.T. Bond (Etchant, Primer A+B, Bond)</i>			
Phosphorsäure	Primer		Bonding Agent
Schmelz/Dentin	Schmelz/Dentin		Schmelz/Dentin
<i>Beispiele: Adper Scotchbond Multi-Purpose, All-Bond 2, Gluma Solid Bond, OptiBond FL</i>			
<b>5. Zwei-Schritt-Total-Etching:</b>			
Phosphorsäure	Primer + Bond		
Schmelz/Dentin	Schmelz/Dentin		
<i>Beispiele: Prime&amp;Bond NT, Adper Scotchbond 1, Gluma Comfort Bond, One-Step, Solobond M, Admira Bond, One Coat Bond</i>			
<b>6. Zwei-Schritt-Self-Etching:</b>			
Phosphorsäure	Primer		Bonding Agent
-	Schmelz/Dentin		Schmelz/Dentin
<i>Beispiele: Hydrophobes Bond: AdheSE, Clearfil SE Bond, Clearfil Protect Bond, Resulcin Aquaprime + Monobond, One Coat SE Bond. Hydrophiles Bond: OptiBond Solo Plus SE, NRC+Prime&amp;Bond NT</i>			
<b>7. Ein-Schritt-Self-Etching (Mischpräparate):</b>			
Phosphorsäure	Etchant + Primer + Bond		
-	Schmelz/Dentin		
<i>Beispiele: Adper Prompt, Xeno III, Etch&amp;Prime 3.0, One Up Bond F</i>			
<b>8. Ein-Schritt-Self-Etching (Ein-Flaschen-Präparate):</b>			
Phosphorsäure	Etchant + Primer + Bond		
-	Schmelz/Dentin		
<i>Beispiele: iBond, Brush&amp;Bond, G-Bond, Clearfil S3 Bond</i>			

Total-Etch Materialien erzeugen signifikant bessere Randintegrität als die Mehrheit der Self-Etch-Adhäsive (Frankenberger, 1996, Haller und Fritzenschaft 1999, Ernst 2001, De Munck et al. 2003 b, Ernst et al. 2004, Goracci et al. 2004, Brackett et al. 2006, Yesilyurt und Bulucu, 2006).

Die Anforderungen an moderne Adhäsive können wie folgt formuliert werden (Janda, 2008):

1. hohe Haftfestigkeit zu Schmelz und Dentin
2. hoher Prozentsatz an perfektem Rand, insbesondere im Dentin
3. Langlebigkeit des Verbundes
4. kein Microleakage
5. kein Nanoleakage
6. akzeptable bzw. einfache Anwendung
7. gute Bioverträglichkeit

Unter Microleakage versteht man die Randspaltbildung, die zwischen Füllung und dem Dentin, seltener dem Schmelz auftritt. Diese ist durch Verarbeitungsfehler oder auch durch nicht geeignete Adhäsive bedingt und kann bakterielle Penetration sowie Sekundärkaries zur Folge haben. Das Nanoleakage ist die Folge einer nicht vollständigen Penetration des Adhäsivs in das durch die Säureätzung unterschiedlich stark demineralisierte Dentin, d.h. die Hybridschicht ist im Nanobereich fehlerhaft. In die hierdurch entstandenen Hohlräume können orale oder pulpale Flüssigkeiten eindringen und zu einer Hydrolyse, d.h. Zerstörung des adhäsiven Verbundes führen. Nanoleakages sind für Bakterien nicht passierbar (Janda, 2008). Stärkere Pulpairritationen findet man bei der Total-Etch-Technik als bei der Anwendung der Self-Etch-Technik. Stand früher die Optimierung der Dentinhaftung im Mittelpunkt, so gilt heute vorrangig das Interesse der Vereinfachung der Anwendung, der Herabsetzung der Techniksensitivität und der Verkürzung der Applikationsdauer (Haller und Blunck, 2003). Die verbesserte Haftfestigkeit neuerer Dentinadhäsive beruht auf der mikro-mechanischen Verankerung des Kunststoffes im Dentin durch Ausbildung von Kunststoff-Tags und einer Kunststoff-Dentin-Hybridschicht (Haller, 1994).

Die Bioverträglichkeit der Dentinadhäsive wird unterschiedlich beurteilt. Wegen ihrer Säurewirkung sollten sie eigentlich pulpagefährdend sein, aber dadurch dass sich Demineralisation und anschließende Penetration auf wenige  $\mu\text{m}$  Tiefe beschränken und Ausfällungen von Proteinen oder Ca- und P-Salzen in den angrenzenden Tubuli erfolgen, haben die Dentinadhäsive eine pulpaschützende Funktion. Die kurze Ätzdauer am Dentin ist zu beachten. Den Systemkomponenten der Adhäsivsysteme wird aufgrund von Tests in Zellkulturen ein zytotoxisches Potenzial zugeschrieben (Lutz et al. 1993).

In der vorliegenden In-vitro-Studie sollte mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie und dem Farbstoffpenetrationstest untersucht werden, welchen Einfluss die thermische Wechselwirkung und Kausimulation auf den marginalen Verbund an Schmelz und Dentin für die untersuchten Adhäsive hat. Im Vergleich zu einem klinisch bewährten Etch-and-Rinse-Drei-Schritt-System (Opti Bond FL) wurden ein Etch-and-Rinse-Zwei-Schritt-System (Adper Scotchbond 1XT) und ein Self-Etch-Zwei-Schritt-System (Opti Bond Solo Plus) sowie vier All-in-one-Systeme (Hybrid Bond, Adper Prompt L-Pop, AQ Bond, Merz Testprodukt) untersucht. Es sollten folgende Fragen geklärt werden:

- Kann mit den untersuchten Adhäsivsystemen ein spaltfreier Rand an Schmelz und Dentin erreicht werden?
- Wie verändert sich die Randqualität nach der thermischen und mechanischen Belastung sowohl am Schmelz als auch am Dentin bei verschiedenen Adhäsiven?
- Sind die vereinfachten Systeme in Bezug auf die Randqualität vergleichbar mit den Systemen unter Anwendung der Phosphorsäureätzung oder den Systemen, die aus mehreren Schritten und Komponenten bestehen?

### **3 Material und Methoden**

#### **3.1 Auswahl der Zähne**

Für die Untersuchung wurden 56 extrahierte, humane untere Weisheitszähne ausgewählt. Die Zähne mussten karies- und füllungsfrei sein. Nach der Extraktion wurden die Zähne in 0,1%ige Thymollösung gelagert. Vor der Kavitätenpräparation erfolgte die Reinigung der Zähne. Es wurden mit Scaler und Küretten desmodontale Gewebsreste entfernt und die Zähne mit Polierpaste (fluoridfrei) gereinigt.

#### **3.2 Präparation der Kavität**

In jeden Zahn wurde eine mesial-okklusale Kavität präpariert, deren zervikale Stufe 1,2 mm breit war und 1 mm zervikal unter der Schmelz-Zementgrenze endete. Die okklusale Tiefe, gemessen vom Fundus der Fissur bis zum Kavitätenboden, betrug 2 mm und die bukkolinguale Breite (auf der zervikalen Stufe gemessen) 4 mm. Der Abstand zwischen gedachter approximaler Füllungsoberfläche und okklusal-zentraler Präparationsgrenze betrug 3 mm (Abb.1). Die Präparation der Stufe erfolgte mit birnenförmigen Diamanten (8830 L 314010, Komet). Die approximalen Schmelzränder wurden im Winkel von 45° auf einer Breite von 0,5 mm mit flammenförmigen Diamantfinierern angeschrägt (8868314016, Komet). Die Kavität sah approximal leicht birnenförmig mit deutlich abgerundeten Ecken aus (Abb.1).

Am Schluss erfolgte das Finieren der gesamten Kavität mit Diamanten (rot, Birne lang 010, Komet). Die Tiefe der Kavität (okklusal-zervikal) war variabel und hing von der Höhe der Krone ab. Die gesamte Präparation wurde mit einem rot markierten Winkelstück (40.000 U/min) unter Wasserkühlung durchgeführt. Bis zum Legen der Füllungen wurden die Zähne in Wasser gelagert.



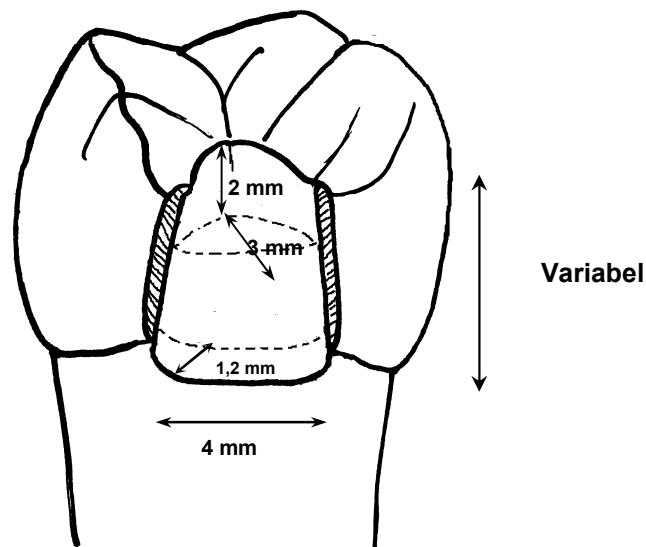


Abb.1: Schematische Darstellung einer Klasse-II-Kavität

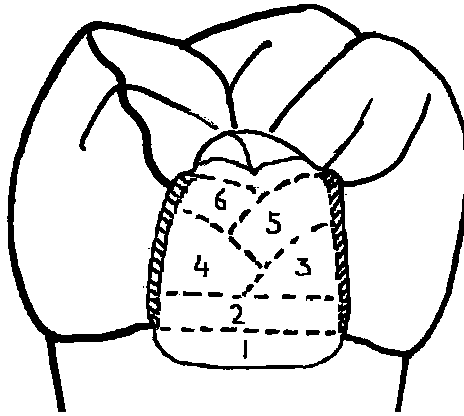
### 3.3 Aufteilung der Zähne auf die Versuchsgruppen

Die Zähne wurden auf sieben Versuchsgruppen zu je acht Zähnen ( $n=8$ ) verteilt. Jeweils acht Kavitäten wurden, entsprechend der Herstellerangaben bzw. dem für jedes Material einzeln festgelegten Protokolls, mit den Haftvermittlern vorbehandelt (Tab.2).

### 3.4 Legen der Füllung

Die Füllung wurde unter Verwendung einer Lupenbrille mit 2,5facher Vergrößerung inkrementweise gelegt (Abb.2). Die maximale Schichtstärke der Kompositinkremente war 1 mm. Als Restaurationsmaterial wurde das Komposit Tex 1 (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, D) verwendet. Auf eine Matrize wurde (da ein freies Modellieren in der Hand, mit geringfügigen Überschüssen für die Ausarbeitung möglich war) verzichtet. Jede Schicht wurde 40 s ausgehärtet. Hierzu wurde die Polymerisationslampe Astralis 7 (Ivoclar Vivadent

GmbH, Ellwangen, Jagst, D) verwendet. Die einzelnen Inkremente wurden wie in Abb.2 geschichtet:



**Abb.2:** Schematische Darstellung der Inkrementtechnik. Die Ziffern 1, 2, 3, 4, 5 und 6 geben die Reihenfolge der Schichtung an.

Nach der Fertigstellung der Restaurationen wurden die Zähne 24 h bei Zimmertemperatur in destilliertem Wasser gelagert.

### 3.5 Ausarbeitung der Füllung

Am nächsten Tag wurden die Füllungen mit einem rot markierten Winkelstück ausgearbeitet:

- okklusal mit Finierdiamanten (8863 314 012, Komet) und Gummipolierern (9608204030, Komet)
- approximal mit flexiblen Polierscheiben (Sof-Lex Pop-on; 3M, Borken, D) in abnehmenden Korngrößen: rosa, orange, dunkel gelb, hell gelb.

Die Qualität der Ausarbeitung wurde unter dem Auflichtmikroskop bei 8-12,5 facher Vergrößerung überprüft.

Tab.2: Anwendung der Adhäsive in den Versuchsgruppen 1-7

Das Adhäsiv	Bestandteile	Gebrauchsanweisung
<b>Gruppe A</b> <b>Testprodukt Merz</b> Ätz Prime Bond Testprodukt	Auf Phosphorsäureesterbasis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Der Flasche einen Tropfen Ätz-Prime Bond Testprodukt entnehmen</li> <li>2. Microbrush eintauchen, einmal um die Achse drehen</li> <li>3. Mit dem Microbrush auf der feuchten Kavitätenoberfläche 30s lang verreiben <i>Achtung! Die Oberfläche muss vor Nässe glänzen</i></li> <li>4. 10s mit Luft durch sanftes Blasen Adhäsiv über die Gesamfläche verteilen</li> <li>5. 15s Aushärtung mittels der Polymerisationslampe</li> </ol>
<b>Gruppe B</b> <b>AQ – Bond (Morita),</b> „One-Bottle“ Präparat	Auf 4-META Basis	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Die Flüssigkeit in die Schale geben</li> <li>2. Den AQ Schwamm in die Vertiefung eintauchen, 2s durchrühren.</li> <li>3. Während 20s 2-3 Schichten auf der Kavitätenoberfläche auftragen</li> <li>4. 5s leicht verblasen</li> <li>5. 10s lichthärten</li> </ol>
<b>Gruppe C</b> <b>Adper Prompt L-Pop (3M Espe),</b> selbststützendes Adhäsiv im L-Pop Blister für die Einmalanwendung	<u>Rote Kammer:</u> Methacrylierte Phosphate, Bis-GMA, Initiatoren, Stabilisatoren <u>Gelbe Kammer:</u> Wasser, HEMA, Polyalkensäure, Stabilisatoren	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Prompt-Blister aktivieren (unteres Volumen in mittleres drücken), dann beides in oberes Microbrush drehen</li> <li>2. Adhäsiv 15s auf die Kavitätenwände applizieren, einmassieren</li> <li>3. Mit Luftstrom zu dünnem Film verblasen</li> <li>4. Zweite Schicht auftragen, ohne Einmassieren wieder zu dünnem Film verblasen</li> <li>5. 10s lichthärten</li> </ol>
<b>Gruppe D</b> <b>Opti Bond FL (Kerr),</b> 2 Flaschen System	<u>Ätzel:</u> 37 % Phosphorsäure <u>Primer:</u> 30% HEMA, 10% GPDM, 15% PAMA, 1% KC, 22% Ethanol, 22% Wasser <u>Adhäsiv:</u> 25,7% Bis-GMA, 19,2% HEMA, 6,5% GDMA, 42,2% Ba-Al-Boro-Silikatglas, 2,6 Silikatglas,	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ätzel zuerst auf Schmelz applizieren, 15s warten, dann aufs Dentin 15s</li> <li>2. 30s mit Wasser absprühen. Der Schmelz muss opak, Dentin feucht sein</li> <li>3. Aus dem Schälchen mit dem</li> </ol>

	1,9% Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> , 0,3% KC	Microbrush Primer entnehmen, 15s damit das Dentin einmassieren, kann über Schmelz laufen. Vorsichtig wegpusten 4. Adhäsiv gleichmäßig verteilen, wegpusten 5. 30s lichthärten
<b>Gruppe E</b> <b>Hybrid Bond(Morita)</b> lichthärtendes, selbstätzendes, selbstprimendes Ein-Flaschen Adhäsiv System	1. Basisflüssigkeit 2. Bürstchen 3. Kunststoffdispenser auf 4-META Basis	1. Hybrid Bond in die Mischmulde dispensieren. Hybrid Bond Brush enthält Polymerisationsinitiator 2. Hybrid Bond Brush in die Lösung tauchen, kurz durchrühren und 1 Mal auftragen (20s) 3. 5-10s mit sanftem Luftstrom verblasen 4. 10s polymerisieren.
<b>Gruppe F</b> <b>Adper Scotchbond 1XT (3 M Espe)</b> Total Ätz-Verfahren	<u>Ätzel:</u> 37 % Phosphorsäure <u>Primer, Adhäsiv:</u> BisGMA, HEMA, DMA, Ethanol, Wasser, Foto initiatorsystem, ein funktionales Methacrylat-Copolymer aus Polyacrylsäuren und Polyalkensäuren	1. Ätzel applizieren: zuerst auf Schmelz, dann aufs Dentin(10s) 2. 30s absprühen mit Wasser. Die Kavität bleibt sehr feucht, aber ohne Wasserfilm 3. Das Adhäsiv ins Schälchen geben 4. Mit dem Microbrush applizieren im deutlichen Überschuss auf die Kavitätenwände, dabei erreicht man 2-3 Schichten 5. Unter sanftem Luftstrom das Lösungsmittel verdunsten lassen 6. 10s lichtpolymerisieren
<b>Gruppe G</b> <b>Opti Bond Solo Plus (3 M Espe),</b> selbstätzendes Adhäsiv	<u>Selbstätzender Primer(Goldene Flasche):</u> Ethanol, Wasser, Alkyl-Di-Methacrylat Harze, Aktivatoren, Stabilisatoren <u>Adhäsiv (schwarze Flasche):</u> Bis-GMA, HEMA, GPDM, Ethanol, KC, anorganische Füllstoffe	1. Ein Tropfen aus der Gold Flasche entnehmen, mit dem Microbrush 30s in die Kavität massieren, wirken lassen, mit Luft pusten 2. Bonding in die Kavität (schwarze Flasche) 3. 20s lichthärten

\*HEMA: 2-Hydroxyethylmethacrylat, Bis-GMA: Bisphenol-A-Glycidyl-Methacrylat, GPDM: Glycerolphosphatdimethacrylat, PAMA: Phtalsäure-monomethacrylat, KC: Kampherchinon, GDMA: Glyceroldimethacrylat, DMA: Dimethacrylat, 4- META: 4-Methacryloxyethyltrimellitanhydrid

### **3.6 Abformungen der Restaurationsränder**

Zur Herstellung der für die rasterelektronenmikroskopische Auswertung benötigten Replika-Modelle wurden die approximalen Flächen der Füllungen anschließend abgeformt.

Aus dem knetbaren Silikon President putty (Coltene Whaledent AG, Altstätten, Schweiz) wurde ein etwa 10 cm langer und 2 cm breiter Träger für die Abformung der Restaurationsränder hergestellt. Die Abformung der Restaurationsränder erfolgte mit dem dünnfließenden Silikon President light body (Coltene Whaledent AG, Altstätten, Schweiz) nach Legen der Füllung und anschließender 24-stündiger Wasserlagerung. Das Material wurde vorsichtig mit sanftem Luftstrom über die Approximalfläche der Kavitätenränder verblasen und dann komplett mit Abdruckmaterial umspritzt (Abformung I).

### **3.7 Thermischer und mechanischer Belastungstest**

Alle Proben wurden nach der Abformung I einer thermischen Wechselbelastung (Thermocycling; 5 Grad/55 Grad Celsius) über 2500 Zyklen unterzogen. Die Minimal- und Maximaltemperatur wurde jeweils für 70 s gehalten. Danach erfolgte die Abformung II mit dem additionsvernetzenden Silikon President light body. Die Zähne wurden anschließend einer mechanischen Druckbelastung (Kausimulation) unterzogen. Diese erfolgte über 200.000 Zyklen im Kausimulator mit einer Kraft von 70 N. Als Antagonisten dienten menschliche Prämolaren, deren Höcker die Restaurationen zentrisch belasteten. Nach gründlicher Reinigung im Ultraschallbad Bandelin "Sonorex" wurden die Zähne mit Wasser abgespült, getrocknet und erneut mit President light body abgeformt (Abformung III).

#### Herstellen der Replikas

Alle mit President light body hergestellten Abformungen I, II, III wurden mit Stycast (1266 T-E-Klebertechnik, Hannover, D) ausgegossen. Die Replikas wurden zur rasterelektronenmikroskopischen Analyse mit Leitsilber (Leit-C

nach Göcke, Neubauer Chemikalien, 48031 Münster) auf Probenteller aufgebracht und mit Gold besputtert.

### **Rasterelektronenmikroskopische Analyse des Füllungsrandes**

Mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskopes wurde die Randdichtigkeit zwischen:

- 1) Schmelz und Komposit
- 2) Dentin und Komposit
  - I nach dem Legen der Füllung
  - II nach Thermocycling
  - III nach der Kausimulation

unter 400facher Vergrößerung untersucht. Die Randqualität wurde in Schritten von 100 µm nach folgenden Kriterien bewertet: „Perfekter Rand“ (ein kontinuierlicher Übergang zwischen der Restauration und Zahnhartsubstanz), „Unregelmäßiger Rand“ (kein kontinuierlicher Übergang zwischen der Restauration und Zahnhartsubstanz, wenn Aufwölbungen und Ungleichmäßigkeiten ohne Randspalt im Randbereich festzustellen waren), „Haarriss“ (ein Spalt kleiner als 2 µm, der nur bei 800 facher und größerer Vergrößerung festzustellen war), „Randspalt“ (ein Spalt größer als 2 µm). Errechnet wurden für jeden Versuchszahn die prozentualen Anteile der einzelnen Kriterien bezogen auf die Gesamtrandlänge im Dentin bzw. im Schmelz.

### **3.8 Farbstoffpenetrationstest**

Im Anschluss an die In-vitro-Kausimulation wurde an allen Testzähnen ein Farbstoffpenetrationstest durchgeführt. Die nicht verschlossenen Foramina apicalia wurden mit Komposit abgedichtet und der gesamte Zahn außer der Füllung mit Nagellack versiegelt. Die Zähne wurden für 24 h bei Zimmertemperatur in 0,5%iger Methylenblau-Lösung gelagert. Nach gründlicher Spülung unter fließendem Wasser wurde jeder Zahn mittels eines Sagittalschnittes durch die Mitte der approximalen Füllung in zwei Hälften geteilt. Die Schnitte wurden poliert und jede Hälfte mit Hilfe einer Digitalkamera (Nikon D 100) mit

Makroobjektiv (AF Mikro-Nikkor 105 mm 1:2,80) fotografiert und anschließend hinsichtlich der Farbstoffpenetration beurteilt.

### Gradeinteilung zur Beurteilung der Farbstoffpenetration:

Grad 0 = farbdichter Verbund

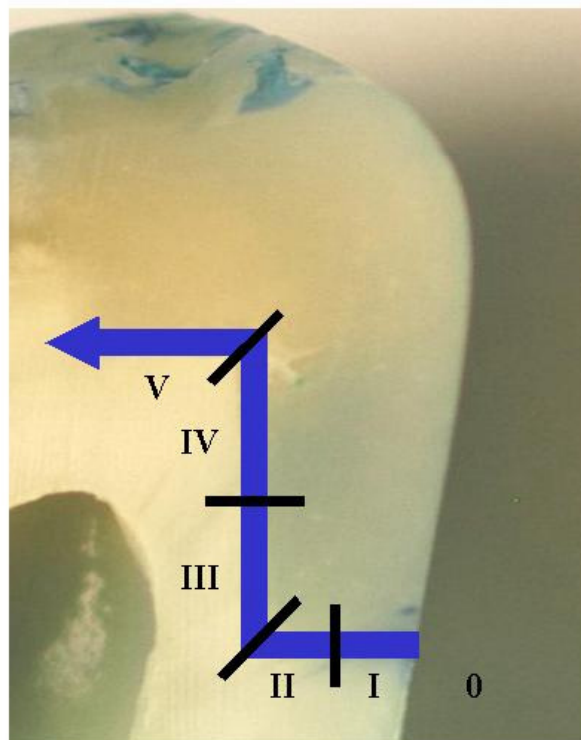
Grad 1 = Penetration von Farbstoff bis maximal  $\frac{1}{2}$  der zerviko-approximalen Stufe

Grad 2 = Penetration von Farbstoff bis maximal  $\frac{1}{1}$  der zerviko-approximalen Stufe

Grad 3 = Penetration von Farbstoff bis maximal  $\frac{1}{2}$  der axialen Kavitätenwand

Grad 4 = Penetration von Farbstoff bis maximal  $\frac{1}{1}$  der axialen Kavitätenwand

Grad 5 = Penetration von Farbstoff in den Bereich des okklusalen Kavitätenbodens



**Abb.3.:** Auflichtmikroskopische Aufnahme eines Füllungsquerschnittes. Schematische Darstellung der Farbstoffpenetrationsgrade

### 3.9 Statistische Auswertungen

#### Verwendete Statistik- und Grafik-Programme

Sämtliche Berechnungen und statistischen Analysen erfolgten mit Microsoft Excel2003 im Betriebssystem WindowsXP und dem Zusatzpaket XLStat (Fahmy 2008), Version 2008.

Grafiken wurden mit Microsoft Excel2003 im Betriebssystem WindowsXP erstellt.

#### Statistische Analysen

Die statistischen Analysen richteten sich nach Sachs (2004), gelegentlich ergänzt durch Hinweise von Schumacher und Schulgen (2007).

Die Ergebnisse der Signifikanztests wurden in tabellarischer Form dargestellt, wobei zunächst die in der Rangvarianzanalyse berechneten Prüfgrößen, die kritischen Werte, mit denen sie verglichen wurden, und zuletzt die daraus ermittelten p-Werte dargestellt wurden. In einer abschließenden Zeile wurde zur Erleichterung der Interpretation die Bedeutung des p-Wertes verbal dargestellt (mit: „signifikant“ ( $p \leq 0,05$ ) oder „n.s.“ = nicht signifikant ( $p > 0,10$ )).

Zur Ermittlung von Unterschieden zwischen Teilgruppen wurde die Rangvarianzanalyse nach Kruskal und Wallis eingesetzt. Bei der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse gibt es nur einen gebräuchlichen Post-hoc-Test, den Dunn-Test. Dieser ist jedoch nicht in SPSS implementiert. Daher wurde die Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse einschließlich Dunn-Test in XLStat2008, einem Statistik-Zusatzpaket für Excel, gerechnet, um paarweise voneinander unterscheidbare Gruppen zu ermitteln.

Bei den Rangvarianzanalysen und ihren – im Falle eines signifikanten Ergebnisses – anschließenden Post-hoc-Tests spielte das Problem des Mehrfach-Tests eine Rolle. Die mehrfache Anwendung eines statistischen Tests auf denselben Datenkörper, z. B. zur Prüfung auf Unterschieden zwischen den Gruppen A bis G, machte es erforderlich, die übliche Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0,05$  anzupassen (Sachs 2004). Angewendet wurde die simultane Bonferroni-Korrektur, da sie im Statistikprogramm XLStat2008



---

standardmäßig implementiert und das gebräuchlichste Verfahren ist (Schumacher und Schulgen 2007).

Zur Prüfung von signifikanten Unterschieden bei den Proben in Abhängigkeit von der thermischen und mechanischen Belastung wurde die Friedman-Rangvarianzanalyse eingesetzt. Bei der Friedman-Rangvarianzanalyse wurde der Nemenyi-Post-hoc-Test mit Bonferroni Korrektur verwendet (ebenfalls implementiert im Statistik-Programm XLStat2008, vgl. auch Sachs 2004).

Die statistische Auswertung des Farbstoffpenetrationstests erfolgte mit dem Chi-Quadrat-Test auf Unterschiede der Häufigkeitsverteilung gegenüber einer Zufallsverteilung.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Rasterelektronenmikroskopische Füllungsrandanalyse

#### 4.1.1 Gruppe A: Merz Testprodukt

##### 4.1.1.1 Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder

In Abbildung 4 ist die Füllungsrandqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den schmelzbegrenzten Anteilen der Klasse-II-Kavitäten graphisch dargestellt.

Die Abbildung 5 zeigt ein repräsentatives Bild des Füllungsrandes in 400facher Vergrößerung. Der Anteil der perfekten Ränder lag nach dem Legen der Füllung bei 9,2%. Der prozentuale Anteil der perfekten Füllungsrande nahm bereits nach thermischer Wechselbelastung von 9,2% auf 4,0% ab. Infolge der mechanischen Belastung blieb kein perfekter Rand mehr erhalten. Die Füllung der Probe 1 war nach der In-vitro-Kausimulation sogar ganz herausgefallen. Der perfekte Rand dieser Probe wurde mit 0% und der Randspalt mit 100% bewertet. Dadurch kam es nach der mechanischen Druckbelastung zu einem schlechteren Durchschnitt der Werte. Der prozentuale Anteil des Kriteriums „Randspalt“ lag nach dem Legen der Füllung schon bei 57,2%. Nach der thermischen Belastung nahm der Randspalt von 57,2% auf 77,0% zu. Die okklusale Druckbelastung bewirkte die Zunahme des Prozentanteils des Randspaltes auf 83,6%.

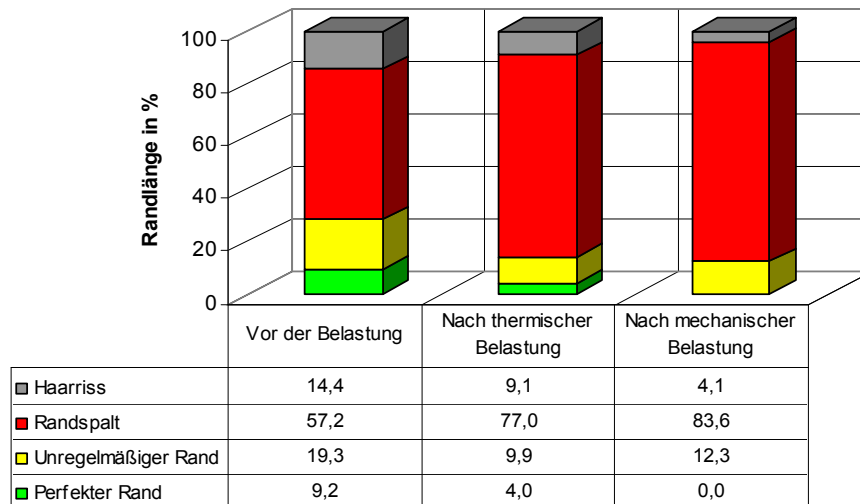
Das Kriterium „Haarriss“ wurde separat bewertet. Infolge der thermischen und anschließend mechanischen Belastung nahm die Häufigkeit des Haarrisses zugunsten des Kriteriums „Randspalt“ ab. Der unregelmäßige Rand fiel nach der thermischen Belastung von 19,3% auf 9,9% ab. Nach der okklusalen Belastung stieg er jedoch wieder auf 12,3%.

Die folgende Übersicht zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse (Friedmann-Rangvarianzanalyse). Es ließen sich keine statistisch signifikanten Unterschiede für die prozentuale Häufigkeit der vier untersuchten Randqualitäten in Abhängigkeit von der In-vitro-Belastung feststellen (Tab.3).

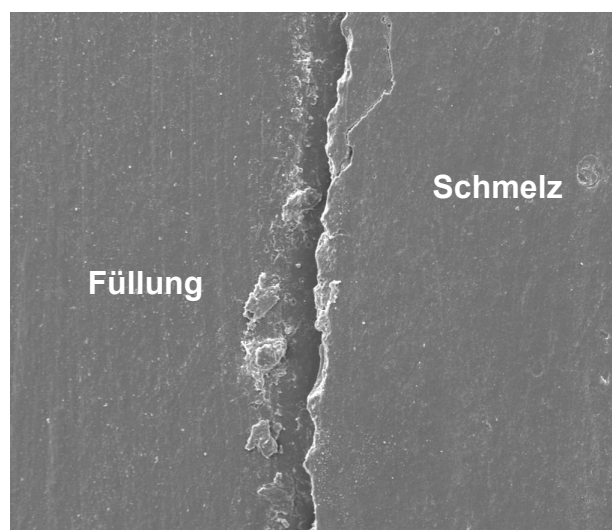
**Tab.3:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Füllungsrandern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe A

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	5,059	0,857	4,571	2,583
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,080	0,651	0,102	0,275
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

### Testprodukt 1 Merz A



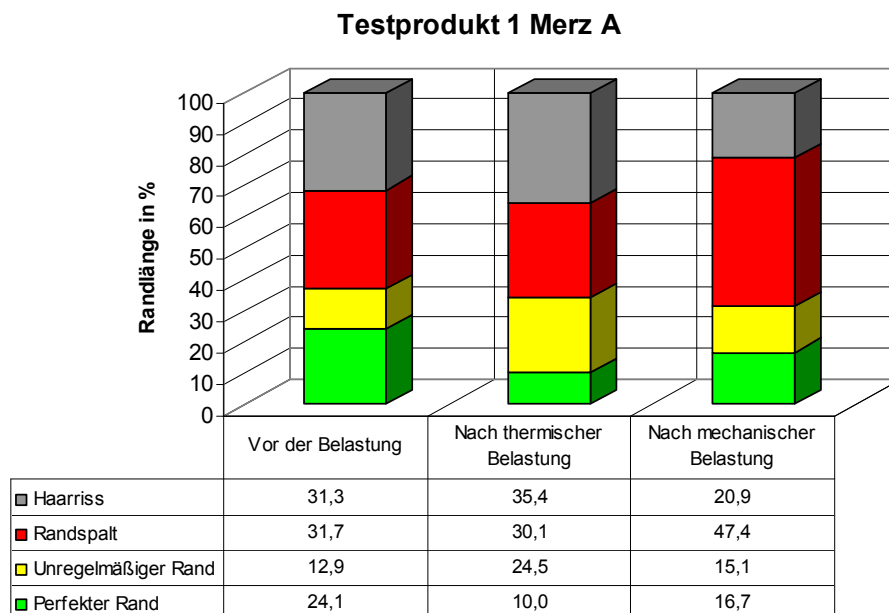
**Abb.4:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandqualitäten bezogen auf die schmelzbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchgruppe A (Merz Testprodukt): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung



**Abb.5** REM-Aufnahme eines schmelzbegrenzten Füllungsrandes in der Versuchsgruppe A nach der thermischen Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Randspalt“

#### 4.1.1.2 Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder

Die Abbildung 6 zeigt die prozentuale Häufigkeit der Kriterien „Perfekter Rand“, „Unregelmäßiger Rand“, „Randspalt“ und „Haarriss“ an den dentinbegrenzten Füllungsrandern. Der prozentuale Anteil perfekter Füllungsrandern im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder nahm bereits nach thermischer Wechselbelastung von 24,1% auf 10,0% ab. Nach der mechanischen Belastung hat sich der „Perfekte Rand“ im Dentin auf 16,7% verbessert, ist aber immer noch schlechter als nach dem Legen der Füllungen, während der „Unregelmäßige Rand“ nach der thermischen Belastung von 12,9% auf 24,5% zunahm. Der Anteil des „Randspaltes“ lag nach dem Legen der Füllung bei 31,7%, der „Haarriss“ bei 31,3%. Nach der thermischen Belastung sank der „Randspalt“ auf 30,1%, während der „Haarriss“ auf 35,4% zunahm. Nach der okklusalen Druckbelastung folgte eine Zunahme des Randspaltes auf 47,4% und eine Abnahme des Haarrisses auf 20,9%. Die marginalen Unregelmäßigkeiten traten mit einem Ausgangswert von 12,9% auf. Der Endwert nach der mechanischen Belastung hat sich kaum verändert. Er lag bei 15,1%.



**Abb.6:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandqualitäten bezogen auf die dentinbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchgruppe A: vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung

Die folgende Übersicht zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse (Rangvarianzanalyse). Die oben beschriebenen Veränderungen in den Anteilen der einzelnen Kriterien wiesen damit bei der statistischen Überprüfung keine statistisch signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der In-vitro-Belastung der Füllungen auf (Tab.4).

**Tab.4:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Füllungsändern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe A

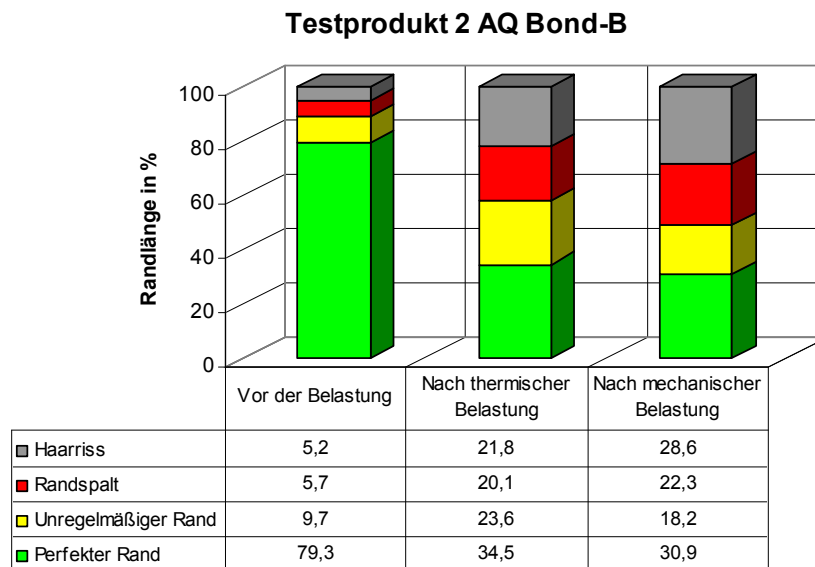
Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	4,333	4,571	0,857	1,556
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,115	0,102	0,651	0,459
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

#### 4.1.2 Gruppe B: AQ-Bond

##### 4.1.2.1 Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder

In Abbildung 7 ist die quantitative Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den schmelzbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt.

Der Anteil der perfekten Ränder lag nach dem Legen der Füllung bei 79,3%. Der prozentuale Anteil perfekter Ränder nahm bereits nach der thermischen Wechselbelastung deutlich von 79,3% auf 34,5% ab. Nach der mechanischen Belastung kam es zur Verschlechterung bis 30,9%. Die Abnahme dieses Prozentanteils war auf das Auftreten marginaler Unregelmäßigkeiten (23,6%) und des Randspaltes (20,1%) nach der thermischen Belastung zurückzuführen. Nach der mechanischen Belastung stieg der Anteil des Kriteriums „der Randspalt“ weiter bis 22,3% an. Der Anteil des Kriteriums „Haarriss“ stieg kontinuierlich nach jeder Belastung an. Dieser trat mit einem Anfangswert von 5,2% und einem Endwert von 28,6% auf.



**Abb.7:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandqualitäten bezogen auf die schmelzbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchgruppe B (AQ-Bond): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung

Die folgende Übersicht zeigt die Ergebnisse der statistischen Analyse (Rangvarianzanalyse). In Folge der thermischen und mechanischen Belastung veränderte sich die prozentuale Häufigkeit der vier Füllungsrandqualitäten signifikant (Tab.5).

**Tab.5:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Füllungsrandern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe B

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	12,968	7,630	6,750	10,286
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,002	0,022	0,034	0,006
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>

Nachfolgend wurde der Einfluß der thermischen Wechselbelastung und der mechanischen Belastung auf das Randschlußverhalten der Füllungen durch paarweise Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Randqualitäten statistisch analysiert, wobei ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von 0,0167 ( $=0,05/3$ ) angewendet wurde.

Paarweise Vergleiche für Gruppe B: Perfekter Rand , Schmelz

Die signifikante und damit wesentliche Veränderung fand bereits bei der thermischen Belastung statt, die mechanische Belastung veränderte die Randqualität nicht signifikant (Tab.6).

**Tab.6:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ an den schmelzbegrenzten Füllungsrandern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	<b>signifikant</b>	

Paarweise Vergleiche für Gruppe B: Unregelmäßiger Rand, Schmelz

Die thermische Wechselbelastung veränderte das Kriterium „Unregelmäßiger Rand“ im Schmelz signifikant. Weitere paarweise Vergleiche erbrachten keine signifikanten Unterschiede (Tab.7).

**Tab.7:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Unregelmäßiger Rand“ an den schmelzbegrenzten Füllungsrandern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	n.s.	n.s.
nach thermischer Belastung	<b>signifikant</b>	

Paarweise Vergleiche für Gruppe B: Randspalt, Schmelz

Zwar ergab die Rangvarianzanalyse einen p-Wert von 0,034 und damit einen signifikanten Unterschied, bei Anwendung der Bonferroni-Korrektur auf die paarweisen Vergleiche wurden jedoch keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Belastungen festgestellt.

Paarweise Vergleiche für Gruppe B: Haarriss, Schmelz

Die mechanische Belastung veränderte die Randqualität des Kriteriums „Haarriss“ signifikant. Weitere paarweise Vergleiche zeigten jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tab.8).

**Tab.8:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Haarriss“ an den schmelzbegrenzten Füllungsändern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	

#### 4.1.2.2 Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder

In Abbildung 8 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Die Abbildung 9 zeigt ein repräsentatives Photo des Füllungsrandes nach der thermischen Belastung in 800facher Vergrößerung.

Der prozentuale Anteil perfekter Ränder lag nach Applikation der Füllung bei 38,8%. Sowohl nach thermischer als auch nach mechanischer Belastung war eine kontinuierliche Verschlechterung des Randschlussverhaltens festzustellen. Der Anteil perfekter Ränder sank auf 22,8% nach thermischer Belastung und weiter auf 19,9% nach mechanischer Belastung. Der Randspalt trat schon vor der Belastung mit 25,5% auf, sowohl die thermische als auch mechanische Belastung führten zur keiner signifikanten Zunahme des Kriteriums „Randspalt“. Nach thermischer Belastung stieg der Randspalt auf 29,2%, nach der In-vitro-Kausimulation auf 30,7% an. Der Haarriss lag vor der Belastung bei 19,4%. Nach thermischer Belastung reduzierte sich das Kriterium „Haarriss“ auf 12,8%, während die marginalen Unregelmäßigkeiten von 16,3% auf 35,2% zunahmen. Nach der okklusalen Belastung stieg der Haarriss bis 26,9%, die marginalen Unregelmäßigkeiten sanken auf 22,5%.

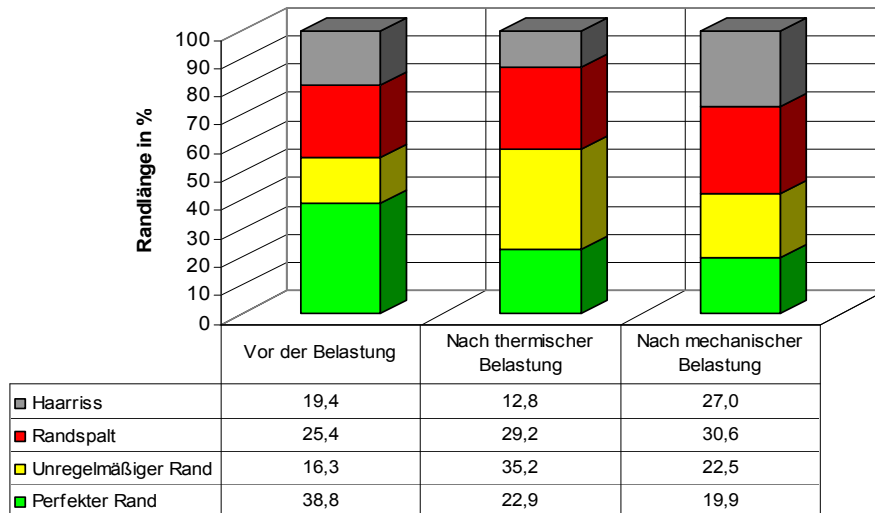
Im Gegensatz zu der Rangvarianzanalyse der Randqualität an den schmelzbegrenzten Rändern wiesen die vier Kriterien an den dentinbegrenzten Rändern keine signifikanten Unterschiede auf, wie die folgende Zusammenstellung zeigt (Tab.9). Entsprechend erübrigten sich auch paarweise Vergleiche (Post-hoc-Test).



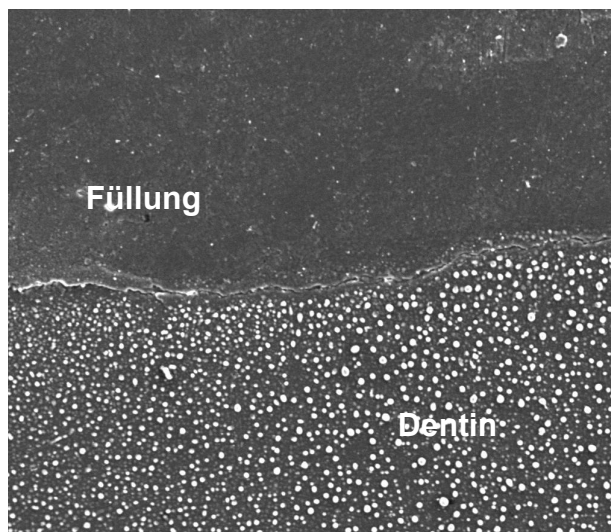
**Tab.9:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Füllungsrandern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe B

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	2,348	0,867	2,455	0,286
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,309	0,648	0,293	0,867
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

**Testprodukt 2 AQ Bond-B**



**Abb.8:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchgruppe B (AQ-Bond): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung



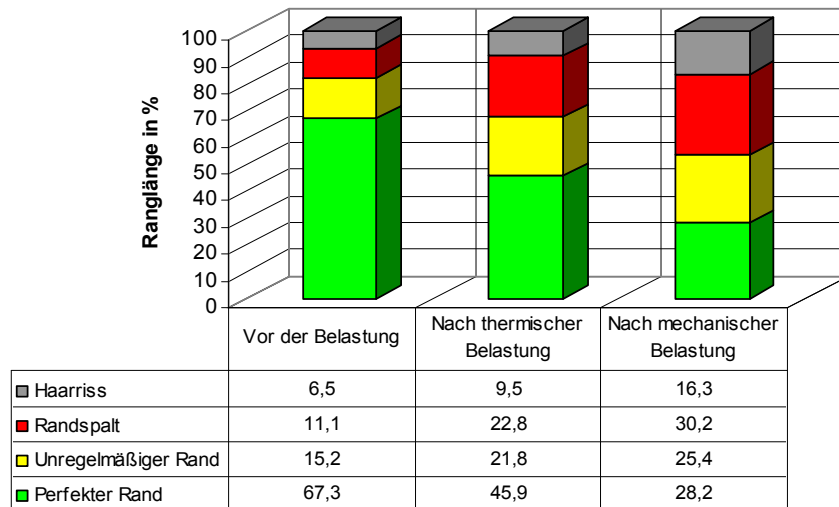
**Abb.9:** REM-Aufnahme eines dentinbegrenzten Füllungsrandes der Versuchgruppe B (AQ-Bond) vor Belastung bei 800facher Vergrößerung: „Haarriss“

#### 4.1.3 Gruppe C: Adper Prompt L-Pop

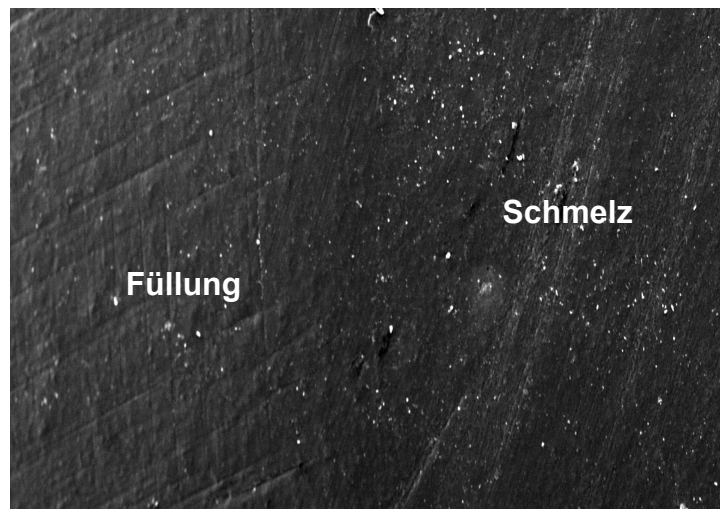
##### **4.1.3.1 Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder**

In Abbildung 10 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den schmelzbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Die Abbildung 11 zeigt ein repräsentatives Photo des Füllungsrandes nach der thermischen Belastung in 400facher Vergrößerung. Der prozentuale Anteil der perfekten Ränder lag nach dem Legen der Füllung bei 67,3%. Die sich anschließende thermische und mechanische Belastung führte zu einer signifikanten ( $p$ -Wert = 0,0004, Tab.10) Verschlechterung der perfekten Ränder. Der perfekte Rand sank auf 45,9% nach thermischer Belastung und weiter auf 28,2% nach mechanischer Belastung. Der unregelmäßige Rand trat mit 15,2% vor der Belastung auf. Unter dem Einfluss von thermischer und mechanischer Belastung sank er auf 21,8% und auf 25,4% ab. Der Randspalt wurde mit jeder Belastung größer, was den perfekten Rand nachteilig beeinflusste ( $p$ -Wert = 0,0003, Tab.10). Der Randspalt trat mit einem Anfangswert von 11,1% und einem Endwert von 30,2% auf. Der Wert vom Haarriss stieg kontinuierlich von 6,5% auf 16,3%. Die prozentualen Häufigkeiten der Bewertungskriterien „Haarriss“ und „Unregelmäßiger Rand“ wiesen keine signifikanten Unterschiede von den In-vitro-Belastungen auf, wie die Zusammenstellung der Rangvarianzanalyse zeigt (Tab.10).

### Testprodukt 3 Adper-Prompt L-Pop-C



**Abb.10:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die schmelzbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchsgruppe C (Adper Prompt L-Pop): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung



**Abb.11:** REM-Aufnahme eines schmelzbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe C (Adper L-Pop) vor Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Perfekter Rand“

**Tab.10:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Füllungsändern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe C

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	15,548	2,774	16,000	2,516
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,0004	0,250	0,0003	0,284
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	n.s.	<b>signifikant</b>	n.s.

### Paarweise Vergleiche für Gruppe C: Perfekter Rand, Schmelz

Bei Gruppe C war der perfekte Rand vor der Belastung und nach mechanischer Belastung signifikant unterschiedlich. Weitere paarweise Vergleiche zeigten jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tab.11).

**Tab.11:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ an den schmelzbegrenzten Füllungsändern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	

### Paarweise Vergleiche für Gruppe C: Randspalt (Schmelz)

Auch für das Kriterium „Randspalt“ ergaben sich in der Gruppe C am Schmelz vor der Belastung und nach mechanischer Belastung signifikante Unterschiede. Weitere paarweise Vergleiche zeigten keine signifikanten Differenzen auf (Tab.12).

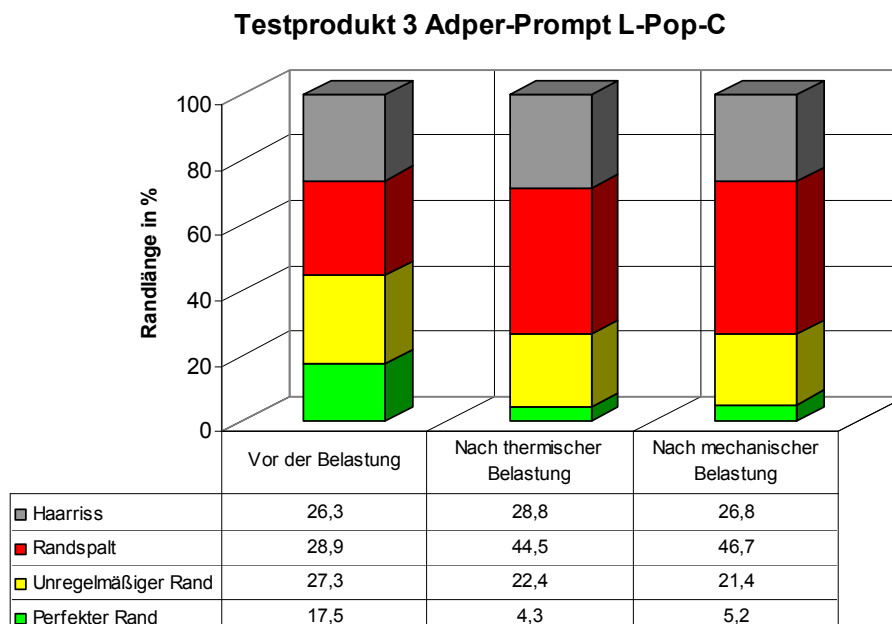
**Tab.12:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Randspalt“ an den schmelzbegrenzten Füllungsändern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	

Bei den Kriterien „Haarriss“ und „Unregelmäßiger Rand“ ergaben sich keine signifikanten Unterschiede in der Rangvarianzanalyse, daher erfolgten keine paarweisen Vergleiche.

#### 4.1.3.2 Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder

In Abbildung 12 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Der Anteil der perfekten Ränder betrug nach Fertigstellung der Restaurationen 17,5%. Die folgende thermische und mechanische Belastung führte zu einer signifikanten Verschlechterung des Randschlussverhaltens ( $p$ -Wert = 0,038). Der Prozentanteil lag bei 4,3% nach der thermischen und 5,2% nach der mechanischen Belastung. Das Kriterium „Randspalt“ stieg von 28,9% auf 44,5% nach der thermischen Belastung. Die marginalen Unregelmäßigkeiten reduzierten sich nach der Belastung von 27,3% auf 21,4%. Der prozentuale Anteil des Kriteriums „Haarriss“ blieb auch nach den Belastungen fast konstant.



**Abb.12:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchgruppe C (Adper Prompt-L-Pop): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung

Lediglich das Kriterium „Perfekter Rand“ wies mit einem p-Wert von 0,038 bei der Rangvarianzanalyse einen signifikanten Unterschied in Abhängigkeit von der In-vitro-Belastung auf. Die nachfolgend durchgeführten paarweisen Vergleiche betreffend die Veränderungen in der Häufigkeit des Kriteriums „Perfekter Rand“ in Abhängigkeit von den verschiedenen Belastungstests ergaben allerdings bei Anwendung der Bonferroni-Korrektur keine signifikanten Unterschiede. Die oben dargestellten Veränderungen in den Anteilen der übrigen Kriterien erwiesen sich bei einer statistischen Überprüfung als nicht statistisch signifikant (Tab.13).

**Tab.13:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Füllungsändern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe C

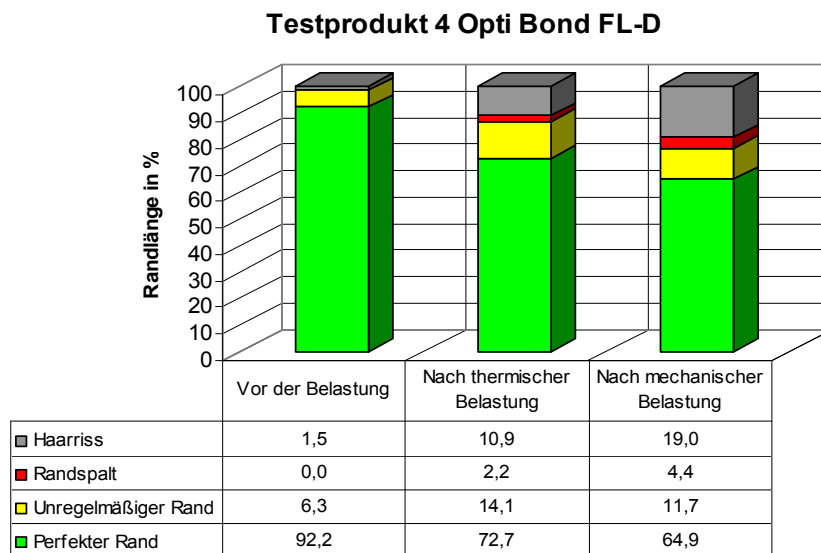
Prüfgrößen der Friedmann-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	6,522	3,000	3,000	0,286
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,038	0,223	0,223	0,867
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	n.s.	n.s.	n.s.

#### 4.1.4 Gruppe D: Opti Bond FL

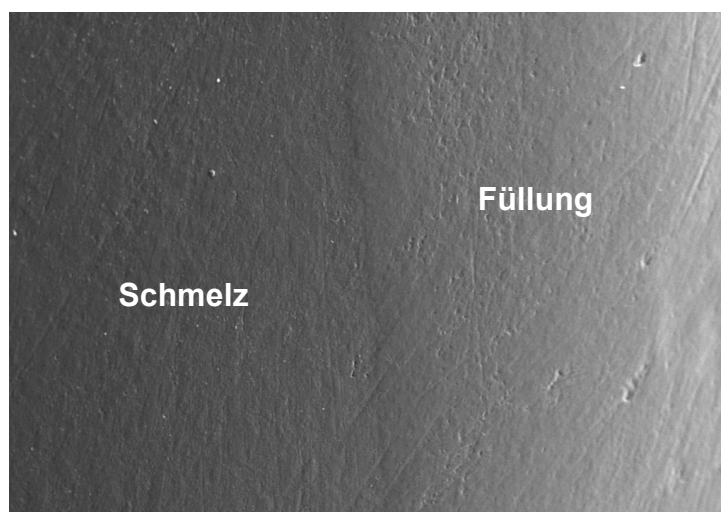
##### 4.1.4.1 Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder

In Abbildung 13 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den schmelzbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Die Abbildung 14 zeigt ein repräsentatives Photo des Füllungsrandes nach der mechanischen Belastung in 400facher Vergrößerung. Im Vergleich zu den anderen untersuchten Gruppen trat die Gruppe D mit dem besten Randschlussverhalten im Schmelzbereich auf. Der Anteil perfekter Ränder im Schmelz lag nach dem Legen der Füllung bei 92,2%. Infolge der thermischen Belastung kam es zu einer Verschlechterung der marginalen Adaptation. Der perfekte Rand betrug 72,7%. Nach der In-vitro-Kausimulation reduzierte sich der Wert nochmals auf 64,9%. Die marginalen Unregelmäßigkeiten stiegen nach thermischer Belastung von 6,3% auf 14,1%. Nach der Fertigstellung der

Restauration konnte man keinen Randspalt beobachten. Auch die folgende thermische Wechselbelastung bewirkte fast keine Verschlechterung. Der Anteil des Randspaltes lag bei 2,2% nach thermischer Belastung und 4,4% nach der mechanischen Belastung. Die prozentuale Häufigkeit des Kriteriums „Haarriss“ nahm kontinuierlich von 1,5% auf 19,0% zu (statistisch signifikant, p-Wert =0,003, Tab.14). Die oben beschriebenen Veränderungen in den Anteilen der Kriterien „Perfekter Rand“, „Randspalt“, und „Haarriss“ erwiesen sich bei der statistischen Überprüfung als statistisch signifikant (Tab.14). Nur der unregelmäßige Rand zeigte keine signifikanten Unterschiede (Tab.14).



**Abb.13:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die schmelzbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchsgruppe D (Opti Bond FL): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung



**Abb.14:** REM-Aufnahme eines schmelzbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe D (Opti Bond FL) nach mechanischer Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Perfekter Rand“

**Tab.14:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Füllungsändern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe D

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	13,613	4,571	8,000	11,806
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,001	0,102	0,018	0,003
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	n.s.	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>

### Paarweise Vergleiche für Gruppe D: Perfekter Rand, Schmelz

Die prozentuale Häufigkeit des Kriteriums „Perfekter Rand“ unterschied sich signifikant nur zwischen dem Wert vor der Belastung und nach mechanischer Belastung. Die anderen paarweisen Vergleiche ergaben keine signifikanten Unterschiede (Tab.15).

**Tab.15:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ an den schmelzbegrenzten Füllungsändern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	

### Paarweise Vergleiche für Gruppe D: Haarriss, Schmelz

Auch die Häufigkeit des Kriteriums „Haarriss“ war bei Gruppe D am Schmelz vor der Belastung und nach mechanischer Belastung signifikant unterschiedlich. Die beiden weiteren paarweisen Vergleiche zeigten keine signifikanten Unterschiede (Tab. 16).

**Tab.16:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Haarriss“ an den schmelzbegrenzten Füllungsändern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	

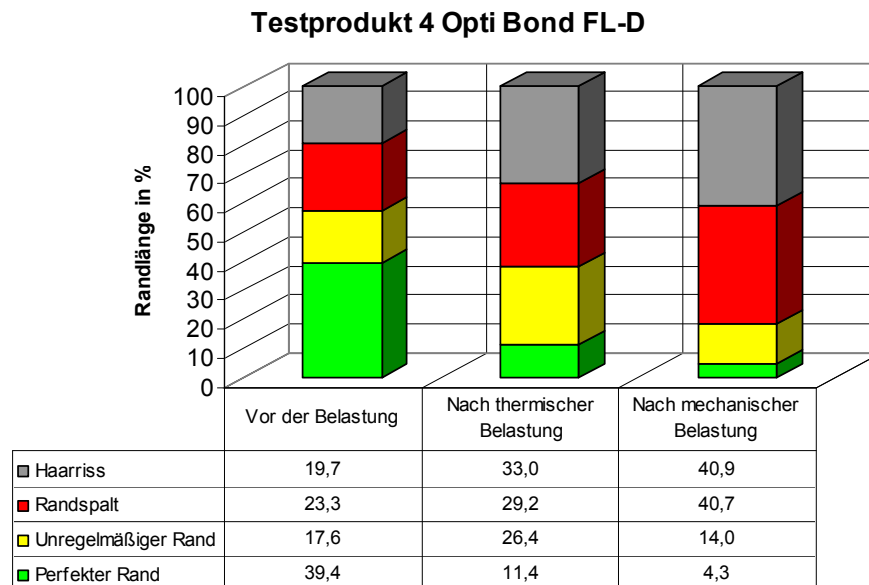


### Paarweise Vergleiche für Gruppe D: Randspalt, Schmelz

Die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Randspalt“ in Abhängigkeit von den Belastungstests erbrachten nach Anwendung der Bonferroni-Korrektur keine statistisch signifikanten Unterschiede.

#### **4.1.4.2 Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder**

In Abbildung 15 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen für die dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Die Abbildungen 16, 17 und 18 zeigen repräsentative Photos der Füllungs­ränder vor und nach thermischer Belastung in 400facher Vergrößerung. Der prozentuale Anteil perfekten Randschlusses im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder nahm bereits nach thermischer Wechselbelastung deutlich von 39,4% auf 11,4% ab. Die okklusale Druckbelastung führte zu einer weiteren Abnahme des Prozentanteils perfekter Ränder auf 4,3%. Diese Reduktion (von 39,4% auf 4,3%) war insgesamt statistisch signifikant (Tab.17). Unregelmäßigkeiten traten entlang der gesamten untersuchten Randlänge mit einer Häufigkeit von 17,6% nach dem Legen der Füllungen auf. Nach thermischer Belastung stieg der Anteil auf 26,4%. Der prozentuale Anteil des Kriteriums „Haarriss“ wuchs mit jeder Belastung kontinuierlich und signifikant von 19,7% auf 40,9% (Tab.17). Randspalten waren bereits nach dem Legen der Füllungen auf 23,3% der untersuchten Randlänge im Dentin festzustellen. Die prozentuale Häufigkeit des Kriteriums „Randspalt“ stieg auf 40,7% nach mechanischer Belastung an.



**Abb.15:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchgruppe D (Opti Bond FL): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung

Die Veränderungen im Anteil des Kriteriums „Unregelmäßiger Rand“ waren gemäß der statistischen Überprüfung nicht signifikant unterschiedlich (Tab.17).

**Tab.17:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Füllungsändern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe D

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	13,613	1,750	5,871	6,250
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,001	0,417	0,053	0,044
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	n.s.	n.s.	<b>signifikant.</b>

#### Paarweise Vergleiche für Gruppe D: Perfekter Rand, Dentin

Die prozentualen Häufigkeiten des perfekten Randes unterschieden sich vor der Belastung und nach mechanischer Belastung signifikant. Die beiden übrigen paarweisen Vergleiche zeigten jedoch keine statistisch signifikanten Unterschiede (Tab.18).

**Tab.18:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ an den dentinbegrenzten Füllungsändern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

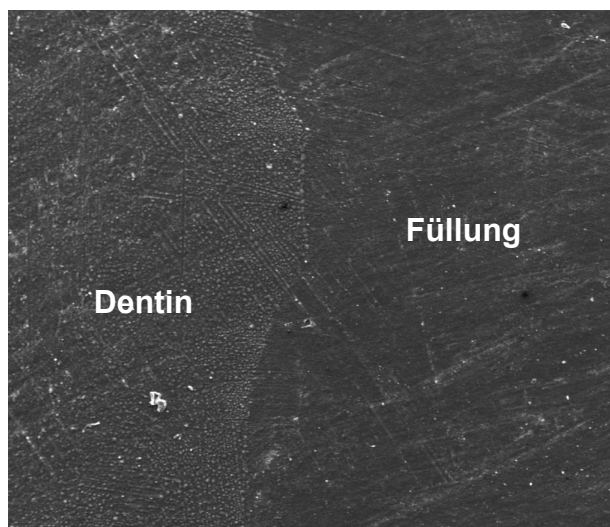
	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	

### Paarweise Vergleiche für Gruppe D: Haarriss, Dentin

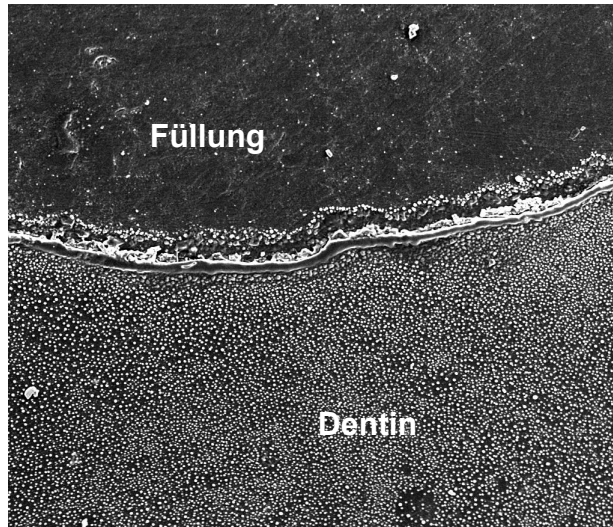
Das Randkriterium „Haarriss“ zeigte nur zwischen dem Wert vor der Belastung und nach mechanischer Belastung signifikante Unterschiede. Die thermische Wechselbelastung veränderte die Randqualität nicht signifikant (Tab.19).

**Tab.19:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Haarriss“ an den dentinbegrenzten Füllungsändern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

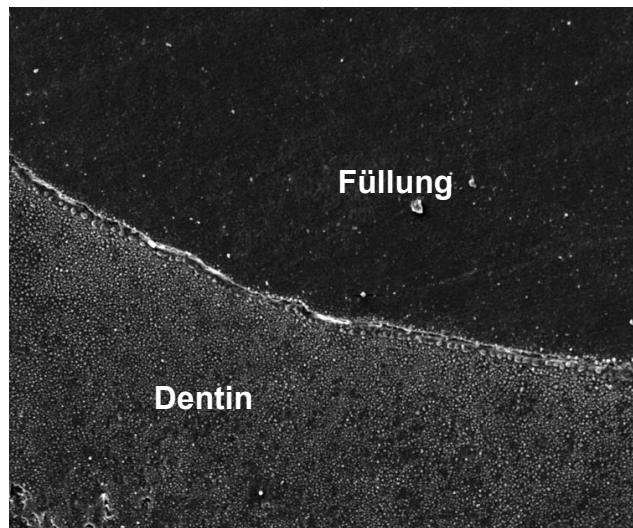
	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	



**Abb.16:** REM-Aufnahme eines dentinbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe D (Opti Bond FL) vor Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Perfekter Rand“



**Abb.17:** REM-Aufnahme eines dentinbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe D (Opti Bond FL) nach thermischer Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Randspalt“



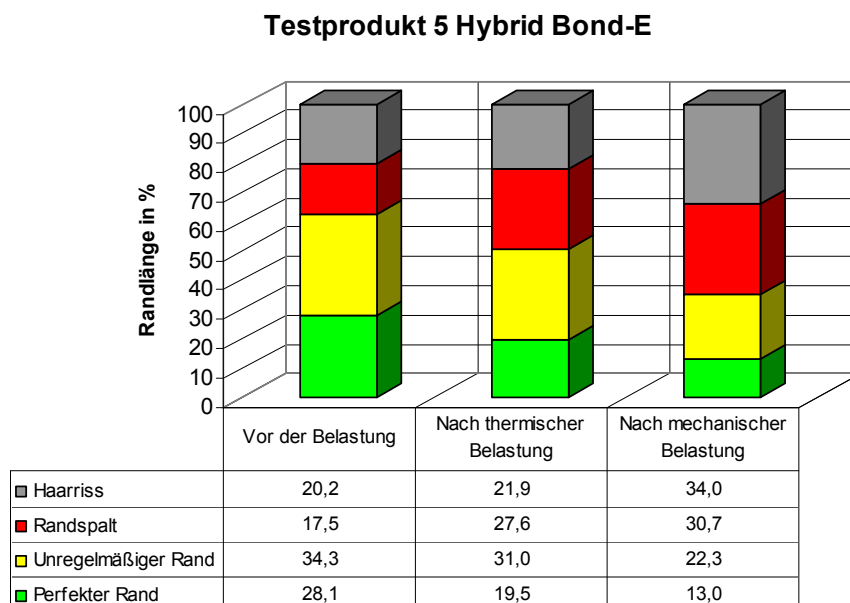
**Abb.18:** REM-Aufnahme eines dentinbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe D (Opti Bond FL) nach thermischer Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Haarriss“

#### 4.1.5 Gruppe E:Hybrid Bond

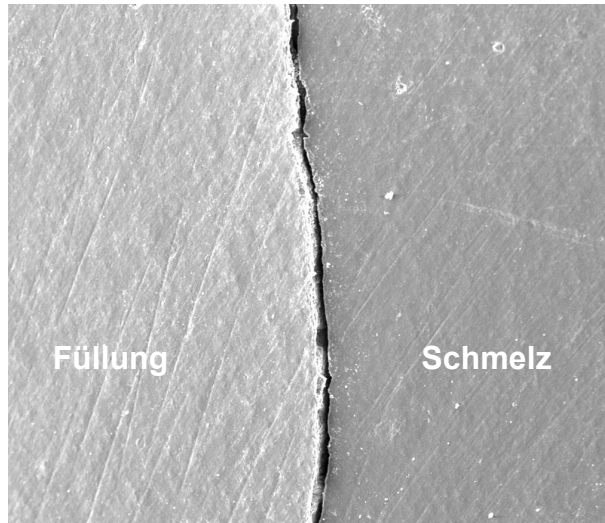
##### 4.1.5.1 Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder

In Abbildung 19 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den schmelzbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Die Abbildung 20 zeigt ein repräsentatives Photo des Füllungsrandes nach der thermischen Belastung in 400facher Vergrößerung. Sowohl nach thermischer

als auch nach okklusaler Druckbelastung kam es zu einer kontinuierlichen Verschlechterung des Randschlussverhaltens. Der Anteil der perfekten Ränder lag nach der Fertigstellung der Restauration bei 28,1%. Nach thermischer Belastung reduzierte sich der Prozentanteil auf 19,5% und nach mechanischer Belastung auf 13,0%. Die marginalen Unregelmäßigkeiten traten mit 34,3% nach dem Legen der Füllungen auf und sanken nach der In-vitro-Kausimulation bis auf 22,3% ab. Der Anteil an Randspalten nahm infolge der thermischen Belastung zunächst deutlich von 17,5% auf 27,6% zu. Die okklusale Belastung beeinflusste das Kriterium „Randspalt“ nicht signifikant und führte zu einem Anstieg auf 30,7%. Die marginalen Unregelmäßigkeiten brachen infolge der anschließenden mechanischen Belastung überwiegend zum Haarriss auf, so dass sich der Anteil des Haarrisses von 20,2% vor der Belastung auf 34,0% nach der Druckbelastung erhöhte.



**Abb.19:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die schmelzbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchgruppe E (Hybrid Bond): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung



**Abb.20:** REM-Aufnahme eines schmelzbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe E (Hybrid Bond) nach thermischer Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Randspalt“

Für die Kriterien „Perfekter Rand“, „Unregelmäßiger Rand“ und „Haarriss“ ergaben sich bei der Rangvarianzanalyse signifikante Unterschiede ( $p < 0,05$ ) in Abhängigkeit von dem In-vitro-Belastungstest (Tab.20). Für das Kriterium „Randspalt“ konnten in Rahmen der Rangvarianzanalyse hingegen keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden (Tab.20).

**Tab.20:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Füllungsrandern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe E

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	8,615	7,032	2,696	6,750
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,013	0,030	0,260	0,034
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>	n.s.	<b>signifikant</b>

#### Paarweise Vergleiche für Gruppe E: Perfekter Rand, Schmelz

Die Anteile perfekten Randes unterschieden sich vor der Belastung und nach mechanischer Belastung signifikant. Die beiden übrigen paarweisen Vergleiche erbrachten keine signifikanten Unterschiede (Tab.21).

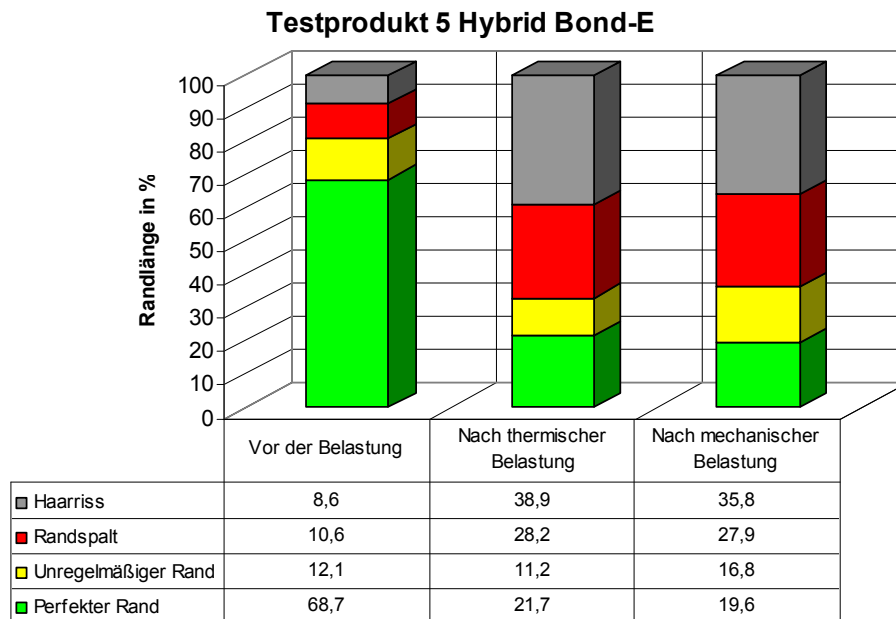
**Tab.21:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ an den schmelzbegrenzten Füllungsändern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	

Weitere paarweise Vergleiche in der Gruppe E betreffend die Randkriterien „Haarriss“ und „Unregelmäßiger Rand“ ergaben keine signifikanten Unterschiede.

#### 4.1.5.2 Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder

In Abbildung 21 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen für die dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Die Abbildungen 22 und 23 zeigen repräsentative Photos der Füllungsänder vor der Belastung und nach thermischer Belastung in 400facher Vergrößerung. In der Gruppe E ließ sich nach Applikation des Füllungsmaterials mit 68,7% der höchste Anteil von perfekten Rändern im Vergleich zu den übrigen sechs Versuchsgruppen feststellen. Nach thermischer Wechselbelastung kam es zu einer statistisch signifikanten Verschlechterung des Randschlussverhaltens ( $p$ -Wert = 0,002), (Tab.24). Der Prozentanteil des perfekten Randes nahm von 68,7% auf 21,7% ab. Infolge der sich anschließenden okklusalen Druckbelastung veränderte sich der Randschluss nicht. Randspalten traten nach dem Legen der Füllungen auf 10,6% der untersuchten Randlänge auf. Nach der In-vitro-Kausimulation stieg der Anteil des Kriteriums „Randspalt“ auf 27,9%. Die marginalen Unregelmäßigkeiten nahmen in Folge der mechanischen Belastung geringfügig zu. Der Anteil des Kriteriums „Haarriss“ stieg nach thermischer Wechselwirkung auf 38,9%. Die sich anschließende okklusale Druckbelastung hatte keinen signifikanten Einfluss auf das Randschlussverhalten (Tab.22).



**Abb.21:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchgruppe E (Hybrid Bond): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung

Nur für das Kriterium „Perfekter Rand“ ließen sich signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von den Belastungstests feststellen. Die prozentualen Häufigkeiten der drei übrigen Kriterien zeigten in Abhängigkeit von der thermischen oder mechanischen Belastung keine signifikanten Unterschiede (Tab.22).

**Tab.22:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Füllungsrandern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe E

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	12,250	1,143	4,333	4,750
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,002	0,565	0,115	0,093
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	n.s.	n.s.	n.s.

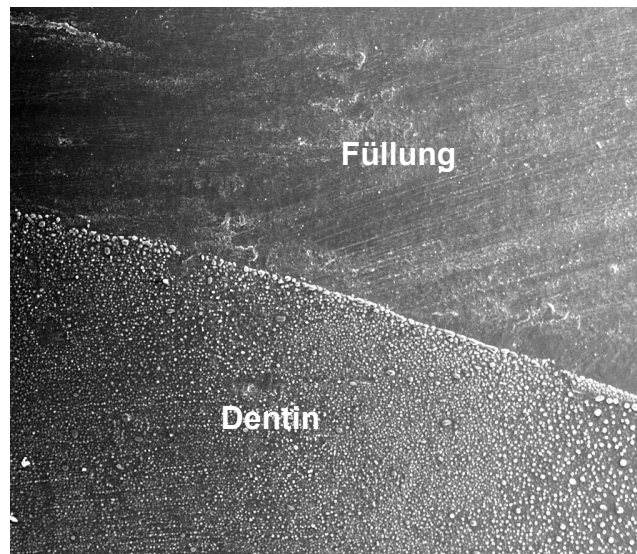
### Paarweise Vergleiche für Gruppe E: Perfekter Rand, Dentin

Die prozentualen Anteile des Kriteriums „Perfekter Rand“ unterschieden sich nach thermischer und mechanischer Belastung signifikant von den Werten nach dem Legen der Füllungen (=vor Belastung), (Tab.23).

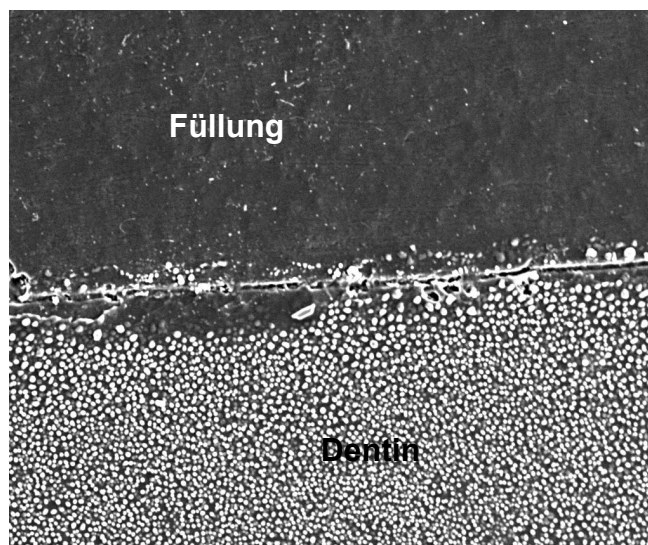


**Tab.23:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ an den dentinbegrenzten Füllungsrandern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	<b>signifikant</b>	



**Abb.22:** REM-Aufnahme eines dentinbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe E (Hybrid Bond) vor Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Perfekter Rand“



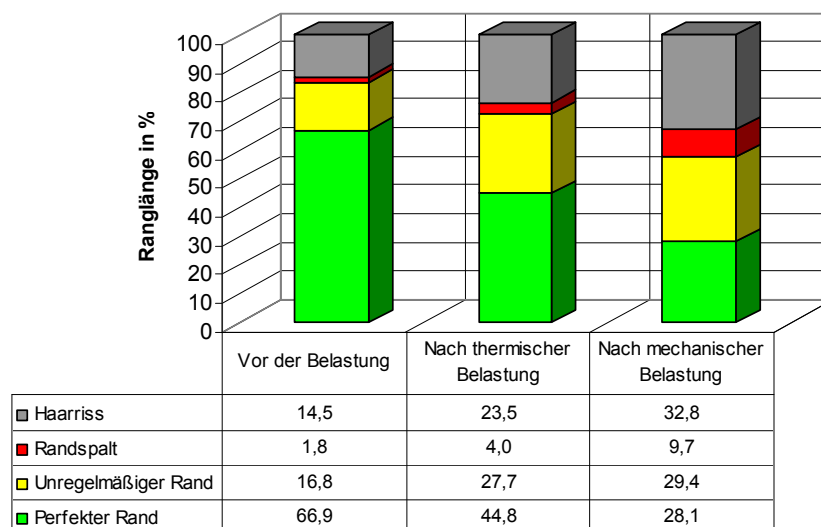
**Abb.23:** REM-Aufnahme eines dentinbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe E (Hybrid Bond) nach thermischer Belastung bei 800facher Vergrößerung: „Haarriss“

#### 4.1.6 Gruppe F: Adper Scotchbond 1 XT

##### 4.1.6.1 Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationenränder

In Abbildung 24 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den schmelzbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Der perfekte Rand trat mit einem Anteil von 66,9% vor der Belastung auf. Sowohl nach thermischer als auch nach mechanischer Belastung kam es zu einer kontinuierlichen, statistisch signifikanten Verschlechterung dieses Wertes (Tab.26). Der perfekte Rand nahm von 66,9% auf 44,8% nach thermischer Wechselbelastung und auf 28,1% nach der In-vitro-Kausimulation zugunsten des Haarrisses ab, dessen Anteil nach thermischer Belastung von 14,5% auf 23,5% zunahm. Entlang der gesamten untersuchten Randlänge traten Randspalten nach dem Legen der Füllungen nur in sehr geringem Umfang (1,8%) auf. Auch die folgende thermische Wechselbelastung bewirkte keine wesentliche Zunahme des Anteiles von Randspalten. Der Prozentanteil des Randspaltes nach mechanischer Druckbelastung betrug 9,7%.

**Testprodukt 6 Adper Scotchbond 1XT-F**



**Abb.24:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die schmelzbegrenzten Restaurationenränder in der Versuchgruppe F (Adper Scotchbond 1 XT): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung

Nur für die prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ ließen sich bei der Rangvarianzanalyse signifikante Unterschiede in Abhängigkeit von der In-vitro-Belastung aufzeigen.

**Tab.24:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Füllungsrandern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe F

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	12,250	0,750	2,296	1,355
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,002	0,687	0,317	0,508
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	n.s.	n.s.	n.s.

#### Paarweise Vergleiche für Gruppe F: Perfekter Rand, Schmelz

Infolge der mechanischen Belastung verschlechterte sich der Anteil „Perfekter Rand“ verglichen mit der Situation vor Belastung signifikant (Tab.25). Die beiden weiteren paarweisen Vergleiche erbrachten keine statistisch signifikanten Unterschiede.

**Tab.25:** Ergebnisse der statistischen Analyse für die paarweisen Vergleiche der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ an den schmelzbegrenzten Füllungsrandern in der Gruppe vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung

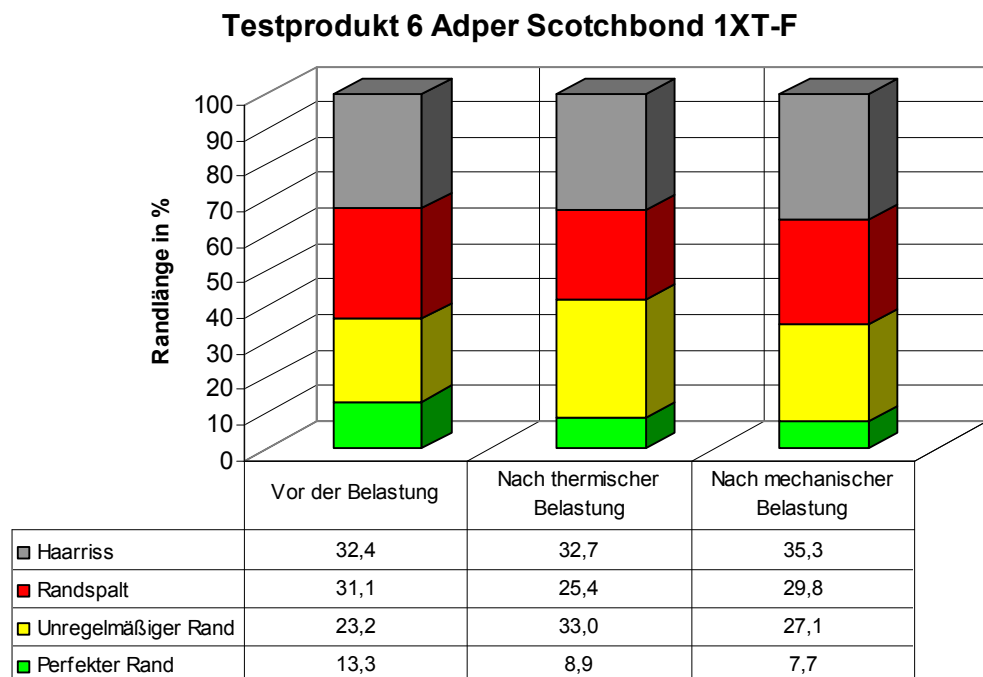
	vor Belastung	nach thermischer Belastung
nach mechanischer Belastung	<b>signifikant</b>	n.s.
nach thermischer Belastung	n.s.	

Alle drei weiteren Randkriterien wiesen keine signifikanten Unterschiede in der Rangvarianzanalyse auf; paarweise Vergleiche waren daher nicht sinnvoll.

#### **4.1.6.2 Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder**

In Abbildung 25 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Nach der Fertigstellung der Restaurationen konnte man nur einen sehr kleinen An-

teil von perfekten Rändern in Höhe von 13,3% feststellen. Die marginale Unregelmäßigkeit trat mit einem Anfangswert von 23,2%, der Randspalt mit 31,1%, der Haarriss mit 32,4% auf. Die folgende thermische und mechanische Belastung bewirkte fast keine Verschlechterung des Randschlussverhaltens. Nach der mechanischen Belastung betrug die Werte der prozentualen Häufigkeit 27,1% für die marginale Unregelmäßigkeit, 29,8% für den Randspalt und 35,3% für den Haarriss.



**Abb.25:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchsgruppe F (Adper Scotchbond 1 XT): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung

Keines der überprüften Randkriterien zeigte einen signifikanten Unterschied in Abhängigkeit von dem Belastungstest (Tab.26). Paarweise Vergleiche erübrigten sich daher.

**Tab.26:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Füllungsändern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe F

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	3,630	0,750	0,000	0,750
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,163	0,687	1,000	0,687
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

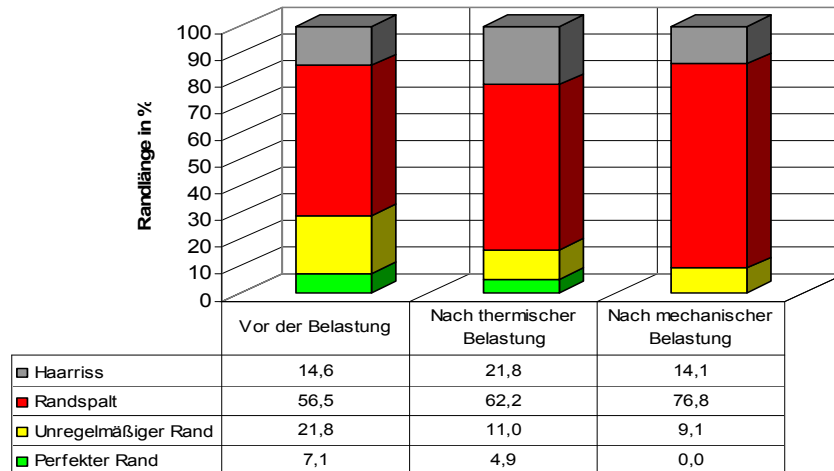
#### 4.1.7 Gruppe G: Opti Bond Solo Plus

##### 4.1.7.1 Randschlussverhalten im Bereich der schmelzbegrenzten Restaurationsränder

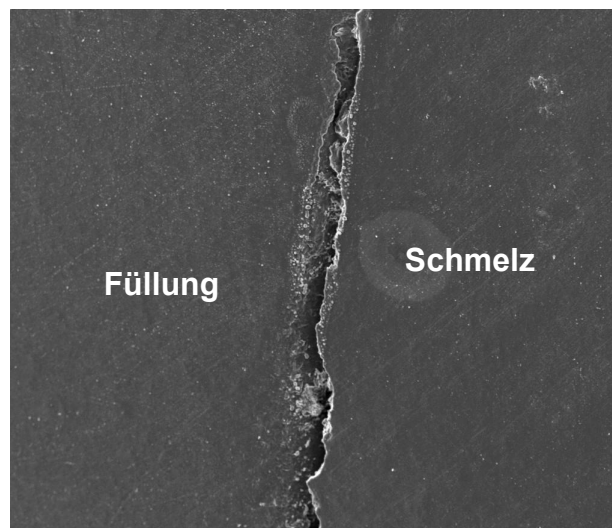
In Abbildung 26 ist die quantitative Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den schmelzbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Die Abbildung 27 zeigt ein repräsentatives Photo des Füllungsrandes vor der Belastung in 400facher Vergrößerung.

Im Vergleich mit den anderen untersuchten Gruppen hatte dieses Material sowohl im Bereich der schmelzbegrenzten als auch an den dentinbegrenzten Kavitätenrändern eines der schlechtesten Randschlussverhalten. Die In-vitro-Kausimulation beeinflusste die Ergebnisse deutlich, indem zwei Proben ganz herausgefallen waren und damit der perfekte Rand bei diesen Proben mit 0% bzw. der Randspalt mit 100% bewertet wurden. Der perfekte Rand trat vor Belastung der Füllungen mit einem Anteil von nur 7,1% auf. Nach thermischer Wechselbelastung sank der Prozentanteil des perfekten Randes auf 4,9%, nach mechanischer Druckbelastung gab es keinen perfekten Randschluss mehr. Die marginalen Unregelmäßigkeiten brachen nach thermischer Belastung zum Randspalt auf. Der Anteil des Haarrisses blieb nach mechanischer Belastung konstant, während sein Prozentanteil nach thermischer Belastung von 14,6% auf 21,8% stieg.

### Testprodukt 7 Opti Bond Solo Plus-G



**Abb.26:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die schmelzbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchsgruppe G (Opti Bond Solo Plus): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung



**Abb.27:** REM-Aufnahme eines schmelzbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe G (Opti Bond Solo Plus) vor Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Randspalt“

Nur das Kriterium „Randspalt“ wies unter dem Einfluss der In-vitro-Belastung signifikante Unterschiede (Rangvarianzanalyse: p-Wert = 0,03) auf. Alle übrigen Kriterien zeigten keine signifikanten Unterschiede in der Rangvarianzanalyse (Tab.27).

**Tab.27:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Füllungsändern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe G

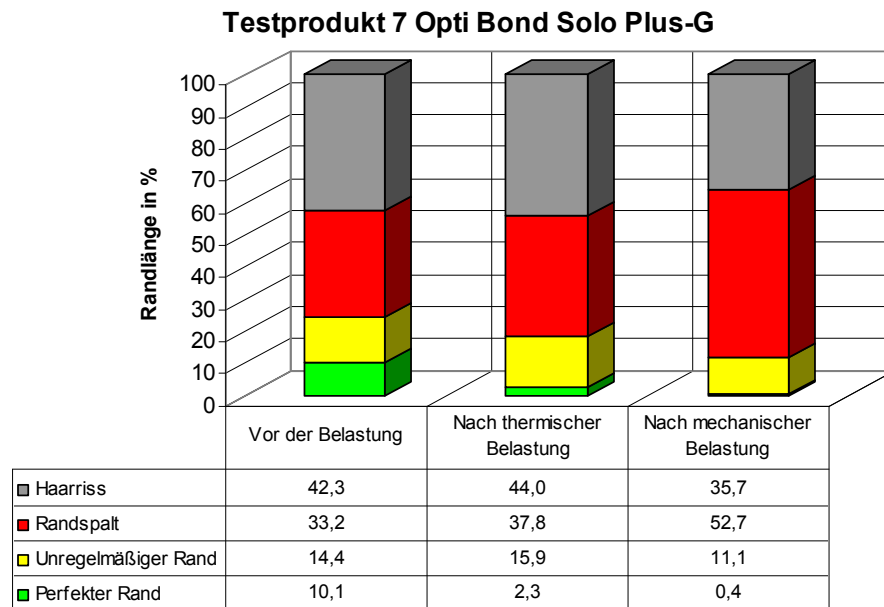
Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	3,714	2,467	7,032	1,867
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,156	0,291	0,030	0,393
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	n.s	n.s.	<b>signifikant</b>	n.s

#### Paarweise Vergleiche für Gruppe G: Randspalt, Schmelz

Die Rangvarianzanalyse deutete zwar auf signifikante Unterschiede in der prozentualen Häufigkeit des Kriteriums „Randspalt“ hin, bei Anwendung der Bonferroni-Korrektur auf die paarweisen Vergleiche ergaben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der thermischen oder mechanischen Belastung.

#### **4.1.7.2 Randschlussverhalten im Bereich der dentinbegrenzten Restaurationsränder**

In Abbildung 28 ist die prozentuale Randqualität nach den unterschiedlichen Belastungen in den dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten dargestellt. Die Abbildungen 29 und 30 zeigen repräsentative Photos der Füllungsänder vor der Belastung in 400facher Vergrößerung. Nach der Fertigstellung der Restauration wiesen die dentinbegrenzten Füllungsänder der Versuchsgruppe G einen vergleichsweise hohen Anteil an Randspalten in Höhe von 33,2% auf. Das Kriterium „Haarriss“ ließ sich auch mit einem hohen Prozentanteil von 42,3% feststellen. Der prozentuale Anteil perfekter Ränder lag bei 10,1%. Die okklusale Druckbelastung führte zu einer Zunahme des Randspaltes von 33,2% auf 52,7%. Der perfekte Rand reduzierte sich unter der Belastung auf 0,4%. Die marginalen Unregelmäßigkeiten blieben infolge der Belastungen nahezu unverändert.



**Abb.28:** Prozentuale Verteilung der verschiedenen Füllungsrandkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten Restaurationsränder in der Versuchsgruppe G (Opti Bond Solo Plus): vor Belastung; nach thermischer Belastung; nach mechanischer Belastung

Drei der überprüften Kriterien zeigten bei der Rangvarianzanalyse keinen signifikanten Unterschied in Abhängigkeit von den In-vitro-Belastungen (Tab.28). Nur das Kriterium „Perfekter Rand“ (p-Wert = 0,035) wies einen signifikanten Unterschied auf.

**Tab.28:** Ergebnisse der statistischen Analyse für den Vergleich der prozentualen Häufigkeit der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Füllungsändern vor Belastung, nach thermischer Wechselbelastung und nach mechanischer Belastung in der Gruppe G

Prüfgrößen der Friedman-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
Q (beobachteter Wert)	6,706	0,250	1,231	0,750
Q (kritischer Wert)	5,991	5,991	5,991	5,991
FG	2	2	2	2
p-Wert (zweiseitig)	0,035	0,882	0,540	0,687
Unterschiede zwischen den drei Belastungen	<b>signifikant</b>	n.s.	n.s.	n.s.

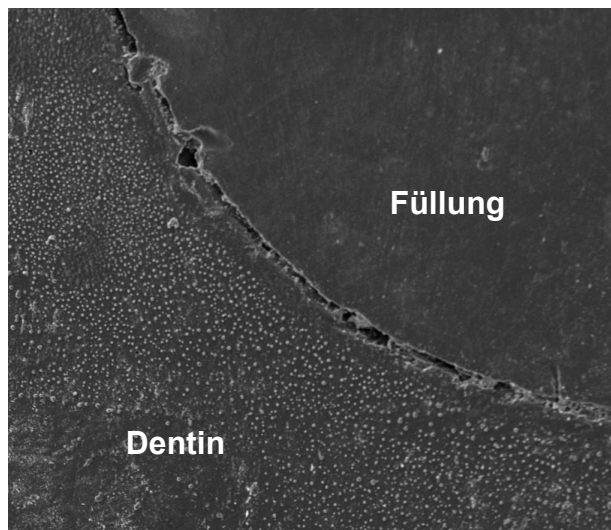
#### Paarweise Vergleiche für Gruppe F: Perfekter Rand, Dentin

Die Rangvarianzanalyse deutete zwar auf signifikante Unterschiede beim Kriterium „Perfekter Rand“ hin, bei Anwendung der Bonferroni-Korrektur auf die

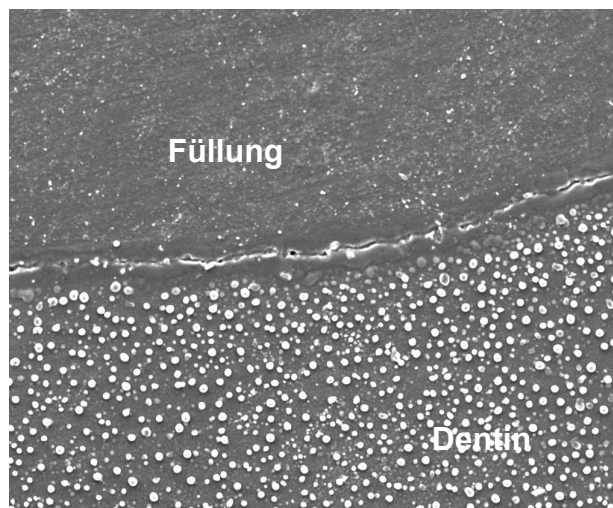


paarweisen Vergleiche ergaben sich jedoch keine signifikanten Unterschiede in Abhängigkeit von der thermischen oder mechanischen Belastung.

Alle drei weiteren Kriterien wiesen keine signifikanten Unterschiede in der Rangvarianzanalyse auf, paarweise Vergleiche waren daher nicht sinnvoll.



**Abb.29:** REM-Aufnahme eines dentinbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe G (Opti Bond Solo Plus) vor Belastung bei 400facher Vergrößerung: „Randspalt“



**Abb.30:** REM-Aufnahme eines dentinbegrenzten Füllungsrandes der Versuchsgruppe G (Opti Bond Solo Plus) vor Belastung bei 800facher Vergrößerung: „Haarriss“

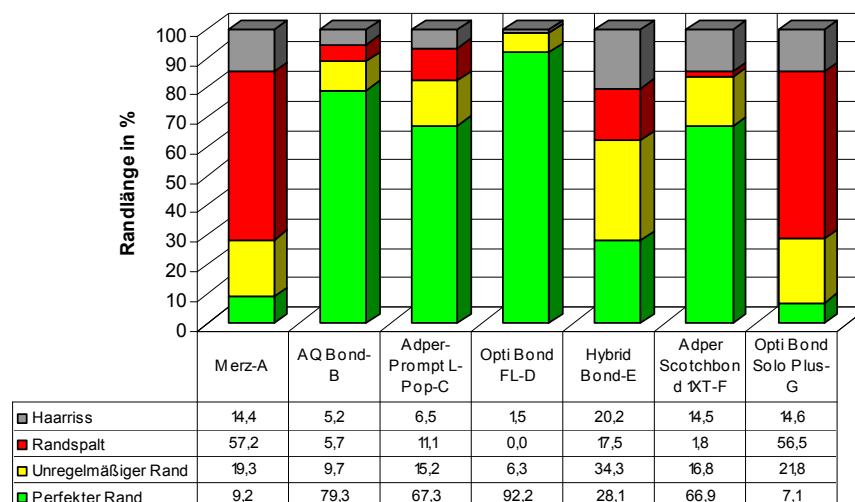
## 4.2 Vergleichende Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen schmelzbegrenzten Restaurationsränder

Die prozentuale Verteilung der verschiedenen Randqualitäten „Perfekter Rand“, „Randspalt“, „Unregelmäßiger Rand“ und „Haarriss“ ist in den Abbildungen 31 (vor Belastung), 32 (nach thermischer Belastung), 33 (nach mechanischer Belastung) für die Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F, G zusammenfassend graphisch dargestellt.

### Vor der Belastung

Der höchste Anteil perfekter marginaler Adaptation wurde in der Gruppe D (Opti Bond FL) mit 92,2% festgestellt. Vor der Belastung der Füllungen wiesen weiterhin folgende Versuchsgruppen hohe Anteile perfekter Ränder auf: Gruppe B (AQ Bond) 79,3%, Gruppe C (Adper Prompt L-Pop) 67,3%, Gruppe F (Adper Scotchbond 1XT) 66,9%. Die Testprodukte A (Testprodukt Merz) und G (Opti Bond Solo Plus) wiesen sehr geringe Anteile perfekter Ränder an den schmelzbegrenzten Restaurationsrändern von unter 10% auf. In den Gruppen A und G zeigten sich nach der Fertigstellung der Restaurationsränder höhere Anteile an Randspalten von über 50%. In den Versuchsgruppen B, C und E lag ein sehr geringer Prozentanteil an Randspalten von etwas über 10% vor. Die Gruppe F hatte keinen Randspalt nach dem Legen der Füllung.

**Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien im Schmelzbereich vor der Belastung (V) nach Produktgruppen**



**Abb.31:** Prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Randkriterien bezogen auf die schmelzbegrenzten approximalen Restaurationsränder vor der Belastung in den Gruppen A, B, C, D, E, F, G

Wie die folgende Tabelle 29 zeigt, bestanden zwischen den einzelnen Gruppen (A bis G) signifikante Unterschiede im Hinblick auf die prozentualen Häufigkeiten der vier analysierten Randkriterien.

**Tab.29:** Ergebnisse der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse für den Vergleich der Versuchsgruppen A-G im Hinblick auf Unterschiede in den prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Kavitätenrändern vor der Belastung

Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
K (beobachteter Wert)	39,660	17,195	33,111	18,685
K (kritischer Wert)	12,592	12,592	12,592	12,592
FG	6	6	6	6
p-Wert (zweiseitig)	< 0,0001	0,009	< 0,0001	0,005
Unterschiede	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>

Die Tabelle 29 zeigt nur auf, dass zwischen den Versuchsgruppen A-G signifikante Unterschiede im Hinblick auf die prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Randkriterien existieren. Die Tabelle lässt jedoch nicht erkennen, welche der sieben Versuchsgruppen sich jeweils signifikant voneinander unterscheiden. Daher wird im Folgenden tabellarisch dargestellt, welche Versuchsgruppen beim paarweisen Vergleich der prozentualen Häufigkeiten der Kriterien „Perfekter Rand“, „Unregelmäßiger Rand“, bzw. „Haarriss“ signifikante Unterschiede aufwiesen (bei einem Bonferroni-korrigierten Signifikanzniveau von  $p=0,0024$ ).

**Tab.30:** Ergebnisse des multiplen paarweisen Vergleiches der Versuchsgruppen A bis G hinsichtlich der prozentualen Häufigkeiten der vier analysierten Randkriterien (Perfekter Rand, Unregelmäßiger Rand, Randspalt, Haarriss) an den schmelzbegrenzten Füllungsändern vor Belastung. n.s.=nicht signifikant; s=signifikant für ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von  $p=0,0024$

Perfekter Rand	Versuchsgruppe					
Versuchsgruppe	G	F	E	D	C	B
<b>A</b>	n.s	n.s	n.s	<b>s</b>	n.s	<b>s</b>
<b>B</b>	<b>s</b>	n.s	n.s	n.s	n.s	
<b>C</b>	n.s	n.s	n.s	n.s		
<b>D</b>	<b>s</b>	n.s	<b>s</b>			
<b>E</b>	n.s	n.s				
<b>F</b>	<b>s</b>					

Unregelmäßiger Rand	Versuchsgruppe					
Versuchsgruppe	G	F	E	D	C	B
<b>A</b>	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
<b>B</b>	n.s	n.s	<b>s</b>	n.s	n.s	
<b>C</b>	n.s	n.s	n.s	n.s		
<b>D</b>	n.s	n.s	<b>s</b>			
<b>E</b>	n.s	n.s				
<b>F</b>	n.s					

Randspalt	Versuchsgruppe					
Versuchsgruppe	G	F	E	D	C	B
<b>A</b>	n.s	<b>s</b>	n.s	<b>s</b>	n.s	n.s
<b>B</b>	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	
<b>C</b>	n.s	n.s	n.s	n.s		
<b>D</b>	<b>s</b>	n.s	n.s			
<b>E</b>	n.s	n.s				
<b>F</b>	<b>s</b>					

Haarriss	Versuchsgruppe					
Versuchsgruppe	G	F	E	D	C	B
<b>A</b>	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
<b>B</b>	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	
<b>C</b>	n.s	n.s	n.s	n.s		
<b>D</b>	n.s	<b>s</b>	<b>s</b>			
<b>E</b>	n.s	n.s				
<b>F</b>	n.s					

Bei allen Tabellen: Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau: 0,0024

### Nach thermischer Belastung

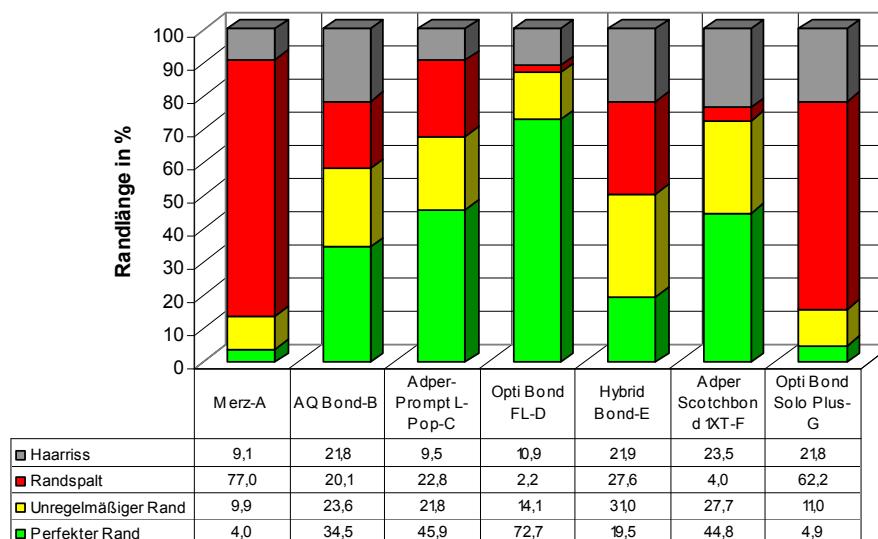
Nach thermischer Belastung kam es in den Gruppen C, D, E und F zur Reduktion des Anteiles perfekter Ränder um 20 Prozentpunkte. In der Gruppe B nahm der perfekte Rand deutlich um 50 Prozentpunkte ab (Abb.32). Zwischen

den Gruppen A-G bestanden signifikante Unterschiede bezüglich der prozentualen Häufigkeit des Kriteriums „Perfekter Rand“ (Tab.31).

Die Randspalten nahmen in allen Versuchsgruppen um etwa 20 Prozentpunkte zu. Im Gegensatz dazu blieb das Randschlussverhalten der Gruppe D nach der thermischen Wechselbelastung fast konstant. Der Prozentanteil des Randspaltes lag bei nur 2,2%. Die Verteilung der Prozentwerte für das Kriterium „Randspalt“ in den Versuchsgruppen A-G unterschied sich signifikant (Tab.31).

Bei den Kriterien „Unregelmäßiger Rand“ und „Haarriss“ ergaben sich hingegen keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen A bis G.

**Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien im Schmelzbereich nach thermischer Belastung (T) nach Produktgruppen**



**Abb.32:** Prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Randkriterien bezogen auf die schmelzbegrenzten approximalen Restaurationsränder nach thermischer Belastung in den Gruppen A, B, C, D, E, F, G

**Tab.31:** Ergebnisse der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse für den Vergleich der Versuchsgruppen A-G im Hinblick auf Unterschiede in den prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbegrenzten Kavitätärändern nach thermischer Belastung

Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
K (beobachteter Wert)	32,453	10,367	32,090	9,316
K (kritischer Wert)	12,592	12,592	12,592	12,592
FG	6	6	6	6
p-Wert (zweiseitig)	< 0,0001	0,110	< 0,0001	0,157
Unterschiede	<b>signifikant</b>	n.s.	<b>signifikant</b>	n.s.

Für die Bewertungskriterien „Perfekter Rand“ und „Randspalt“ ist im Folgenden dargestellt, welche Gruppen sich paarweise signifikant voneinander unterscheiden (Tab.32).

**Tab.32:** Ergebnisse des multiplen paarweisen Vergleiches der Versuchsgruppen A bis G hinsichtlich der prozentualen Häufigkeiten der zwei analysierten Randkriterien (Perfekter Rand und Randspalt) an den schmelzbegrenzten Füllungsändern nach thermischer Belastung. n.s.=nicht signifikant; s=signifikant für ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von  $p=0,0024$

Perfekter Rand	Versuchsgruppe					
	Versuchsgruppe	G	F	E	D	C
A	n.s	n.s	n.s	s	n.s	n.s
B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	
C	n.s	n.s	n.s	n.s		
D	s	n.s	s			
E	n.s	n.s				
F	n.s					

Randspalt	Versuchsgruppe					
	Versuchsgruppe	G	F	E	D	C
A	n.s	s	n.s	s	n.s	n.s
B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	
C	n.s	n.s	n.s	n.s		
D	s	n.s	n.s			
E	n.s	n.s				
F	s					

### Nach mechanischer Belastung

Nach mechanischer Belastung nahm der Prozentanteil der perfekten Ränder in der Gruppen B, C, D, E und F um 10 Prozentpunkte ab. Bei den Gruppen A und G war nach der In-vitro-Kausimulation kein perfekter Rand festzustellen (Abb.33). Die Verteilung der perfekten Ränder auf die Gruppen A bis G unterschied sich signifikant (Tab.33).

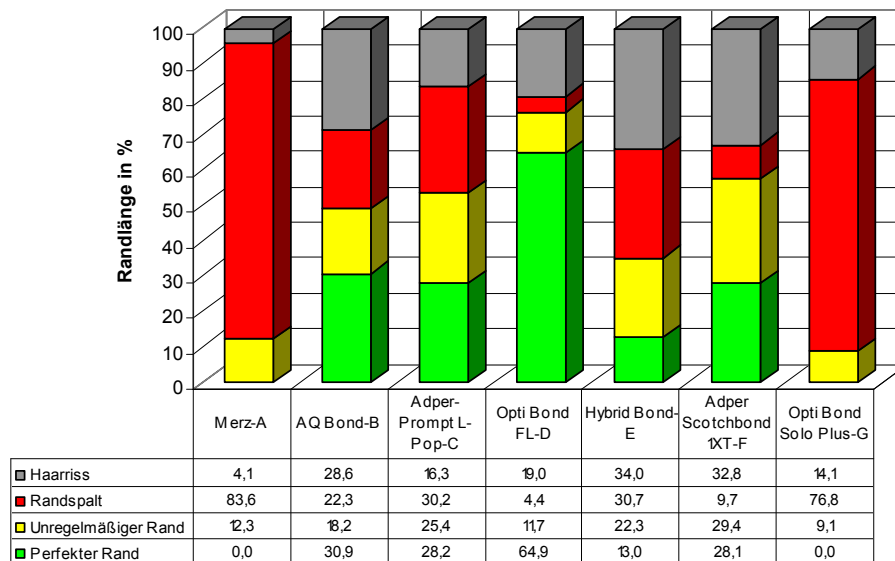
Der Prozentanteil des Randspaltes nahm in den Versuchsgruppen B, C, E und F nach mechanischer Druckbelastung kontinuierlich ab (Abb.33). In den Gruppen A und G fanden sich höhere prozentuale Anteile des Randspaltes in Höhe von 83,6% (Gruppe A) und 76,8% (Gruppe G). Die Verteilung der Randspalten auf die Gruppen A bis G war signifikant unterschiedlich (Tab.33). Die Gruppe D zeigte auch nach der mechanischen Belastung die besten Werte an den schmelzbegrenzten Restaurationsrändern (Perfekter Rand 64,9%, Randspalt 4,4%), (Abb.33).

Die beiden anderen Kriterien „Haarriss“ und „Unregelmäßiger Rand“ wiesen in allen untersuchten Gruppen geringe prozentuale Häufigkeiten auf. In den Gruppen C und F kam es zur Zunahme der marginalen Unregelmäßigkeiten nach der Kausimulation, währenddessen in den Gruppen A, B, D, E und G die marginalen Unregelmäßigkeiten abnahmen. Der Anteil des Haarrisses stieg nach jeder Belastung kontinuierlich in den Gruppen B, C, D, E und F an. In den Gruppen A und G war nach der Kausimulation der Prozentanteil des Haarrisses geringer als nach der thermischen Belastung, während der Randspalt zunahm. Bei beiden Kriterien lag die Verteilung der prozentualen Häufigkeiten auf die Gruppen A bis G unter der Signifikanzgrenze von 0,05 und war damit signifikant unterschiedlich.

Aufgrund der erforderlichen Bonferroni-Korrektur beim multiplen Paarvergleich war für das Kriterium „Unregelmäßiger Rand“ jedoch kein signifikanter paarweiser Einzelvergleich der Versuchsgruppen ermittelbar.



Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien im Schmelzbereich nach mechanischer Belastung (M) nach Produktgruppen



**Abb.33:** Prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Randkriterien bezogen auf die schmelzbezogenen approximalen Restaurationsränder nach mechanischer Belastung in den Gruppen A, B, C, D, E, F, G

**Tab.33:** Ergebnisse der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse für den Vergleich der Versuchsgruppen A-G im Hinblick auf Unterschiede in den prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Randkriterien an den schmelzbezogenen Kavitätenrändern nach mechanischer Belastung

Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
K (beobachteter Wert)	35,351	13,506	29,915	14,203
K (kritischer Wert)	12,592	12,592	12,592	12,592
FG	6	6	6	6
p-Wert (zweiseitig)	< 0,0001	0,036	< 0,0001	0,027
Unterschiede	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>	<b>signifikant</b>

Für die Kriterien „Perfekter Rand“, „Randspalt“ und „Haarriss“ ist im Folgenden tabellarisch dargestellt, welche Versuchsgruppen beim paarweisen Vergleich der jeweiligen prozentualen Häufigkeiten signifikante Unterschiede aufwiesen (bei einer Anpassung des Signifikanzniveaus auf  $p=0,0024$  gemäß Bonferroni-Korrektur).

**Tab.34:** Ergebnisse des multiplen paarweisen Vergleiches der Versuchsgruppen A bis G hinsichtlich der prozentualen Häufigkeiten der drei analysierten Randkriterien (Perfekter Rand, Randspalt, Haarriss) an den schmelzbegrenzten Füllungsrändern nach mechanischer Belastung. n.s.=nicht signifikant; s=signifikant für ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von  $p=0,0024$

Perfekter Rand	Versuchsgruppe					
Versuchsgruppe	G	F	E	D	C	B
<b>A</b>	n.s	n.s	n.s	<b>s</b>	n.s	n.s
<b>B</b>	<b>s</b>	n.s	n.s	n.s	n.s	
<b>C</b>	n.s	n.s	n.s	n.s		
<b>D</b>	<b>s</b>	n.s	<b>s</b>			
<b>E</b>	n.s	n.s				
<b>F</b>	n.s					

Randspalt	Versuchsgruppe					
Versuchsgruppe	G	F	E	D	C	B
<b>A</b>	n.s	<b>s</b>	n.s	<b>s</b>	n.s	n.s
<b>B</b>	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	
<b>C</b>	n.s	n.s	n.s	n.s		
<b>D</b>	<b>s</b>	n.s	n.s			
<b>E</b>	n.s	n.s				
<b>F</b>	<b>s</b>					

Haarriss	Versuchsgruppe					
Versuchsgruppe	G	F	E	D	C	B
A	n.s	n.s	s	n.s	n.s	n.s
B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	
C	n.s	n.s	n.s	n.s		
D	n.s	n.s	n.s			
E	n.s	n.s				
F	n.s					

#### 4.3 Vergleichende Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen dentinbegrenzten Restaurationsränder

Die prozentuale Verteilung der verschiedenen Randqualitäten „Perfekter Rand“, „Randspalt“, „Unregelmäßiger Rand“ und „Haarriss“ ist in den Abbildungen 34 (vor der Belastung), 35 (nach thermischer Belastung), 36 (nach mechanischer Belastung) für die Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F und G zusammenfassend graphisch dargestellt.

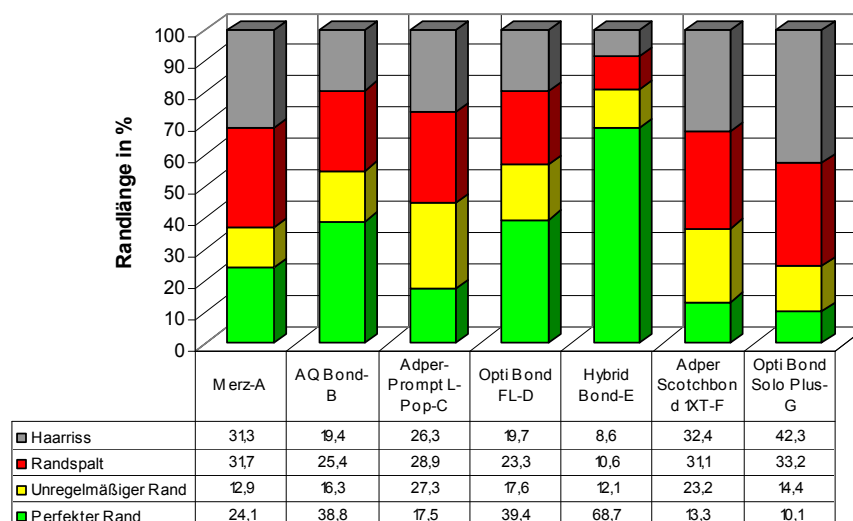
Infolge der thermischen Wechselwirkung kam es zur deutlichen Verschlechterung der Randqualität in allen Versuchsgruppen. In der Gruppe E nahm der Prozentanteil des perfekten Randes von 68,7% auf 21,7% ab. Sowohl nach thermischer Wechselbelastung als auch nach In-vitro-Kausimulation wiesen die dentinbegrenzten Restaurationsränder der Gruppen C, D, F, G im Gruppenvergleich ein schlechteres Randschlussverhalten auf. Die Gruppen B und E zeigten höhere Anteile an perfekten Rändern auch nach der okklusalen Druckbelastung.

### Vor der Belastung

Der höchste Anteil perfekter marginaler Adaptation lag nach der Fertigstellung der Restaurationen in der Gruppe E (Hybrid Bond) bei 68,7%. Die Gruppen B und D unterschieden sich nach dem Legen der Füllung nur geringfügig voneinander. Im Gruppenvergleich wiesen die Gruppen A, C, F und G ein schlechteres Randschlussverhalten auf.

Signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ließen sich für das Kriterium „Perfekter Rand“ ermitteln ( $p$ -Wert = 0,002), (Tab.37). Bei den Kriterien „Haarriss“, „Randspalt“ und „Unregelmäßiger Rand“ konnten hingegen in der Rangvarianzanalyse keine signifikanten Unterschiede zwischen den Versuchsgruppen A-G nachgewiesen werden.

**Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien im Dentinbereich vor der Belastung (V) nach Produktgruppen**



**Abb.34:** Prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Randkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten approximalen Restaurationsränder vor der Belastung in den Gruppen A, B, C, D, E, F, G

**Tab.35:** Ergebnisse der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse für den Vergleich der Versuchsgruppen A-G im Hinblick auf Unterschiede in den prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Kavitätenrändern vor der Belastung

Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
K (beobachteter Wert)	20,866	7,742	4,496	11,434
K (kritischer Wert)	12,592	12,592	12,592	12,592
FG	6	6	6	6
p-Wert (zweiseitig)	0,002	0,258	0,610	0,076
Unterschiede	<b>signifikant</b>	n.s.	n.s.	n.s.

Für das Kriterium „Perfekter Rand“ ist im Folgenden tabellarisch dargestellt, welche Versuchsgruppen beim paarweisen Vergleich der jeweiligen prozentualen Häufigkeiten signifikante Unterschiede aufwiesen (bei einer Anpassung des Signifikanzniveaus auf  $p=0,0024$  gemäß Bonferroni-Korrektur).

**Tab.36:** Ergebnisse des multiplen paarweisen Vergleiches der Versuchsgruppen A bis G hinsichtlich der prozentualen Häufigkeiten des Kriteriums „Perfekter Rand“ an den dentinbegrenzten Füllungsrandern vor Belastung. n.s.=nicht signifikant; s=signifikant für ein Bonferroni-korrigiertes Signifikanzniveau von  $p=0,0024$

Perfekter Rand	Versuchsgruppe					
Versuchsgruppe	G	F	E	D	C	B
A	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s
B	n.s	n.s	n.s	n.s	n.s	
C	n.s	n.s	n.s	n.s		
D	n.s	n.s	n.s			
E	s	s				
F	n.s					

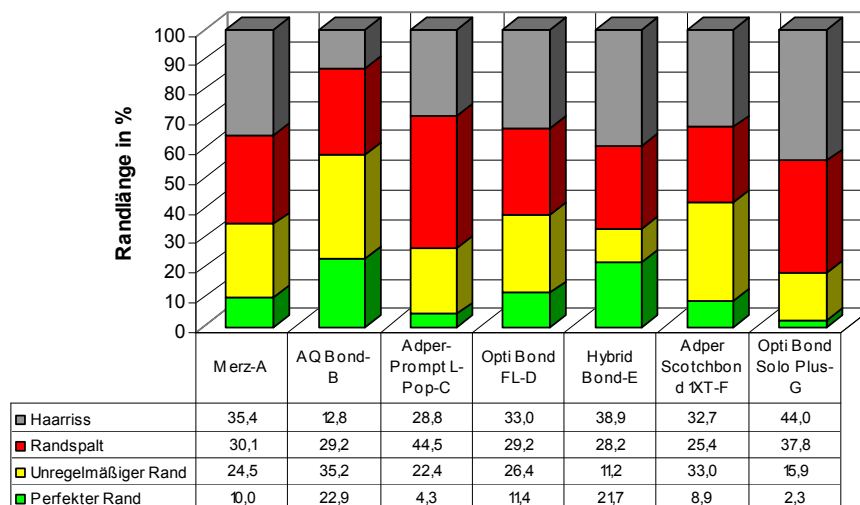
### Nach thermischer Belastung

Nach thermischer Belastung ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen A – G (Tab.37).

**Tab.37:** Ergebnisse der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse für den Vergleich der Versuchsgruppen A-G im Hinblick auf Unterschiede in den prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Kavitätenrändern nach thermischer Belastung

Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
K (beobachteter Wert)	9,038	10,987	2,702	9,316
K (kritischer Wert)	12,592	12,592	12,592	12,592
FG	6	6	6	6
p-Wert (zweiseitig)	0,171	0,089	0,845	0,157
Unterschiede	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

**Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien im Dentinbereich nach thermischer Belastung (T) nach Produktgruppen**



**Abb.35:** Prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Randkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten approximalen Restaurationsränder nach thermischer Belastung in den Gruppen A, B, C, D, E, F, G

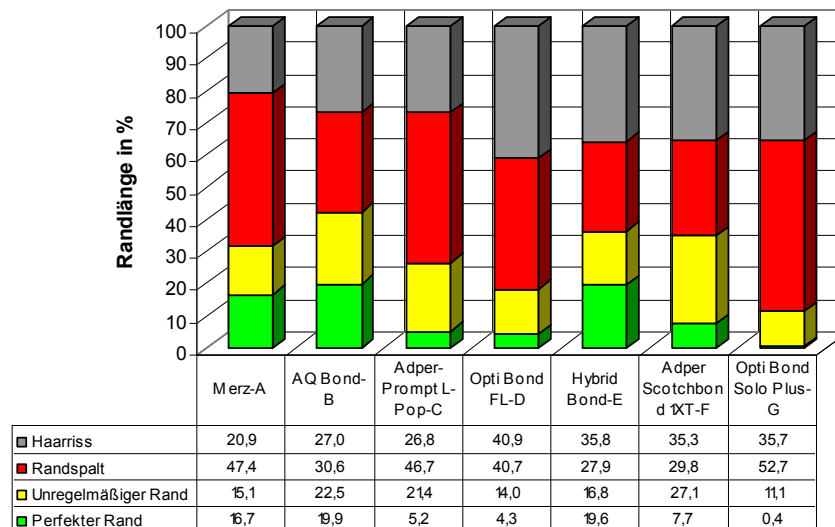
Nach mechanischer Belastung

Auch nach der mechanischen Belastung waren beim Vergleich der Gruppen A-G hinsichtlich der prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Füllungsrandqualitäten keine signifikanten Unterschiede festzustellen (Tab.38).

**Tab.38:** Ergebnisse der Kruskal-Wallis Rangvarianzanalyse für den Vergleich der Versuchsgruppen A-G im Hinblick auf Unterschiede in den prozentualen Häufigkeiten der vier untersuchten Randkriterien an den dentinbegrenzten Kavitätenrändern nach mechanischer Belastung

Prüfgrößen der Kruskal-Wallis-Rangvarianzanalyse	Perfekter Rand	Unregelmäßiger Rand	Randspalt	Haarriss
K (beobachteter Wert)	12,524	8,974	3,049	3,455
K (kritischer Wert)	12,592	12,592	12,592	12,592
FG	6	6	6	6
p-Wert (zweiseitig)	0,051	0,175	0,803	0,750
Unterschiede	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

**Prozentuale Verteilung der Füllungsrandkriterien im Dentinbereich nach mechanischer Belastung (M) nach Produktgruppen**



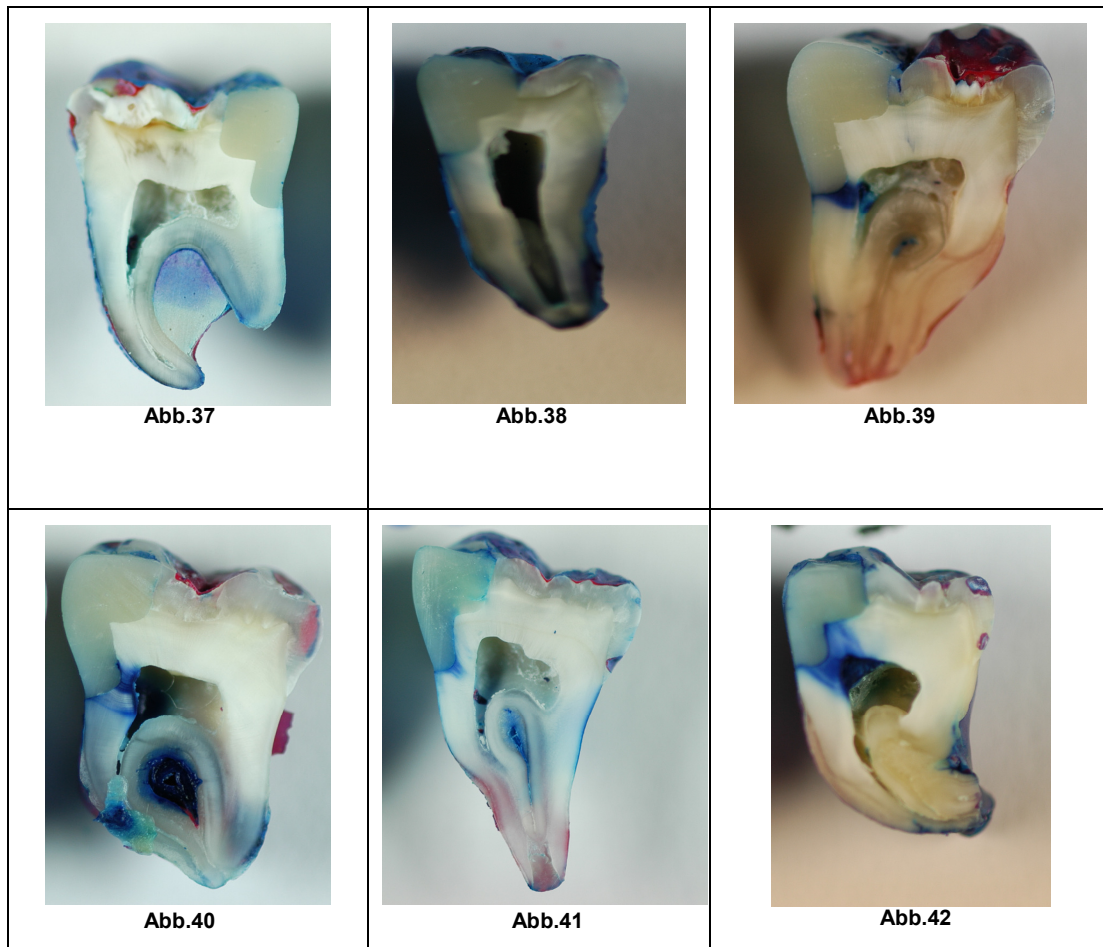
**Abb.36:** Prozentuale Verteilung der unterschiedlichen Randkriterien bezogen auf die dentinbegrenzten approximalen Restaurationsränder nach der mechanischen Belastung in den Gruppen A, B, C, D, E, F, G

#### 4.4 Farbstoffpenetrationstest

Nach der mechanischen Druckbelastung wurde ein Farbstoffpenetrationstest durchgeführt, um die interne Adaptation zwischen Komposit und Zahnschmelze zu bewerten. Es wurden beide Schnittflächen getrennt ausgewertet, aber nur der schlechtere Wert in der Auswertung berücksichtigt. Das bedeutet, dass sich in jeder Versuchsgruppe 8 Werte ergaben. Die Abbildungen 37-42 zeigen repräsentative digitale Photos der unterschiedlichen Farbpenetrationstiefen. Die Abbildungen 43-48 zeigen graphisch die Gradverteilung der Farbpenetration.

Das Kriterium „farbdichter Verbund“ wurde am häufigsten in der Gruppe B (6 Proben von 8) festgestellt. In der Gruppe C wurde bei vier Proben und bei drei Proben in den Gruppen A und E kein Eindringen des Farbstoffes gefunden. Bei vielen Proben dieser Versuchsgruppen beschränkte sich die Penetration des Farbstoffes auf die zerviko-approximale Stufe. Nur ein geringer Anteil der Proben wies im Bereich der axialen Wand Farbstoff auf. Bis zur Hälfte der axialen Wand waren drei Proben in Gruppe F, zwei Proben in Gruppe D und eine Probe aus Gruppe C und E farbpenetriert. Die ganze axiale Wand war

nur bei zwei Proben aus Gruppe B und bei einer Probe aus Gruppe D und E farbpenetriert. Der okklusale Kavitätenboden war nur bei zwei Proben aus Gruppe G betroffen. Drei Proben in Gruppe G waren nicht beurteilbar, weil zwei Füllungen während der Kausimulation und eine Füllung beim Sägeschnitt herausgefallen sind. Bei Gruppe A war eine Füllung, die nach mechanischer Belastung herausgefallen war, nicht beurteilbar.



**Abb.37: Grad 0:** Füllungsquerschnitt eines Zahnes der Gruppe B: „perfekte Adaptation“ zwischen Dentin und Füllung. Es ist kein Farbstoff eingedrungen. Vergrößerung 2,8fach

**Abb.38: Grad 1:** Füllungsquerschnitt eines Zahnes der Gruppe C: „Spalt“ zwischen Dentin und Füllung. Farbstoff ist bis 1/2 der zerviko-approximalen Stufe eingedrungen. Vergrößerung 2,8fach

**Abb.39: Grad 2:** Füllungsquerschnitt eines Zahnes der Gruppe B: „Spalt“ zwischen Dentin und Füllung. Farbstoff ist bis 1/1 der zerviko-approximalen Stufe eingedrungen. Vergrößerung 2,8fach

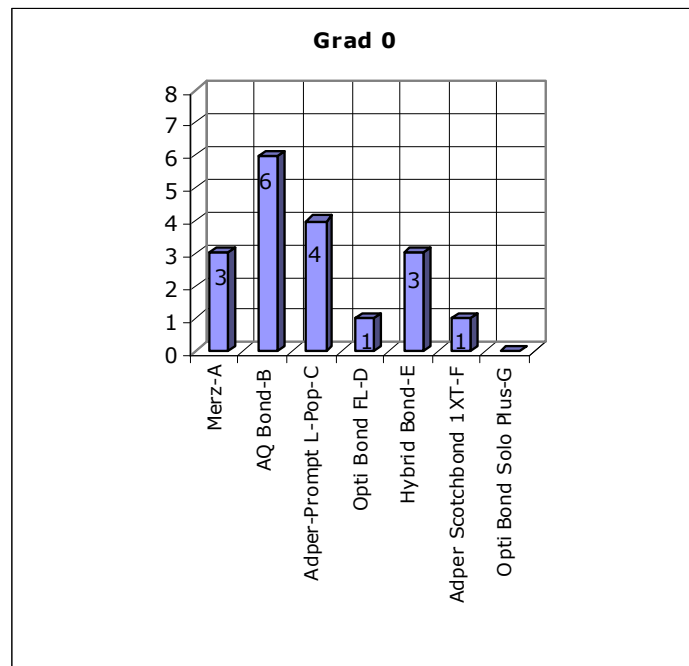
**Abb.40: Grad 3:** Füllungsquerschnitt eines Zahnes der Gruppe F: „Spalt“ zwischen Dentin und Füllung. Farbstoff ist bis 1/2 der axialen Kavitätenwand eingedrungen. Vergrößerung 2,8fach

**Abb.41: Grad 4:** : Füllungsquerschnitt eines Zahnes der Gruppe E: „Spalt“ zwischen Dentin und Füllung. Farbstoff ist bis maximal 1/1 der axialen Kavitätenwand eingedrungen. Vergrößerung 2,8fach

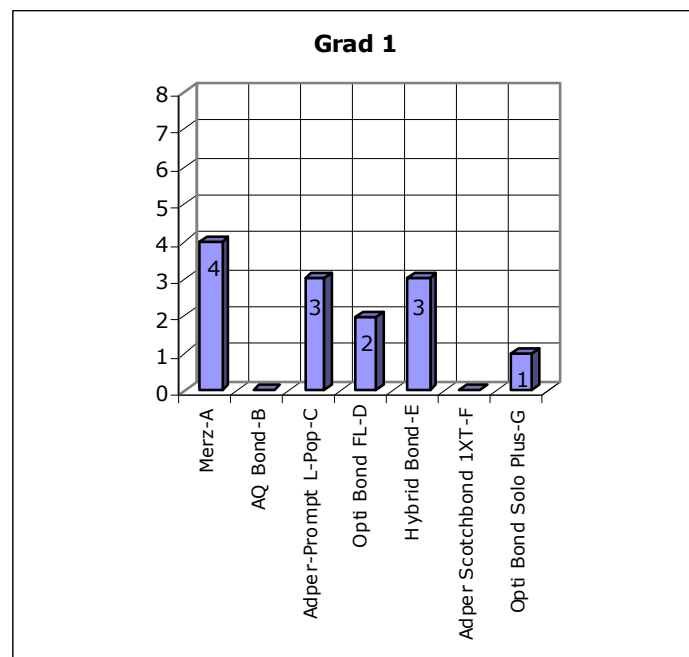
**Abb.42: Grad 5:** Füllungsquerschnitt eines Zahnes der Gruppe G: „Spalt“ zwischen Dentin und Füllung. Farbstoff ist in den Bereich des okklusalen Kavitätenbodens eingedrungen. Vergrößerung 2,8fach



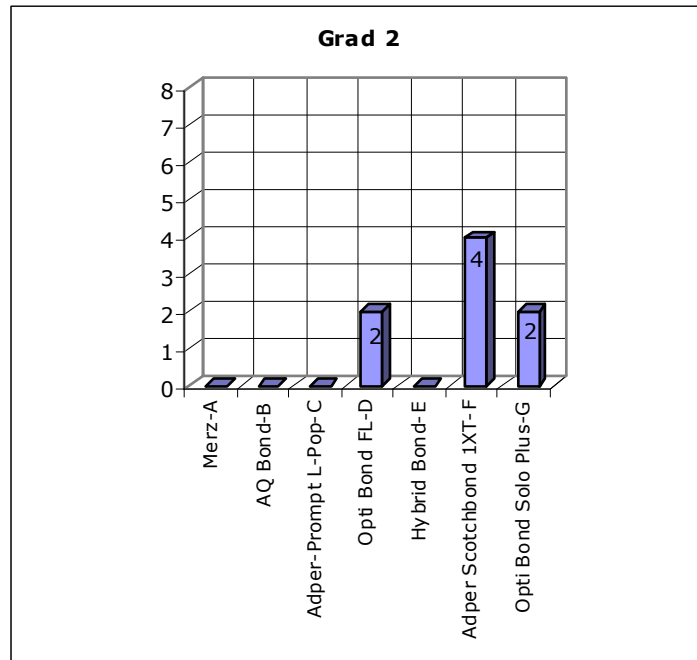
Zunächst werden im Folgenden für die fünf Grade der Farbstoffpenetration die Verteilungsgrafiken jeweils bezogen auf die Versuchsgruppen A-G einzeln dargestellt (Abb.43-48), danach gemeinsam in einem 3D-Diagramm (Abb.49).



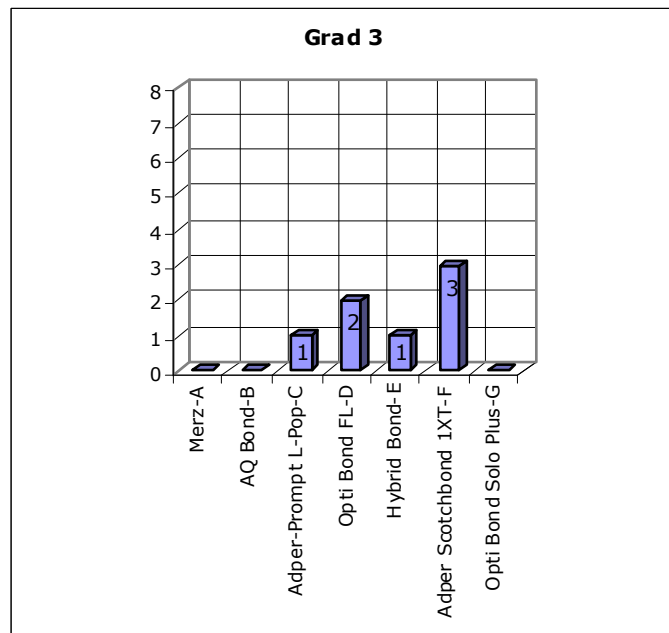
**Abb.43:** Häufigkeitsverteilung der Proben mit Grad 0 des Farbstoffpenetrationstests in den Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F, G



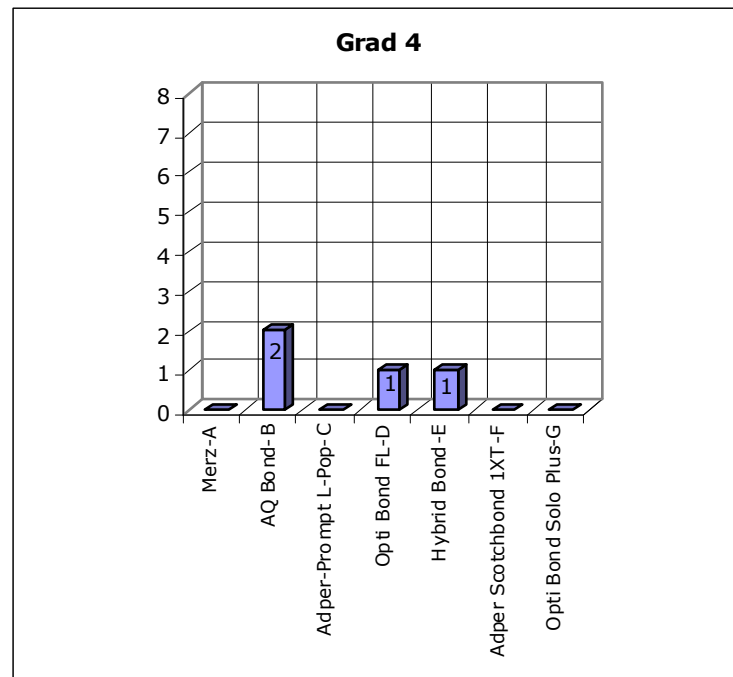
**Abb.44:** Häufigkeitsverteilung der Proben mit Grad 1 des Farbstoffpenetrationstests in den Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F, G



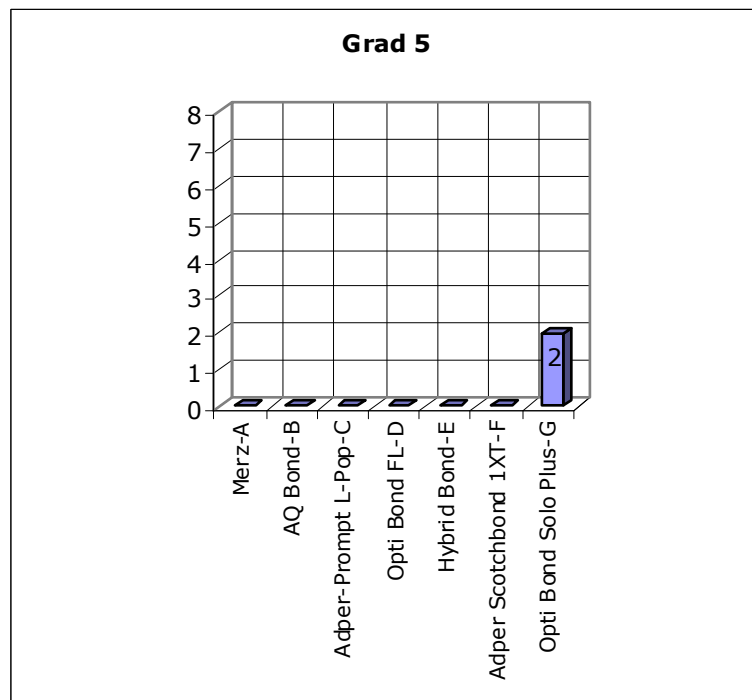
**Abb.45:** Häufigkeitsverteilung der Proben mit Grad 2 des Farbstoffpenetrationstests in den Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F, G



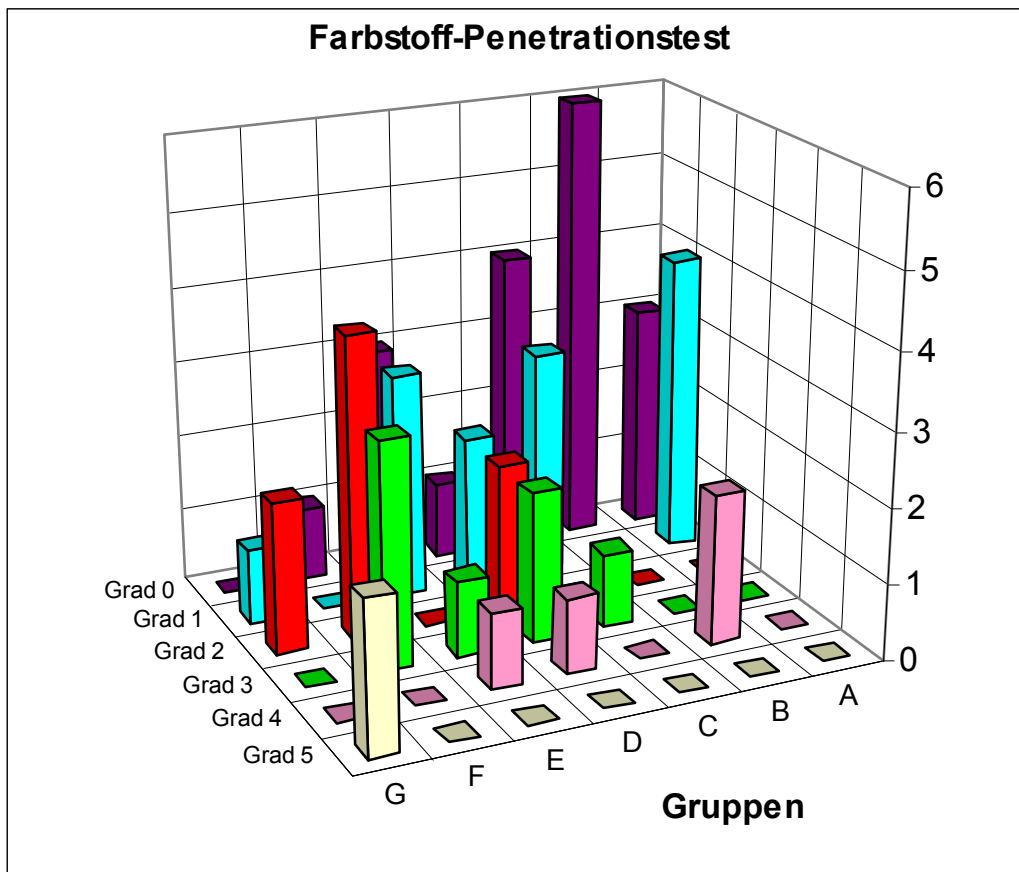
**Abb.46:** Häufigkeitsverteilung der Proben mit Grad 3 des Farbstoffpenetrationstests in den Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F, G



**Abb.47:** Häufigkeitsverteilung der Proben mit Grad 4 des Farbstoffpenetrationstests in den Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F, G



**Abb.48:** Häufigkeitsverteilung der Proben mit Grad 5 des Farbstoffpenetrationstests in den Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F, G



**Abb.49:** Häufigkeitsverteilung der Proben mit den Graden 0-5 des Farbstoffpenetrationstests in den Versuchsgruppen A, B, C, D, E, F, G

Die Farbstoffpenetrationstiefen in den verschiedenen Versuchsgruppen A-G waren signifikant unterschiedlich (Chiquadrat-Test, p-Wert = 0,0006), (Tab.40), (Abb.49).

**Tab.39:** Statistische Analyse der Häufigkeitsverteilung der Proben mit den Graden 0-5 des Farbstoffpenetrationstests in den Gruppen A-G

Prüfgrößen des Chiquadrattests	Wert
Chi-Quadrat (beobachteter Wert)	61,336
Chi-Quadrat (kritischer Wert)	43,773
FG	30
p-Wert	0,0006

**Tab.40:** Ergebnis der statistischen Detailanalyse bezüglich der Häufigkeitsverteilung von Proben mit den Penetrationsgraden 0, 1, 2, 3, 4 bzw. 5 in den untersuchten Versuchsgruppen A-G

	<b>Grad 0</b>	<b>Grad 1</b>	<b>Grad 2</b>	<b>Grad 3</b>	<b>Grad 4</b>	<b>Grad 5</b>
Chi-Quadrat (Beob. Wert)	14,737	10,419	15,167	9,143	7,000	12,444
Chi-Quadrat (Krit. Wert)	12,592	12,592	12,592	12,592	12,592	12,592
FG	6	6	6	6	6	6
p-Wert	0,022	0,108	0,019	0,166	0,321	0,053
Unterschiede	<b>signifikant</b>	n.s.	<b>signifikant</b>	n.s.	n.s.	n.s.

Die statistische Detailanalyse zeigte, dass sich die Versuchsgruppen A-G nur hinsichtlich der Häufigkeiten (Verteilung) der Proben mit den Penetrationsgraden 0 und 2 signifikant unterschieden (Tab.40).

## 5 Diskussion

### 5.1 Versuchsaufbau

Ziel dieser In-vitro-Studie war die Beurteilung des Einflusses von verschiedenen Adhäsiven auf die Qualität des Randschlusses bei Klasse-II-Kompositfüllungen im Seitenzahnbereich. Um ähnliche Bedingungen wie in vivo zu erzielen, wurde versucht, die klinischen Verhältnisse mit der gewählten In-vitro-Testmethodik zu simulieren.

#### 5.1.1 Untersuchung in vitro

Kritisch anzumerken ist, dass mit der In-vitro-Untersuchung die Mundhöhlenbedingungen näherungsweise, aber nicht vollumfänglich nachempfunden werden konnten.

Es wurden extrahierte kariesfreie Zähne verwendet. Im Falle von vitalem Dentin kann das Adhäsiv wegen des Widerstandes der Odontoblasten nur bis zu 10 µm in die Dentintubuli eindringen, bei extrahierten Zähnen dagegen bis zu 40 µm (Rateitschak und Wolf, 1994). Die Haftkraft des Komposites ist bei nicht kariös veränderten Zähnen höher als beim kariös veränderten Dentin. In stärker mineralisiertem Dentin unter Kariesläsionen ist die Schichtstärke des Hybridlayers deutlich geringer (Harnirattisai et al. 1992, Nakabayashi et al. 1992, Helbig et al. 2005). Dies ist auf die mindere Qualität der Kollagenfasern und eventuell auf die geringere Ausbildung von Kunststoffzapfen zurückzuführen (Schaller et al. 1998). Es gibt signifikante Unterschiede in der Demineralisationstiefe, in der qualitativen Adhäsivinfiltration und in der Haftfestigkeit am gesunden bzw. kariös veränderten Dentin (Erhardt et al. 2008). In dieser In-vitro-Studie wurde der Dentinliquordruck nicht berücksichtigt. Paul und Schärer (1993) berichteten über deutlich reduzierte Festigkeitswerte verschiedener Haftvermittlersysteme, wenn diese unter simuliertem Pulpadruk verarbeitet wurden (Schaller et al. 1998). Die Entfernung der Schmierschicht durch Säureätzung des Dentins geht unter klinischen Bedingungen mit einer Erhöhung der Dentinpermeabilität einher. Der daraus resultierende verstärkte

Ausfluss von Dentinliquor kann die Effektivität der Dentinadhäsive negativ beeinflussen (Hannig und Bott, 2000).

Außerhalb des Mundes lassen sich - wie in dieser Studie - Füllungen unter perfekten Bedingungen legen: kein Speichel, keine Blutkontamination, freies Modellieren ohne Matrize, direkte Sicht.

Die Dentinhafffestigkeit verringert sich mit steigender relativer Feuchtigkeit (Haller 1994, Chiba et al. 2004). Speichelkontamination beeinflusst die Verbundfestigkeit negativ (Campoy et al. 2005, Hansen et al. 1989, Krejci et al. 1992, Kielbassa et al. 1999, Stoll et al. 1999). Die Reapplikation nach Kontamination mit Speichel oder Blut (spülen, trocknen, wieder Adhäsiv auftragen) verbessert die mechanischen Werte (Yoo et al. 2006).

Kaliniotou-Koumpia et al. (2004) stellen heraus, dass die In-vivo-Studie die zuverlässigste Methode für die Beurteilung von Adhäsiven, was die Langlebigkeit betrifft, ist. Obwohl klinische Tests unter der Voraussetzung einer exakten Messmethodik als sehr aussagekräftig beurteilt werden (Council on Dental Materials, 1989), sind sie mit einer Reihe von Nachteilen behaftet: Dabei stehen insbesondere die Problematik der Standardisierung der Testbedingungen, die sehr lange Zeitspanne zur Gewinnung von Daten und die finanziellen Aspekte im Vordergrund (Krejci et al. 1990). Die rasche Evaluation von dentalen Restaurationssystemen ist nur mittels eines In-vitro-Tests zu bewältigen. Zusätzlich ermöglichen In-vitro-Studien die Anwendung destruktiver Testverfahren wie z. B. der Farbstoffpenetrationstest, bei dem die Proben für die Auswertung zerstört werden müssen. Auf diese Weise kann die Farbstoffpenetration in die Tiefe ausgewertet werden, während in vivo lediglich eine oberflächliche Beurteilung der Randqualität möglich ist (Perdigao und Lopes, 1999).

### 5.1.2 Materialauswahl

Für die Untersuchung wurden 56 extrahierte, karies- und füllungsfreie humane untere Weisheitszähne verwendet. Die Zähne wurden bis zur ihrer Verwendung in 0,1%ige Thymollösung gelagert. In der Literatur wurden verschiedene Lösungen, die zur Haltbarmachung und zur Desinfektion dienen sollen, er-

wähnt. Hierzu zählen 0,1%ige, 0,2%ige oder 0,5%ige Thymollösung (Krejci et al. 1990, Stoll et al. 1999, Haberkorn, 2006), 0,5%ige Chloramine (Gernhardt et al. 2001, Frankenberger et al. 2003) oder 1%ige Chloraminlösung (Glockner et al. 1998, Haller et al. 1998,1999, Schuster, 2005), Ringerlösung (Schaller et al. 1998, Kielbassa et al. 1999, Manhart et al. 2000) und Alkoholösung (Hannig et al. 1999, Lösche, 1992).

### 5.1.3 Präparation

Die Kavitätenform wurde standardisiert angelegt. In jeden Zahn wurde eine proximale Kavität präpariert, deren zervikale Stufe 1 mm unterhalb der Schmelz-Zementgrenze endete. Die Ausdehnung der proximalen Kavität in bucco-oraler Richtung betrug 4 mm. Die zervikale Stufe war 1,2 mm breit. Die okklusale Tiefe, gemessen vom Fundus der Fissur bis zum Kavitätenboden, betrug 2 mm. Der Abstand zwischen gedachter proximaler Füllungsfläche und okkusal-zentraler Präparationsgrenze betrug 3 mm (Abb.1). Die Kavität wurde von proximal birnenförmig mit abgerundeten Ecken präpariert. Die lateralen Kavitätenränder im Schmelz wurden 0,5 mm angeschragt, da diese konsequente Ansträgung der Schmelzränder eine unabdingbare Voraussetzung für die belastungsstabile Verankerung der Kompositfüllung in situ ist (Hannig et al. 1999). Durch die Randansträgung werden die Schmelzprismen vorzugsweise quer zu ihrer Verlaufsrichtung angeschnitten; das nach Säurekonditionierung resultierende mikroretentive Ätzmuster ermöglicht eine effektive, randdichte Verankerung von Komposit am Zahnschmelz (Hannig et al. 1999). Die angeschragten Ränder weisen mehr defektfreie Randteile als kastenförmige Ränder auf und verringern signifikant die Schmelzrandfraktur (Haller und Fritzenschaft, 1998). Durch die Ansträgung der Ränder lassen sich die Schmelzmikrorisse, die typischerweise in vitro bei der mechanischen Belastung auftreten, vermeiden (Dietschi et al. 2002). Die Ansträgung der proximalen Schmelzränder resultiert in einer Reduktion der Randspaltbildung (Frankenberger, 2006). Es gibt auch kontroverse Untersuchungen von Santini et al. (2004), wobei kein signifikanter Unterschied



bezogen auf das Leakage zwischen Self-Etch- und Total-Etch-Adhäsiven bei der Schmelzanschrägung oder ohne Anschrägung festgestellt wurde.

Die Kavität sah approximal birnenförmig mit deutlich abgerundeten Ecken aus, um Bereiche mit erhöhtem Stress während der Polymerisation zu vermeiden. Unabhängig von der Kavitätenform wurde ein Mikroleakage im Dentin beobachtet (Santini et al. 2004). Am Schluss erfolgte das Finieren der gesamten Kavität mit Diamanten (rot, Birne lang 010, Komet). 2008 haben Ermis et al. festgestellt, dass die Körnung des Schleifkörpers keinen Einfluss auf die Verbundfestigkeit im Dentin hat, außer beim ultramilden Ein-Schritt-Adhäsiv (Clearfil S3 Bond). Laut dieser Studie ist der adhäsive Verbund bei diesem Ein-Schritt-Adhäsiv unter Verwendung geringkörniger Schleifkörper besser. Etch-and-Rinse-Adhäsive brachten hohe Zugfestigkeitswerte (58 - 69 MPA), unabhängig von der Körnung des Schleifkörpers. Unabhängig vom Säuregehalt der Adhäsive zeigten alle Adhäsive eine gleich effektive Durchdringung der Schmierschicht von 0,9 - 2,6  $\mu$ . Je grobkörniger der Schleifkörper gewählt wird, desto dicker ist die Schmierschicht (Tani und Finger, 2002).

#### 5.1.4 Applikationsweise der Adhäsive

Um einen Verbund zwischen Schmelz und Kompositfüllung und zwischen Dentin und Kompositfüllung im Seitenzahnbereich zu erzielen, wurden verschiedene Adhäsive angewendet: 1- und 2- Flaschen, Etch-and-Rinse und selbstkonditionierende Systeme. Die Kavitäten wurden, entsprechend der Herstellerangaben bzw. des für jedes Material einzeln festgelegten Protokolls, mit den Haftvermittlern vorbehandelt (Tab.2).

In dieser Studie wurden die Adhäsive in Verbindung mit der Moist-Bonding-Technik angewandt. Nach gründlichem Spülen mittels Wasserspray und Trocknen entsprechend der Moist-Bonding-Technik (3 s lang aus 10 cm Entfernung vorsichtig trocken blasen; Helbig et al. 2005) bleibt das Dentin feucht. Durch die Feuchtigkeit im Dentin wird ein Kollabieren des Kollagenfasergeflechtes verhindert, die freigelegten Kollagenfasern bleiben aufgerichtet und es kann eine ausreichende Monomerpenetration durch Verdrängung des Wassers stattfinden (Haller, 1994). Danach wurde das Adhäsiv in die Kavität-

tenwände einmassiert. Das aktive Auftragen des Adhäsivs (Brushing) erzeugt eine höhere Mikrozugfestigkeit als das passive Auftragen; durch ständige Irritation wird die Schmierschicht verdrängt oder aufgelöst, daraus resultiert eine dicke Hybridschicht und ein Aufrichten der Kollagenfasern (Chan et al. 2003). Die mikroskopische Untersuchung zeigt eine bessere Diffusion des Adhäsivs in der Grenzzone bei Applikation mit dem Mikrobrush verglichen mit dünnem Pinselchen (Vichi et al. 2002).

Ein weiterer sehr wichtiger Faktor für den adhäsiven Verbund ist die Einwirkzeit der Adhäsive. Die Applikationszeiten der verschiedenen Adhäsive waren unterschiedlich (s.Tab 1). Dentinadhäsive benötigen eine Einwirkzeit von mindestens 20 s zur Penetration der mit Dentinkonditionierer oder selbstkonditionierendem Dentinprimer aktivierten Dentinoberfläche (Lutz et al. 1993). Für die Verbundfestigkeit spielt die Trockentechnik (Luftblastechnik) auch eine Rolle (Bonilla et al. 2003). Das Verblasen des Adhäsivs soll sanft erfolgen, um einerseits eine polymerisationshemmende Sauerstoffanreicherung zu vermeiden und andererseits durch eine starke Ausdünnung des Adhäsives die Polymerisation nicht zu gefährden (Lutz et al. 1993). Für die Verbundfestigkeit erscheint eine Lufttrocknung über fünf Sekunden für alle Adhäsivsysteme geeignet zu sein (Chiba et al. 2006).

#### 5.1.5 Legen der Füllung

Alle Füllungen in dieser Studie wurden inkrementweise gelegt. Die maximale Schichtstärke der Kompositinkremente war 1 mm. Um die vollständige Durchhärtung des Füllungsmaterials zu gewährleisten, darf die Schichtstärke jedes einzelnen Inkrementes die 2 mm-Grenze nicht überschreiten (Ernst et al. 2000). Mit der Inkrementtechnik sollen die Auswirkungen der Polymerisations-schrumpfung gemindert werden (Lutz et al. 1992). Das inkrementweise Legen der Kompositfüllung reduziert signifikant das Mikroleakage (Owens und Johnson, 2005).

In dieser In-vitro-Studie wurde ohne Matrize (freies Modellieren mit der Hand) gearbeitet. In vivo lässt sich diese Technik bei Klasse-II-Kavitäten nicht durchsetzen. An den zervikalen Rändern sowohl im Schmelz als auch im Dentin

wurden bessere Ergebnisse erzielt, wenn Adhäsive vor dem Matrizenlegen appliziert wurden. Anhand der Ergebnisse dieser Studie wird empfohlen, die Adhäsive vor dem Matrizenlegen zu applizieren (Ernst et al. 2004).

#### 5.1.6 Polymerisation

In dieser Studie erfolgte die Zeit der Aushärtung des Adhäsivs nach Herstellerangaben. Jede Kompositschicht wurde 40 s mit der Polymerisationslampe Astralis 7 (Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, Jagst, D) ausgehärtet. Die Durchhärtung in der Tiefe wird maßgeblich von der Bestrahlungszeit bestimmt. Die Konversionsrate nimmt mit zunehmender Tiefe rasch ab. Die Standardbestrahlungszeit ist 40 s. Mit 80 s Bestrahlungszeit wird an der Oberfläche die maximale Härte erreicht sowie eine oberste Schicht von 1 mm Dicke zu 100% durchgehärtet (Lutz et al. 1992). Auch wenn durch die immer auftretende Sauerstoffinhibitionsschicht eine Polymerisation oft erschwert ist, gilt die Prämisse der separaten Polymerisation bei der direkten Adhäsivtechnik noch immer (Frankenberger, 2006).

Die Polymerisationslampe sollte möglichst nah an die Füllung gehalten werden. Die Vergrößerung des Abstandes zwischen Lichtaustrittsfenster und Kompositmaterial auf bis zu 6 mm kann durchaus eine Reduktion der Lichtleistung auf 60% bewirken (Ernst et al. 2000). Nicht nur die richtige Schichtungs- und Aushärtungstechnik, sondern auch die verwendeten Lichtpolymerisationsgeräte spielen in Bezug auf Lebensdauer und initiale Durchhärtung der zahnfarbenen Restaurationen eine entscheidende Rolle (Danesh et al. 2001). Unabhängig von den Lampen (LED und HL) ist die Verbundfestigkeit bei Self-Etch-Adhäsiven gleich (Korkmaz und Attar, 2007). Die Ergebnisse, bezogen auf das Mikroleakage, waren bei LED und Halogenlampen gleich, nur bei Anwendung von LED-Lampen stellt sich eine deutliche Zeitverkürzung ein, was sich in der Praxis als sehr positiv erwiesen hat (Attar und Korkmaz, 2007). Ungenügende Polymerisation beeinflusst die Materialeigenschaften nachteilig, so dass eine erhöhte Verfärbungstendenz, reduzierte physikalische Eigenschaften, erhöhter Restmonomeranteil und erhöhte Wasseraufnahme die Folgen sind (Cademaro et al. 2005). Der Randschluss, die

Verschleissfestigkeit und Farbstabilität und weitere physikalische und funktionelle Eigenschaften hängen entscheidend von einer kompletten initialen Durchhärtung des Komposits ab (Lutz et al. 1992). Verlängerte Bestrahlungszeit steigert die Härte bei allen Adhäsiven (Breschi et al. 2007).

#### 5.1.7 Politur

Um Artefakte für die rasterelektronenmikroskopische Randanalyse zu vermeiden, wurden die approximalen Füllungsflächen unter direkter Sicht und anschließend unter Kontrolle des Auflichtmikroskopes bei 8-12,5facher Vergrößerung mit flexiblen Polierscheiben in absteigender Korngröße ausgearbeitet. Diese Voraussetzung hat man in vivo nicht, weil die Nachbarzähne dies verhindern.

#### 5.1.8 Wasserlagerung

Während der gesamten Studie wurden die Probenzähne im Wasser gelagert. Dies entspricht den feuchten Verhältnissen in der Mundhöhle und simuliert die hygroskopische Expansion und die dadurch bedingten Degradationsprozesse (Hannig et al. 1994, Malacarne et al. 2006). Die Wasserlagerung verringert bei den meisten Dentinadhäsiven die Haftfestigkeit. Nach einem Jahr Wasserlagerung reduzierte sich die Verbundfestigkeit der meisten Adhäsive (Garcia et al. 2007). Osorio et al. (2008) stellten fest, dass die Self-Etch-Adhäsive, die als Lösungsmittel Wasser oder Aceton enthalten, nach einem Jahr Wasserlagerung katastrophale Mißerfolge an den Verbundzonen aufwiesen und dass die Widerstandsfähigkeit zur Degradation des Dentin-Kunststoff-Verbundes vom Material abhängig ist.

#### 5.1.9 Künstliche Alterung

##### **5.1.9.1 Thermische Wechselbelastung**

Durch die Nahrungszufuhr sind die Zähne in der Mundhöhle ständig Temperaturschwankungen ausgesetzt. Da die Zahnhartsubstanz und das

Kompositmaterial unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten haben, treten in der Grenzfläche Zugspannungen auf, was - je nach Qualität des adhäsiven Verbundes - zu Randspalten führen kann (Haberkorn, 2006).

Die thermische Wechselbelastung wurde in einem Thermocycling-Gerät durchgeführt, in dem die Proben 2500 Zyklen unterzogen wurden. Die Temperaturdifferenz lag zwischen 5 und 55 Grad Celsius, wobei die Maximal- und Minimaltemperatur jeweils für 70 s gehalten wurde (Krejci et al. 1999, Hannig und Bott 2000, Scep et al. 2001, Frankenberger et al. 2003, Haberkorn, 2006). Eine Temperaturdifferenz von 50 Grad Celsius über 2500 Zyklen wird als ausreichend angesehen, um die den adhäsiven Verbund beeinträchtigende thermische Belastung zu simulieren (Lösche, 1991). Thermocycling verursacht eine Verschlechterung der marginalen Integrität (Kunzelmann et al. 1993, Hannig 1994, Kubo et al. 2004, de Alexandre et al. 2008). Die Ergebnisse in der vorliegenden Studie bestätigen diese Erkenntnisse.

#### **5.1.9.2 In-vitro-Kabelastung**

Durch eine okklusale Druckbelastung kann die Relevanz unzureichender mechanischer Eigenschaften des Füllungsmaterials für Ermüdungserscheinungen an der Verbundzone zur Zahnhartsubstanz aufgedeckt werden (Hannig und Bott, 2000). Die Häufigkeit des Misserfolges steigt mit der Anzahl der mechanischen Zyklenzahl (Dietschi et al. 2002). In der Literatur wurde angegeben, dass eine Belastung über eine Dauer von 500.000 mechanischen Kauzyklen einer Liegedauer in der Mundhöhle von ca. zwei Jahren entspricht, allerdings ohne den modulierenden Einfluss von Zahnbürsten- und Zahnpastaabrasion sowie chemischer Degradation zu berücksichtigen (Krejci et al. 1990, 1991).

In dieser Studie wurden die Proben einer okklusalen Belastung in einem kommerziell verfügbaren Kaukraftsimulator (Fa. Willytech) ausgesetzt. Die einwirkende Kraft betrug 70 N über 200.000 Zyklen. Krejci (1990) hat einen Kaukraftsimulator entwickelt, welcher gleichzeitig die mechanische okklusale Belastung und den Temperaturstress in der Mundhöhle simuliert. Ein Gummipuffer, der 15° zur Horizontalen geneigt ist, verband die Probenkammern mit dem Basissockel. Er übernahm die Funktion des ligamentären Puffers des

Zahnes in der Alveole. In dieser Studie wurde der ligamentäre Puffer nicht berücksichtigt. „Als physiologisch wahrscheinliche Kräfte während der Nahrungszerkleinerung bzw. während des Schluckens können Werte zwischen 20 und 160 N angenommen werden (Eichner, 1963, DeBoever et al. 1978). Anderson (1956) und Eichner (1963) schränken diesen Bereich aufgrund von Messungen mittels eines Dehnmessstreifens auf Kaukräfte bis 50 N ein, die auf einen einzelnen Zahn wirken“, zitiert nach Krejci (1990).

Als Gegenzahn wurden menschliche Prämolarenhöcker verwendet. Es wurde nachgewiesen, dass das Verschleissverhalten von Restaurationen von der Beschaffenheit der Antagonisten abhängt. Die Metallstempel ergaben beim Test eine viel geringere Abrasion. Für künftige Routinetests müssen somit Schmelzhöcker als Gegenzahnstempel eingesetzt werden (Krejci et al. 1990).

#### 5.1.10 Quantitative Randanalyse im REM

Quantitative REM-Randanalyse und Farbstoffpenetration sind bewährte Standardmethoden zur Beurteilung der Randqualität von Füllungen (Haller und Herzog, 1998). Errechnet wurden für jeden Versuchszahn die prozentualen Anteile der einzelnen Kriterien im Verhältnis zur Gesamtlänge des Füllungsrandes im Dentin bzw. im Schmelz. Mit der Anfertigung von Replikamodellen besteht die Möglichkeit, jede einzelne Probe vor und nach den Belastungstests beurteilen zu können. Auf diese Weise werden die Proben nicht zerstört und können nach jeder Belastung separat ausgewertet werden. Dagegen ist bei einer Betrachtung der Originalproben im REM unter der Einwirkung eines Hochvakuums mit artifiziellen Rissen und Spalten in den Zahnhartgeweben und Füllungsmaterialien oder an deren Grenzflächen zu rechnen (Reinhardt et al. 1984). Die Replikas wurden bei 400facher Vergrößerung ausgewertet. Nach Berechnung des prozentualen Anteils der definierten Randkriterien (Perfekter Rand, Unregelmäßiger Rand, Haarriss, Randspalt) an der Gesamtlänge der Füllungsrande wurden die ermittelten Werte statistisch analysiert (Haberhorn, 2006). In der Literatur wurde auch die Methodik der quantitativen Randanalyse mit Hilfe eines optischen Sensors beschrieben. Die Vorteile dieser Methode gegenüber der Rasterelektronenmikroskopie sind:

- 1) -Zeitersparnis (das Suchen und Finden vom Spalt erfolgt mit einer Software).
- 2) -Unabhängigkeit von der Erfahrung des Behandlers.
- 3) -Im Gegensatz zur Rasterelektronenmikroskopie können zusätzliche Informationen zur Spaltbreite und -tiefe (dreidimensional durch Software) gewonnen werden (Heintze et al. 2005).

#### 5.1.11 Interne Adaptation - Farbstoffpenetration

Die Randspaltbildungen im Bereich des Füllungsrandes lassen sich mit Hilfe der Rasterelektronenmikroskopie feststellen. Die Spalten an einer inneren Grenzfläche bleiben bei dieser Methodik unberücksichtigt. Aus diesem Grund ist eine Analyse der internen Adaptation für die Beurteilung der Randqualität in der Tiefe von Bedeutung. Zur Untersuchung der inneren Grenzfläche wurde ein Farbstoffpenetrationstest durchgeführt. Als Farbstoff wurde 0,5 %ige Methylblaulösung verwendet. In der Literatur sind verschiedene Materialien (Tinte, Fuchsinlösung) mit verschiedenen Konzentrationen als Farbstoff beschrieben. Die verschiedenen chemophysikalischen Eigenschaften der Lösungen könnten auch das Ergebnis der internen Adaptation beeinflussen (Hannig und Fu 2001). Nach 24 h Lagerung in Farbstofflösung wurden die Probezähne mit einer Säge in zwei Hälften geteilt, mit Hilfe einer Digitalkamera fotografiert und anschließend hinsichtlich der Farbstoffpenetration beurteilt. Der Nachteil des Farbstoffpenetrationstests besteht darin, dass die Proben für die Auswertung zerstört werden müssen und Wiederholungsuntersuchungen nicht mehr möglich sind.

Die Bestimmung der Farbpenetrationsgrade unterlag einer starken Streuung, weil die Auswertung an zufällig ausgewählten Abschnitten der Füllung erfolgte. Beim Anlegen der Schnittfläche in einem anderen Bereich könnten evtl. andere Werte festgestellt werden. Es wurde von zwei Hälften nur der schlechtere Wert bei der Auswertung der Ergebnisse berücksichtigt (Haller und Günther, 1998). Deswegen konnte keine Übereinstimmung zwischen den REM-Ergebnissen und den Farbstoffpenetrationsdaten in der vorliegenden Studie festgestellt werden. So ließ sich in der Gruppe D, die den höchsten An-

teil spaltfreier Adaptation bei der REM-Analyse aufwies, dennoch eine Farbstoffpenetration nachweisen. Dies kann durch das Phänomen des „Nanoleakage“ erklärt werden. Es ist eine Form von Undichtigkeit an den dentinbegrenzten Rändern, die als Folge der Säureätzung auftritt. Bei einer folgenden ungenügenden Infiltration des Primers entstehen Porositäten innerhalb der Hybridschicht, die eine Farbstoffpenetration zulassen, ohne dass ein Randspalt vorliegt (Diez, 2004).

Denkbar ist außerdem, dass auch intakte Adhäsivschichten, abhängig von den hydrophilen bzw. hydrophoben Eigenschaften einerseits und der von der Polarität der Farbstoffmoleküle abhängigen Aufnahme des Farbstoffs in die Adhäsivschicht andererseits mit dem Farbstoff markiert werden (Haberkorn 2006).

## **5.2 Ergebnisse**

In dieser Studie wurden fünf Self-Etch- und zwei Etch-and-Rinse-Adhäsivsysteme hinsichtlich des Randschlussverhaltens sowohl im Schmelz als auch im Dentin untersucht. Alle Adhäsive wurden exakt nach Herstellerangaben und einer Moist Bonding-Technik aufgetragen.

### 5.2.1 Füllungsrandanalyse bei Anwendung unterschiedlicher Adhäsive

#### **5.2.1.1 Gruppe D: OptiBond FL**

OptiBond FL ist ein Drei-Schritt Etch-and-Rinse-Adhäsiv. Bei den Etch-and-Rinse-Systemen wird die Zahnhartsubstanz mit 37%iger Phosphorsäure angeätzt und nach 20-30s Einwirkzeit mit Wasser abgesprüht. Damit wird ein gutes retentives Ätzmuster im Schmelz erreicht.

OptiBond FL zeigte erwartungsgemäß ein gutes Randschlussverhalten in schmelzbegrenzten Kavitäten. Sein Anteil perfekter Ränder im Schmelz lag nach dem Legen der Füllung bei 92,2% und war am höchsten im Vergleich mit den anderen untersuchten Gruppen. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in der Studie von Blunck und Roulet (1997) festgestellt, wobei der Anteil spaltfreien Randes bei 96% lag. Die thermische und mechanische Kaubelastung ver-



schlechterten die Randqualität nicht signifikant, wobei vor der Belastung kein Randspalt gefunden wurde. Der Vorteil der Drei-Schritt-Applikation liegt darin, dass der Primer als dünnfließende, benetzende Lösung allein die Aufgabe hat, in das freigelegte Kollagennetzwerk einzudringen, erst die anschließende Applikation des etwas visköseren und wie im Falle des OptiBond FL auch gefüllten Adhäsivs stabilisiert das Netzwerk. Dadurch besteht eine größere Sicherheit, bis in die tiefsten demineralisierten Bereiche der konditionierten Oberfläche einzudringen. Diese Gruppe zeigt eine hohe Zuverlässigkeit. Es fallen dabei vor allem für das Präparat OptiBond FL geringe Schwankungen der Messwerte auf, die dazu geführt haben, dass dieses Produkt international in Studien häufig als Referenzprodukt eingesetzt wird (Haller und Blunck, 2003).

In den dentinbegrenzten Kavitäten konnte allerdings im Vergleich zu anderen untersuchten Gruppen eine erhöhte Randspaltbildung festgestellt werden. Der Anteil perfekter Ränder lag schon vor der Belastung nur bei 39,4%. Dieser reduzierte sich unter mechanischer Belastung statistisch signifikant auf 4,3%. Dieses unerwartet schlechte Ergebnis im Dentin könnte mit einer ungenügenden Einwirkzeit des Primers erklärt werden. In vergleichbaren Studien wurde der Opti Bond FL Primer 30s lang einmassiert, während in dieser Studie der Primer entsprechend der aktualisierten Herstellerangaben nur 15s lang appliziert wurde. Dadurch ist der Primer möglicherweise nicht vollständig in das freigelegte Kollagennetzwerk eingedrungen, was zu einem ungenügenden adhäsiven Verbund und einer vermehrten Randspaltbildung führte (Haberkorn 2006).

#### **5.2.1.2 Gruppe F: Adper Scotchbond 1XT**

Zur Vereinfachung der Anwendung wurden Primer-Adhäsive entwickelt, die auch als „Ein-Flaschen-Adhäsive“ in Kombination mit der Totalätztechnik beschrieben werden. Zu dieser Gruppe gehört das Adhäsiv Adper Scotchbond 1XT. Die Funktion des Primers und des Adhäsivs ist hierbei in einer Lösung zusammengefasst. Der Anteil perfekten Randes betrug bei dieser Gruppe an den schmelzbegrenzten Rändern vor der Belastung 66,9%. Die thermische

und mechanische Belastung führte zu einer signifikanten Verschlechterung des Wertes. Am Dentin war mit nur 13,3% ein vergleichsweise kleiner Anteil von perfekten Rändern bereits nach der Fertigstellung der Restauration festzustellen. Auffällig war, dass sich der Anteil des Randspaltes nach der thermischen Wechselbelastung reduzierte und dass der Wert des unregelmäßigen Randes zunahm. Die Quellung der Kunststoffmatrix wäre eine Erklärung für die Verbesserung des Füllungsrandeschlusses nach der Belastung. Der Effekt der Wasserquellung von Kompositfüllungen hat allerdings nur eine geringe Relevanz für die Verbesserung des Randschlusses (Hannig et al. 1994).

Haftfestigkeitsmessungen zeigen für die Zwei-Schritt-Totalätzsysteme geringere Haftwerte und stärkere Schwankungen der Messwerte im Vergleich zu den Drei-Schritt-Systemen (Haller und Fritzenschaft, 1999, Frankenberger 2002). Zwei-Schritt Etch-and-Rinse-Adhäsive sind außerdem techniksensitiver. Ein nicht adäquates Trocknen, verbliebene Reste von Lösungsmittel sowie Adhäsivüberschuß in den Kavitätenecken können zu einer schlechteren marginalen Integrität führen. Die Drei-Schritt Etch-and-Rinse-Adhäsive können durch zwei getrennte Schritte Fehler kompensieren, wobei der letzte Schritt eine weniger optimale Adhäsivinfiltration kompensiert (Shirai et al. 2005). Die Ergebnisse in der vorliegenden Studie decken sich mit diesen Erkenntnissen, dass die Vereinfachung von Arbeitsschritten mit Qualitätseinbußen einhergehen kann (Haller und Fritzenschaft, 1999, Lang et al. 2001, Diez 2004).

Für die schlechteren Werte im Dentin könnte auch die Feuchtigkeit des Dentins verantwortlich sein. Zu starke Dentinaustrocknung nach der Ätzung und dem Abspülen der Phosphorsäure führt zum Kollabieren oder Verklumpen der Kollagenfasern. Durch den Verschluss der interfibrillären Hohlräume wird die Monomerpenetration in das demineralisierte Dentin und damit die Ausbildung der Hybridschicht verhindert. Eine ausreichende Monomerpenetration in das wasserhaltige Kollagengeflecht findet jedoch nur statt, wenn das zunächst belassene Wasser durch ein geeignetes Lösungsmittel verdrängt wird. Die Bondingssysteme (OptiBond FL, Adper Scotchbond 1XT) mit Wasser/Alkoholgemischen als Lösungsmittel besitzen je nach Wassergehalt „Re-

Wetting“- Eigenschaften, während die Flüchtigkeit durch den Alkoholanteil verbessert wird. Das im Lösungsmittel enthaltene Wasser bewirkt eine (teilweise) Wiederaufrichtung der kollabierten Kollagenfasern mit erneuter Öffnung der interfibrillären Poren. Dieser „Intrinsic Re-Wetting Effekt“ dürfte die Erklärung dafür sein, dass das Moist-Bonding bei wasserhaltigen Präparaten zu keiner Verbesserung der Haftfestigkeit führte (Haller und Fritzenchaft, 1999). Die in dieser Studie angewandte Moist – Bonding-Technik scheint auch bei den untersuchten Etch-and-Rinse-Adhäsiven, wie OptiBond FL und Adper Scotchbond 1XT keine Verbesserung der marginalen Integration im Dentin verursacht zu haben. Bei hohem Äthanolgehalt, wie bei Adper Scotchbond 1XT, ist ebenfalls auf eine ausreichende Feuchtigkeit des Dentins zu achten (Haller und Blunck 2003).

Im Gegensatz zur konventionellen Säureätztechnik mit 37%iger Phosphorsäure kamen in den Versuchsgruppen A (Merz Testprodukt), B (AQ Bond), C (Adper Prompt L-Pop), E (Hybrid Bond) und G (Opti Bond Solo Plus) Denti-nadhäsive mit selbstätzenden Primern zum Einsatz. Das gleichzeitige Ätzen und Primern des Dentins stellt einen Vorteil gegenüber den Etch-and-Rinse-Systemen dar. Die Anwendung ist weniger techniksensitiv und die erzielte Dentinhaftung weniger behandlerabhängig (Haller und Blunck, 2003). In der Studie von Giachetti (2008) wurde der Einfluss auf das Mikroleakage durch den Behandler untersucht. Hierbei wurden auch das Self-Etch-Adhäsiv Adper Prompt L Pop (APLP) und das Etch-and-Rinse-Adhäsiv Adper Scotchbond 1XT (AS 1XT) verglichen. Das Mikroleakage war am Dentinrand ähnlich wie in der vorliegenden Studie (APLP 28,9% und AS 1XT 31,1%) und vom Behandler unabhängig. Am Schmelz war das Mikroleakage bei verschiedenen Behandlern unterschiedlich.

### **5.2.1.3 Gruppe C: Adper Prompt L-Pop (APLP)**

APLP gehört zu den Self-Etch-Adhäsiven, wobei das Anätzen der Zahnhartsubstanz durch die Phosphatreste in den sauren Monomeren erfolgt. APLP ist ein so genanntes All-in-one-Adhäsiv, das heißt es sind alle drei Schritte (Kon-

ditionieren, Priming, Bonding) vereinigt und es wird in einer Lösung appliziert. In dieser Studie wies APLP einen hohen Anteil perfekter Ränder am **Schmelz** von 67,3% vor der Belastung auf. Das Ätzpotenzial von Self-Etch-Adhäsiven ist niedriger als das der Phosphorsäure, aber einige Self-Etch-Systeme, speziell diejenigen, die Phosphatderivate enthalten, erzielten Ergebnisse, die nahe dem Phosphorsäureergebnis liegen, wie z.B. auch APLP (Di Hipolito et al. 2005, Gregoire und Ahmed, 2007, Perdigao et al. 2005, 2008). Die thermische und mechanische Belastung führte zu einer signifikanten Verschlechterung der perfekten Ränder. Der perfekte Rand sank auf 45,9% nach thermischer Wechselbelastung und weiter auf 28,2% nach mechanischer Belastung. Auch in vergleichbaren Studien zeigten All-in-one-Adhäsive im Schmelz zunächst eine ähnlich gute Randschlussqualität wie Etch-and-Rinse-Systeme; nach thermischer und mechanischer Belastung jedoch schneiden die selbstkonditionierenden Systeme wesentlich schlechter ab (Frankenberger et al. 2004, Blunck und Zaslansky, 2007, Perdigao et al. 2007, Ernst et al. 2008). Self-Etch-Adhäsive weisen verglichen mit Total-Etch-Adhäsiven auch eine signifikant schlechtere Mikrozugfestigkeit des Komposit-Schmelz-Verbundes auf (Goracci et al. 2004).

In dieser Studie wurde ein sehr geringer Anteil perfekter Ränder (17,5%) schon nach der Fertigstellung der Restauration am **Dentin** festgestellt. Nach der thermischen und mechanischen Belastung nahm der Wert des perfekten Randes signifikant ab. In der Studie von Brackett et al. (2006) wurde ein signifikant größeres Leakage bei APLP als bei den Etch-and-Rinse-Produkten entlang des Schmelzrandes festgestellt, aber entlang des Dentinrandes gab es keinen signifikanten Unterschied. APLP zeigte in verschiedenen Studien nach Thermocycling eine signifikante Verschlechterung der Randqualität im Vergleich zu OptiBond FL, AQ Bond und Hybrid Bond (Blunck und Zaslansky, 2007, Perdigao et al. 2007). In der vorliegenden Studie sind vergleichbare Ergebnisse erzielt worden. Atash und van den Abbeele (2005) stellten in ihrer Studie fest, dass die Scherfestigkeit bei Anwendung von APLP im Schmelz 15 MPa, im Dentin 10 MPa, die Zugfestigkeit im Schmelz 10 MPa und im Dentin 7 MPa beträgt. Miranda et al. (2006) stellten hingegen eine größere Scherfestigkeit am Schmelz (25,96 MPa) fest. Die größeren Zug- und

Scherfestigkeitswerte am Schmelz könnten die bessere Randadaptation am Schmelz als am Dentin in dieser Studie erklären.

Es wurde berichtet, dass eine längere und häufigere Applikation von selbstätzenden Primern zu einer Verbesserung des Randschlusses und zu einer erhöhten Haftfestigkeit führen kann (Hannig und Fu 2001, Reis et al. 2008). Bei der Doppel-Applikation erreichte APLP die höchste Mikrozugfestigkeit im Dentin (Albuquerque et al. 2008). Die mittlere APLP-Bondfestigkeit bei einmaliger Applikation war 22,7 MPa, bei der Doppelapplikation 29,5 MPa. Nakaoki et al. (2005) fanden aber keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen einmaliger und Doppelapplikation, bezogen auf die Mikroscherfestigkeit.

Je nach Wirkungsmechanismus des verwendeten Dentinhaftvermittlers kommt es nach der Dentinkonditionierung zu einer erhöhten Permeabilität des Dentins, die in einer Reduktion der Haftkraft resultieren kann (Gernhardt et al. 2001). Gregoire et al. (2003) untersuchten die Dentinpermeabilität bei Anwendung von Self-Etch-Adhäsiven. Die höchste Verbundfestigkeit und erhöhte Reduktion der Permeabilität des Dentins war bei den aceton-, bzw. ethanolhaltigen Adhäsiven festzustellen, während sich schlechtere Verbundfestigkeiten bei den wasserhaltigen Adhäsiven (APLP) fanden. APLP kann auch durch seine stark sauren Eigenschaften polymerisationshemmend auf die Monomere des Adhäsives wirken. Für die vergleichsweise schlechtere Verbundfestigkeit bei Anwendung von APLP am Dentin werden außerdem folgende Faktoren verantwortlich gemacht:

- 1) Unvollständige Benetzung
- 2) Insuffiziente Adhäsivdicke
- 3) Phasentrennung zwischen hydrophilen und hydrophoben Komponenten mit erhöhter Hydrolyseanfälligkeit (Shirai et al. 2005).

Bei den selbstkonditionierenden Dentinprimern mit hohem Wassergehalt (APLP 70-80 Gew. % Wasser im Blister) kann allerdings beim Moist-Bonding ein „Overwetting“ mit Herabsetzung der Haftfestigkeit entstehen (Tay et al. 2002, Chiba et al. 2006). Dies könnte die geringeren Werte der marginalen Integrität von APLP in dieser Studie erklären.

Die Zeit der Polymerisation spielt auch eine entscheidende Rolle für den dichten Randschluss. Ein-Schritt-Adhäsive sind permeable Membranen. Bei der

verzögerten oder nicht vollständigen Polymerisation entstehen Hohlräume in der Kunststoffmatrix, die unpolymerisierten Kunststoff oder Wasser enthalten (Tay et al. 2002b).

Die Anwendung eines fließfähigen Komposites (Flowable) vor der Applikation der Kompositfüllung soll die Dichtigkeit der aktuellen Adhäsive verbessern, wobei dies nur bei APLP als bestätigt gilt, für andere Adhäsive sind weitere klinische Studien notwendig (Gueders et al. 2006). Brackett et al. (2005) stellten in ihrer Studie fest, dass das Nanoleakage von APLP bei Applikation einer zusätzlichen Bondingschicht geringer ist.

#### **5.2.1.4 Gruppe A: Merz Testprodukt**

Das Testprodukt der Gruppe A gehört zu den selbstätzenden All-in-one-Adhäsiven. Dieses Produkt zeigte extrem schlechte Ergebnisse am Schmelz. Initial lag der perfekte Rand nur bei 9,2%. Nach der thermischen Wechselbelastung nahm der Wert auf 4,0% ab. Randspalten traten schon nach der Fertigstellung der Restauration auf 57,2% der untersuchten Randlänge auf. Die mechanische Druckbelastung führte zum Herausbrechen und Verlust einer Füllung und damit zu einem schlechteren Durchschnitt der Werte. Der Randspalt betrug 83,6%. Es gab keinen perfekten Rand mehr.

Das Testprodukt zeigte am Dentin geringfügig bessere Werte als am Schmelz. Vor der Belastung lag der perfekte Rand bei 24,1%, der Randspalt bei 31,7%. Der Anstieg der unregelmäßigen Ränder nach der thermischen Wechselbelastung könnte mit einer Quellung des Adhäsivs erklärt werden. Die thermischen und mechanischen Belastungen führten zu keiner signifikanten Verschlechterung der marginalen Integrität.

#### **5.2.1.5 Gruppe B: AQ Bond**

Gruppe B gehört zu den selbstätzenden All-in-one-Adhäsiven. Das Adhäsiv zeigte hohe Anteile an perfekten Rändern am Schmelz vor der Belastung 79,3%. Der Randspalt lag initial nur bei 5,7%. Infolge der thermischen und mechanischen Belastung verschlechterte sich das Randschlußverhalten signifikant. Für die gute marginale Adaptation am Schmelz könnte bei AQ Bond

dessen saurer pH Wert von 2,5 verantwortlich sein. Eine Studie von Miyazaki et al. (2002) zeigte eine niedrigere Verbundfestigkeit von AQ Bond am Schmelz als bei Prompt L-Pop; am Dentin aber waren die Verbundfestigkeiten beider Produkte ähnlich. In dieser Studie hatte AQ Bond sowohl am Schmelz als auch am Dentin ein besseres Randschlussverhalten als Adper Prompt L Pop.

Die Ergebnisse am Dentin waren deutlich schlechter als am Schmelz. Der Anteil der perfekten Ränder lag initial bei 38,8%, der des Randspaltes bei 25,4%. Die Belastungen führten zu keiner signifikanten Verschlechterung der Werte am Dentin. In der Studie von de Munck et al. (2003 b) wurde die Mikrozugfestigkeit von AQ Bond am Schmelz mit 10,3 MPa und am Dentin mit 15,5 MPa angegeben. Diese Daten stehen im Gegensatz zur vorliegenden Arbeit, in der bei Verwendung von AQ Bond eine bessere Randqualität am Schmelz als am Dentin erzielt wurde.

#### **5.2.1.6 Gruppe E: Hybrid Bond**

Gruppe E gehört auch zu den All-in-one-Adhäsiven. Das Randschlussverhalten war am Dentin besser als am Schmelz. Der Anteil perfekter Ränder am Schmelz betrug nach der Fertigstellung der Restauration 28,1%, der Anteil des Randspaltes 17,5%. Nach der mechanischen Belastung nahm der perfekte Rand signifikant ab.

Die Gruppe E erreichte die beste marginale Integrität am Dentin. Der Anteil der perfekten Ränder lag nach der Applikation des Füllungsmaterials am höchsten (68,7%) im Vergleich zu den anderen untersuchten Gruppen. Initial konnte nur ein Randspalt in der Höhe von 10,6% festgestellt werden. Die thermische Wechselbelastung führte zur statistisch signifikanten Verschlechterung des Randschlussverhaltens. Der Prozentanteil des perfekten Randes sank auf 21,7%. Dieser Wert lag aber immer noch höher als bei den anderen Gruppen nach den thermischen und mechanischen Belastungen. Für die guten Ergebnisse am Dentin sind die Bestandteile des Adhäsives verantwortlich. Hybrid Bond enthält als wichtigen Bestandteil 4-META, ein Monomer, das in Wasser zur Dicarbonsäure 4-MET hydrolysiert. Das saure funktionelle Mono-

mer konditioniert und penetriert gleichzeitig die Zahnoberfläche. Als Folge davon bildet sich eine stabile Hybridschicht, die einen guten adhäsiven Verbund am Dentin gewährleistet (www.j.morita-europe.de). Die Wirkung dieses Monomers auf das Dentin wurde vor mehr als zwanzig Jahren von dem Japaner Nobuo Nakabayashi entdeckt (Peters, 2004)

#### **5.2.1.7 Gruppe G: Opti Bond Solo Plus**

Die Gruppe G zeigte das schlechteste Randschlussverhalten im Vergleich zu den anderen untersuchten Gruppen, sowohl am Schmelz als auch am Dentin. Ein perfekter Rand konnte nur auf 7,1% der Randlänge am Schmelz vor der Belastung festgestellt werden. Der Randspalt lag initial schon bei 56,5 %. Da durch mechanische Belastung zwei Füllungen herausgefallen sind, verschlechterte sich der Wert des Randspaltessignifikant auf 76,8%.

Am Dentin konnte nur 10,1% an perfekten Rändern festgestellt werden. Der Randspalt lag nach dem Legen der Füllung bei 33,2%, außerdem wurden auf 42,3% der untersuchten Randlänge Haarrisse detektiert. Die thermischen und mechanischen Belastungen reduzierten den Anteil des perfekten Randes signifikant bis 0,4%. Atash und van den Abbeele (2005) stellten in ihrer Studie fest, dass die Scherfestigkeit bei Anwendung von Opti Bond Solo Plus am Schmelz 13 MPa und am Dentin 15 MPa sowie die Zugfestigkeit am Schmelz 12 MPa und am Dentin 10 MPa beträgt. Diese vergleichsweise geringen Werte bezüglich der Zug- und Scherfestigkeit stehen im Einklang mit dem schlechten Randschlussverhalten, das in der vorliegenden Studie bei der Applikation von Klasse-II-Kompositfüllungen unter Anwendung von Opti Bond Solo Plus detektiert wurde.

#### 5.2.2 Vergleichende Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen schmelzbegrenzten Restaurationsränder

Der höchste Anteil perfekter marginaler Adaptation wurde in dieser Studie in der Gruppe D (Opti Bond FL) mit 92,2% gefunden. Dieser Wert war im Vergleich mit den Gruppen A (Merz Testprodukt), E (Hybrid Bond) und G (Opti Bond Solo Plus) signifikant höher. In den Versuchsgruppen B (AQ Bond



79,3%), C (Adper Prompt L Pop 67,3%) und F (Adper Scotchbond 1XT 66,9) konnten ebenfalls hohe Anteile von perfekten Rändern vor der Belastung nachgewiesen werden.

Trotz initial guter marginaler Adaptation bewirkte die Temperaturwechselbelastung eine Verschlechterung der Randqualität in allen Gruppen. Als Ursache für die schlechtere Randqualität nach Temperaturwechselbelastung ist der unterschiedliche thermische Ausdehnungskoeffizient von Zahn und Komposit (Schmelz  $11,4 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ , Hybridkomposit 25,8 bis  $44,1 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ ). Dadurch kommt es zu thermisch bedingten Spannungen und Randspaltbildungen (Lösche, 1992). Auch die mechanische Belastung führte zu einer weiteren signifikanten Verschlechterung des Randschlussverhaltens. Die thermische und mechanische Belastung beeinflussten jedoch deutlich weniger die Randqualität im Schmelz bei den Etch-and-Rinse-Systemen als bei den selbstätzenden Adhäsiven (Dalton Bittencourt et al. 2005). Shirai et al. (2005) stellten in ihrer Studie zu OptiBond FL eine Haftfestigkeit von 51,5 MPa nach einem Tag und 40,7 MPa nach einem Jahr Wasserlagerung fest. Adper Prompt L Pop wies hingegen im Vergleich zu OptiBond FL eine niedrigere Haftfestigkeit nach einem Tag in Höhe von 7,2 MPa und 3,2 MPa nach einem Jahr Wasserlagerung auf. Die mit All-in-One-Adhäsiven erzielbaren Verbundfestigkeiten werden negativ von der Wasserlagerung beeinflusst (Blunck und Zaslansky, 2007, Fabre et al. 2007). Bezüglich der Mikrozugscherfestigkeit sind Self-Etch-Adhäsive signifikant schlechter als Etch-and-Rinse-Adhäsive (Goracci et al. 2004). Das gleiche bestätigt auch Gueders (2006) in seiner Studie, in der das Mikroleakage nach dem Thermocycling bei Self-Etch-Systemen größer war als bei Etch-and-Rinse-Systemen. Unter den untersuchten Materialien waren auch die in dieser Studie verwendeten Materialien, wie Opti Bond Solo Plus, Adper Scotchbond 1XT, Adper Prompt L Pop. Die in der vorliegenden Studie erzielten Ergebnisse decken sich mit diesen Erkenntnissen. Das gute Randschlussverhalten bei Verwendung von OptiBond FL könnte auf den hohen Füllergehalt in der Adhäsivkomponente zurückgeführt werden. Die dadurch bedingte Ausbildung einer dickeren Adhäsivschicht wirkt als elastische Pufferzone und nimmt so Spannungen auf, die bei der Polymerisationsschrumpfung einerseits und bei der späteren thermischen Belastung

andererseits entstehen (Blunck und Roulet, 1997). Die chemische Zusammensetzung der Adhäsive wie etwa die Zugabe von HEMA zu ungefüllten Harzen (als ein hydrophiles Mittel) sowie die Füllstoffgröße und die Füllstoffverteilung in gefüllten Harzen könnte ein weiterer Faktor sein, der die Haftwerte beeinflusst (Frankenberger, 2002). Somit könnten auch die hohen Haftwerte und das gute Randschlussverhalten von OptiBond FL auf den hohen anorganischen Füllstoffgehalt (ca. 48 Gew.%) dieses Adhäsivs zurückgeführt werden.

Eine weitere Ursache, warum die selbstkonditionierenden Adhäsive nach den Belastungen schlechter abgeschnitten haben, könnte in dem schwächeren Ätzmuster am Schmelz liegen. Die mit selbstkonditionierenden Monomerlösungen erzeugten Ätzmuster und Kunststoff-Schmelz-Interaktionsmuster sind deutlicher schwächer ausgeprägt als bei der Phosphorsäure-Ätzung (Haller und Blunck, 2003, Van Meerbeek et al. 2005, Vicente et al. 2005). Die Konditionierung mit der Phosphorsäure steigert die Haftwerte im Schmelz (Kielbassa et al. 1999). Außer bei Adper Prompt L Pop (enthält eine aggressive Säure) bewirken die Self-Etch-Adhäsive eine weit geringere Oberflächenalteration des Schmelzes als das konventionelle Ätzen mit Phosphorsäure (Brackett et al. 2008). In vielen Studien wird die zusätzliche Benutzung von Phosphorsäure empfohlen (Sunfeld et al. 2005, Brackett et al. 2006, Rotta et al. 2007, Monticelli et al. 2008, Rathke et al. 2007, Erickson et al. 2008), um die Verbundfestigkeit von Self-Etch-Adhäsiven zu verbessern.

Carvalhos (2005) Studie beweist, dass bei Anwendung von selbstätzenden Adhäsiven eine morphologische Unstimmigkeit zwischen der Tiefe der Demineralisation und der Tiefe der Monomerinfiltration entsteht. Eine unvollständige Kunststoffinfiltration wurde bei einigen Self-Etch-Adhäsiven beobachtet. Sie könnte durch das reduzierte Ätzpotential der sauren Monomere am Boden der Hybridschicht oder durch die Anwesenheit von säurehaltigen, aber nicht polymerisierbaren hydrolytischen Monomeren, die verantwortlich für die Degradation der Adhäsivzone/Hybridschicht sind, verursacht werden.

### 5.2.3 Vergleichende Füllungsrandanalyse im Bereich der approximalen dentinbegrenzten Restaurationsränder

Der höchste Anteil perfekter Ränder wurde vor der Belastung in der Gruppe E (Hybrid Bond) mit 68,7% festgestellt. Die Gruppen B (AQ Bond, perfekter Rand 38,8%) und D (Opti Bond FL, perfekter Rand 39,4%) hatten im Vergleich mit anderen Gruppen auch einen besseren Ranschluss nach der Fertigstellung der Restauration. Die Gruppen A, C, F und G zeigten eine schlechtere marginale Adaptation am Dentin als die Gruppen B, D und E. Bezüglich des perfekten Randes wies die Gruppe E signifikante Differenzen zu den Gruppen F und G auf.

Die thermische und mechanische Belastung verschlechterte die marginale Adaptation am Dentin in allen untersuchten Gruppen (Kunzelmann et al. 1993, Frankenberger et al. 2003, Kubo et al. 2004).

In der vorliegenden Studie zeigten die Self-Etch-Adhäsive im Bereich der dentinbegrenzten Füllungsänder nach dem Thermocycling und der Kausimulation ähnliche Ergebnisse wie die Etch-and-Rinse- Adhäsive, manche Self-Etch-Adhäsive erzielten nach der Belastung sogar eine bessere Randqualität als die Etch-and-Rinse-Adhäsive. Die Ergebnisse lassen vermuten, dass die Hybrid-Schicht von Etch-and-Rinse- und Self-Etch-Adhäsiven die gleiche Qualität haben könnte (Kukletova et al. 2007). Viele andere Studien belegen hingegen, dass Etch-and-Rinse-Systeme eine signifikant bessere Randintegrität als die Mehrheit der Self-Etch-Adhäsive erzielen (Ernst et al. 2004).

Auch wurde die Doppelapplikation von Self-Etch- Adhäsiven beschrieben, welche den initialen Komposit-Dentin-Verbund verbessert und die Degradation der Verbundzone reduziert (Hannig und Fu, 2001, Reis et al. 2008). Eine verdoppelte Konditionierungszeit könnte ebenfalls die Haftfestigkeit für spezifische Self-Etch-Adhäsive steigern (Perdigao et al. 2006 b). Die Konditionierungszeit beeinflusst aber nicht die Leistungsfähigkeit von Self-Etch-Adhäsiven am Schmelz (Pivetta et al. 2008). Bei den wasserhaltigen All-in-one-Systemen wird das für die Applikation notwendige Wasser vor der Applikation des Komposits durch Lufttrocknen entfernt. Da bei diesen Adhäsiven keine weitere Flüssigkeit mehr zum Einsatz kommt, besteht die Gefahr, dass

---

sich an vereinzelt Stellen in der Kavität „dry spots“ bilden. Deshalb empfiehlt sich stets eine Mehrfachapplikation der All-in-one-Adhäsive; das Komposit wird erst dann appliziert, wenn die ganze Kavität ein glänzendes Erscheinungsbild aufweist (Frankenberger, 2006 b).

## 6 Schlussfolgerung

Da in allen Gruppen das gleiche Restaurationsmaterial verwendet wurde, scheint der erhebliche Unterschied der Randqualität seine Ursache in der Wahl des Haftvermittlers/Adhäsives zu haben. Nach der Auswertung der Ergebnisse scheint jedoch weder die Art des Adhäsivsystems (Etch-and-Rinse oder Self-Etch), noch die Anzahl der verwendeten Lösungen oder Schritte (Drei-, Zwei-, Ein-Schritt-Systeme) alleine für das erzielte Randschlussverhalten verantwortlich zu sein. In dieser Studie zeigten initial nach dem Legen der Füllungen die vereinfachten Systeme, so genannte All-in-one-Adhäsive, eine bessere marginale Adaptation im Dentin als im Schmelz, währenddessen Etch-and-Rinse-Adhäsive größere Anteile an perfekten Rändern im Schmelz aufwiesen. Die thermische und mechanische Belastung verschlechterte die marginale Integrität in allen untersuchten Gruppen. Deswegen können keine allgemeinen Empfehlungen für den klinischen Einsatz von bestimmten Materialien anhand dieser Studie abgeleitet werden.

Mit keinem der untersuchten Haftvermittler konnten bei Anwendung strikt nach Herstellerangaben unter den Bedingungen der vorliegenden Studie dauerhaft dichte Restaurationsränder am Übergang zu Schmelz und Dentin erzielt werden. Die bei allen Materialien bereits nach Wasserlagerung auftretenden Spalten an den dentinbegrenzten zervikalen Stufen sind möglicherweise auf eine unzureichende Konditionierung und Monomerinfiltration oder auf eine unvollständige Polymerisation in diesem Bereich zurückzuführen. Eine Verlängerung der Applikations- und Polymerisationszeiten über die vom Hersteller angegebenen Zeiten hinaus erscheint daher grundsätzlich sinnvoll.

## 7 Literaturverzeichnis

1. Albuquerque, M., Pegoraro, M., Mattei, G., Reis, A., Loguercio, A.D.:  
Effect of double-application or the application of a hydrophobic layer for improved efficacy of one-step self-etch systems in enamel and dentin  
*Oper Dent* 33, 564-570 (2008)
2. Anderson, P.J.:  
Measurement of stress in mastication I.  
*J Dent Res* 35, 664-670 (1956)
3. Asaka, Y., Miyazaki, M., Takamizawa, T., Tsubota, K., Moore, B.K.:  
Influence of delayed placement of composites over cured adhesives on dentin bond strength of single-application self-etch systems  
*Oper Dent* 31, 18-24 (2006)
4. Attin, T., Buchalla, W.:  
Werkstoffkundliche und klinische Bewertung von Kompomeren  
*Dtsch Zahnärztl Z* 53, 766-774 (1998)
5. Atash, R., Van den Abbeele, A.:  
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 (2005)
6. Atash, R., Van den Abbeele, A.:  
Sealing ability and bond strength of four contemporary adhesives to enamel and to dentine  
*Eur J Paediatr Dent*: 6, 185-190 (2005)
7. Attar, N., Korkmaz, Y.:  
Effect of two light-emitting diode (LED) and one halogen curing light on the microleakage of Class V flowable composite restorations  
*J Contemp Dent Pract* 8, 80-88 (2007)

8. Blunck, U., Roulet, J.-F.:  
Einfluss der Wasserlagerung auf die Wirksamkeit von Dentinadhäsiven  
Dtsch Zahnärztl Z 52, 806-808 (1997)
9. Blunck, U., Knitter, K., Jahn, K.R.:  
Six-month clinical evaluation of XP BOND in noncarious cervical lesions  
J Adhes Dent 9, Suppl 2; 265-268 (2000)
10. Blunck, U.:  
Adhäsivsysteme: Übersicht und Hinweise zur Anwendung  
Wissen Kompakt 3, 15-20 (2007)
11. Blunck, U., Zaslansky, P.:  
Effectiveness of all-in-one adhesive systems tested by thermocycling  
following short and long-term water storage  
J Adhes Dent 9, Suppl 2; 231-240 (2007)
10. Bolanos-Carmona, V., Gonzalez-Lopez, S., De Haro-Munoz, C., Briones-Lujan, M.T.:  
Interfacial morphology and bond strength of self-etching adhesives to  
primary dentin with or without acid etching  
J Biomed Mater Res, Part B, Appl Biomater 876, 499-507 (2008)
11. Bonilla, E.D., Stevenson, R.G. 3rd, Yashar, M., Caputo, A.A.:  
Effect of application technique and dentin bonding agent interaction on  
shear bond strength  
Oper Dent 28, 568-573 (2003)
12. Bott, B., Hannig, M., Griemsmann, S.:  
„Sandwich“-Füllungen in dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten  
Dtsch Zahnärztl Z 52, 809-812 (1997)

13. Brackett, M.G., Brackett, W.W., Haisch, L.D.:  
Microleakage of Class V resin composites placed using self-etching resins: effect of prior enamel etching  
Quintessence Int 37, 109-113 (2006)
14. Brackett, W.W., Ito, S., Tay, F.R., Haisch, L.D., Pashley, D.H.:  
Microtensile dentin bond strength of self-etching resins: effect of a hydrophobic layer  
Oper Dent 30, 733-738 (2005)
15. Brackett, W.W., Tay, F.R., Looney, S.W., Ito, S., Haisch, L.D., Pashley, D.H.:  
Mikrotensile dentin and enamel bond strengths of recent self-etching resin  
Oper Dent 33, 89-95 (2008)
16. Breschi, L., Cadenaro, M., Antonioli, F., Visintini, E., Toledano, M., Di Lenarda, R.:  
Extent of polymerization of dental bonding systems on bleached enamel  
Am J Dent 20, 275-280 (2007)
17. Buonocore, M.G.:  
A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials of enamel surfaces.  
J Dent Res 34, 849 (1955)
18. Burrow, M.F., Harada, N., Kitasako, Y., Nikaido, T., Tagami, J.:  
Seven-year dentin bond strengths of a total- and self-etch system  
Eur J Oral Sci 113, 265-270 (2005)
19. Burrow, M.F., Kitasako, Y., Thomas, C.D., Tagami, J.:  
Comparison of enamel and dentin microshear bond strength of a two-step self-etching priming system with five all-in-one systems  
Oper Dent 33, 456-460 (2008)



20. Campoy, M.D., Vicente, A., Bravo, L.A.:  
Effect of saliva contamination on the shear bond strength of orthodontic brackets bonded with a self-etching primer  
Angle Orthod 75, 865-869 (2005)
21. Chapman, J.L., Burgess, J.O., Holst, S., Sadan, A., Blatz, M.B.:  
Precuring of self-etching bonding agents and its effect on bond strength of resin composite to dentin and enamel  
Quintessence Int 38, 637-641 (2007)
22. Cadenaro, M., Antonioli, F., Sauro, S., Tay, F.R., Di Lenarda, R., Prati, C., Biasotto, M., Contardo, L., Breschi, L.:  
Degree of conversion and permeability of dental adhesives  
Eur J Oral Sci 113, 525-530 (2005)
23. Cal-Neto, J.P., Carvalho, F., Almeida, R.C., Miguel, J.A.:  
Evaluation of a new self-etching primer on bracket bond strength in vitro  
Angle Orthod 76, 466-469 (2006)
24. 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  
Biomater 26, 1035-1042 (2005)
25. Cekic-Nagas, I., Ergun, G., Vallittu, P.K., Lassila, L.V.:  
Influence of polymerization mode on degree of conversion and micropush-out bond strength of resin core systems using different adhesive systems  
Dent Mater 27, 376-385 (2008)

26. Chan, K.M., Tay, F.R., King, N.M., Imazato, S., Pashley, D.H.:  
Bonding of mild self-etching primers/adhesives to dentin with thick smear layers  
Am J Dent 16, 340-346 (2003)
27. Chiba, Y., Miyazaki, M., Rikuta, A., Moore, B.K.:  
Influence of environmental conditions on dentin bond strength of one-application adhesive systems  
Oper Dent 29, 554-559 (2004)
28. Chiba, Y., Rikuta, A., Yasuda, G., Yamamoto, A., Takamizawa, T., Kurokawa, H., Ando, S., Miyazaki, M.:  
Influence of moisture conditions on dentin bond strength of single-step self-etch adhesive systems  
J Oral Sci 48, 131-137 (2006)
29. Chiba, Y., Yamaguchi, K., Miyazaki, M., Tsubota, K., Takamizawa, T., Moore, B.K.:  
Effect of air-drying time of single-application self-etch adhesives on dentin bond strength  
Oper Dent 31, 233-239 (2006)
30. Council on Dental Materials, Instruments and Equipment:  
Obstacles to the development of a standard for posterior composite resins  
J Am Dent Assoc 118, 649-651 (1989)
31. Courson, F., Bouter, D., Ruse, N.D., Degrange, M.:  
Bond strengths of nine current dentine adhesive systems to primary and permanent teeth  
J Oral Rehabil 32, 296-303 (2005)

32. Dalton Bittencourt, D., Ezecelevski, I.G., Reis, A., Van Dijken, J.W., Loguercio, A.D.:  
An 18-months' evaluation of self-etch and etch & rinse adhesive in non-carious cervical lesions  
Acta Odontol Scand 63, 173-178 (2005)
33. Danesh, H., Davids, H., Kaup, M., Dammaschke, T., Reinhardt, K.-J., Ott, K.:  
Werkstoffeigenschaften verschiedener Komposite nach Plasma- und Halogenlichtpolymerisation  
Dtsch Zahnärztl Z 56, 161-165 (2001)
34. De Alexandre, R.S., Sunfeld, R.H., Giannini, M., Lovadino, J.R.:  
The influence of temperature of three adhesive systems on bonding to ground enamel  
Oper Dent 33, 272-281 (2008)
35. De Boever, J.A., McCall, W.D., Jr., Holden, S., Ash, M.M.:  
Functional occlusal forces: an investigation by telemetry  
J Prosthet Dent 40, 326-333 (1978)
36. De Munck, J., Shirai, K., Yoshida, Y., Inoue, S., Van Landuyt, K., Lambrechts, P., Suzuki, K., Shintani, H., Van Meerbeek, B.:  
Effect of water storage on the bonding effectiveness of 6 adhesives to Class I cavity dentin  
Oper Dent 31, 456-465 (2006)
37. De Munck, J., Van Meerbeek, B., Yoshida, Y., Inoue, S., Vargas, M., Suzuki, K., Lambrechts, P., Vanherle, G.:  
Four-year Water Degradation of Total-etch Adhesives Bonded to Dentin  
J Dent Res 82, 136-140 (2003) a

38. De Munck, J., Van Meerbeek, B., Satoshi, I., Vargas, M., Yoshida, Y., Armstrong, S., Lambrechts, P., Vanherle, G.:  
Mikrotensile bond strengths of one- and two- step self- etch adhesives to bur-cut enamel and dentin  
Am J Den 16, 414-420 (2003) b
39. De Munck, J., Van Landuyt, K., Peumans, M., Poitevin, A., Lambrechts, P., Braem, M., Van Meerbeek, B.:  
A critical review of the durability of adhesion to tooth tissue: Methods and results  
J Dent Res 84, 118-132 (2005)
40. Di Hipólito, V., de Goes, M.F., Carrilho, M.R., Chan, D.C., Daronch, M., Sinhoreti, M.A.:  
SEM evaluation of contemporary self-etching primers applied to ground and unground enamel  
J Adhes Dent 7, 203-211 (2005)
41. Dietschi, D., Bindi, G., Krejci, I., Davidson, C.:  
Marginal and internal adaptation of stratified compomer-Composite class II restorations  
Oper Dent 27, 500-509 (2002)
42. Diez, D.:  
Das Randschlussverhalten von Kompositfüllungen in dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten unter Verwendung verschiedener Adhäsivsysteme  
Zahnmed Diss, Kiel (2004)
43. Dos Santos, K.T., Sundfeld, R.H. Garbin, C.A., De Alexandre, R.S., Sundfeld, M.L., Ceolim, B.N.:  
Length of resin tags in pit-and-fissure sealants: all-in-one self-etching adhesive vs phosphoric acid etching  
Compend Contin Educ Dent 29, 186-192 (2008)

44. Duarte, S., Jr., Perdigão, J., Lopes, M.M.:  
Effect of dentin conditioning time on nanoleakage  
Oper Dent 31 (4), 500-511 (2006)
45. Eichner, K.:  
Messung der Kräfte bei Kauvorgängen  
Dtsch Zahnärztl Z 18, 915-924 (1963)
46. Eminkahyagil, N., Gokalp, S., Korkmaz, Y., Baseren, M., Karabulut, E.:  
Sealant and composite bond strength to enamel with antibacterial/self-  
etching adhesives  
Int J Paediatr Dent 15, 274-281(2005)
47. Endo, T., Osada, T., Finger, W.J., Hoffmann, M., Kanehira, M.,  
Komatsu, M.:  
Effect of oxygen inhibition of self-etching adhesives on enamel-dentin  
polymer bond  
J Adhes Dent 9 (1), 33-38 (2007)
48. Erhardt, M.C., Toledano, M., Osorio, R., Pimenta, L.A.:  
Histomorphologic characterization and bond strength evaluation of  
caries-affected dentin/resin interfaces: effects of long-term water  
exposure  
Dent Mater: 24 (6), 786-798 (2008)
49. Erickson, R.L., De Gee, A.J., Feilzer, A.J.:  
Fatigue testing of enamel bonds with self-etch and total-etch adhesive  
systems  
Dent Mater: 22 (11), 981-987 (2006)
50. Erickson, R.L., De Gee, A.J., Feilzer, A.J.:  
Effect of pre-etching enamel on fatigue of self-etch adhesive bonds  
Dent Mater: 24 (1), 981-985 (2008)

51. Ermis, R.B., De Munck, J; Cardoso, M.V., Coutinho, E.,  
Van Landuyt, K.L., Poitevin, A., Lambrechts, P., Van Meerbeek, B.:  
Bond strength of self-etch adhesives to dentin prepared with three  
different diamond burs  
Dent Mater: 24 (7), 978-985 (2008)
52. Ernst, P., Heimeier, I., Stender, E., Willershausen, B.:  
Härtemessungen zu Ermittlung der maximalen Kompositschichtstärke  
von Klasse-II-Kavitäten-Füllungen bei Polymerisation von okklusal  
Dtsch Zahnärztl Z 55, 139-144 (2000)
53. Ernst, C.:  
Was Sie schon immer über Dentinadhäsive wissen wollten  
ZMK 5, 254–269 (2001)
54. Ernst, C.P., Cortain, G., Spohn, M., Rippin, G., Willershausen, B.:  
Marginal integrity of different resin-based composites for posterior  
teeth:an in vitro dye-penetration study on eight resin-composite and  
compomer-/adhesive combinations with a particular look at the additional  
use of flow-composites  
Dent Mater 18, 351-358 (2002)
55. Ernst, C.P., Brandenbusch, M., Victor, A., Klose, S., Zieger, B., Willers-  
hausen, B.:  
Randschluss adhäsiver Klasse-V-Restaurationen bei konventioneller und  
Soft-Start-Polymerisation in vitro  
Dtsch Zahnärztl Z 59, 504-513 (2004)
56. Ernst, C.P., Schattenberg, A., Stender, E., Meyer, G.R.,  
Willershausen, B.:  
Relative Oberflächenhärte verschiedener Komposite nach LED-  
Polymerisation aus 7 mm Abstand  
Dtsch Zahnärztl Z 60, 154-160 (2005)

57. Ernst, C.P., Galler, P., Willershausen, B., Haller, B.:  
Marginal integrity of class V restorations: SEM versus dye penetration  
Dent Mater: 24 (3) 319-327 (2008)
58. Ernst, C.P., Kötter, 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 (1), 25-32 (2004)
59. Fabre, H.S., Fabre, S., Cefaly, D.F., De Oliveira Carrilho, M.R.,  
Garcia, F.C., Wang, L.:  
Water sorption and solubility of dentin bonding agents light-cured with  
different light sources  
J Dent 35 (3), 253-258 (2007)
60. Fahmy, T.:  
XLStat (Excel-AddIn), Version 2008  
[www.xlstat.com](http://www.xlstat.com)
61. Ferreira, M.C., Kummer, T.R., Vieira, R.S., Calvo, M.:  
Short resin-posts bonding to primary dentin. Microleakage and micro-  
morphological in vitro study  
J Clin Pediatr Dent 31 (3), 202-206 (2007)
62. Feuerstein, O., Matalon, S., Slutzky, H., Weiss, E.I.:  
Antibacterial properties of self-etching dental adhesive systems  
J Am Dent Assoc (1939); 138 (3), 349-354; quiz 396-398 (2007)
63. Finger, W.J., Tani, C.:  
Effect of application mode on bonding performance of self-etching  
adhesives  
Am J Dent 18 (1), 41-44 (2005)

64. Frankenberger, R., Krämer, N., Sindel, J.:  
Haftfestigkeit und Zuverlässigkeit der Verbindung Dentin-Komposit und  
Dentin-Compomer  
Dtsch Zahnärztl Z 51, 556-560 (1996)
65. Frankenberger, R.:  
Materialkundliche Grundlagen der Adhäsivtechnik  
3M Espe AG, 1. Aufl. (2001)
66. Frankenberger, R., Lopes, M., Perdigao, J., Ambrose, W.W., Rosa, B.T.:  
The use of flowable composites as filled adhesives  
Dent Mater 18, 227-238 (2002)
67. Frankenberger, R.:  
Materialkundliche Grundlagen der Adhäsivtechnik. Die Adhäsivtechnolo-  
gie  
Dent Net Masters 3M ESPE AG: 12–27 (2002)
68. Frankenberger, R.:  
Zur Dauerhaftigkeit des Dentinverbundes  
Dtsch Zahnärztl Z 57, 154–171 (2002)
69. Frankenberger, R., Strobel, W.O., Krämer, N., Lohbauer, U.,  
Winterscheidt, J., Winterscheidt, B., Petschelt, A.:  
Evaluation of the Fatigue Behavior of the Resin-Dentin Bond with the  
Use of Different Methods  
J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater 67B, 712-721(2003)
70. Frankenberger, R., Strobel, W.O., Lohbauer, U., Krämer, N.,  
Petschelt, A.:  
The effect of six years of water storage on resin composite bonding to  
human dentin  
J Biomed Mater Res Part B: Appl Biomater 69B, 25-32 (2004)



71. 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(5), 397-412 (2005)
72. Frankenberger, R.:  
Einfluss der Adhäsivtechnik auf die klinische Langlebigkeit vollkeramischer Restaurationen  
Dent Magazin 2, (2006) a
73. Frankenberger, R.:  
Bonding 2006-Zeiterparnis versus Langzeiterfolg  
Quintessenz 57, 485-495 (2006) b
74. Fu, B., Sun, X., Qian, W., Shen, Y., Chen, R., Hannig, M.:  
Evidence of chemical bonding to hydroxyapatite by phosphoric acid esters  
Biomater 26 (25), 5104-5110 (2005)
75. Garcia, R.N., De Goes, M.F., Giannini, M.:  
Effect of water storage on bond strength of self-etching adhesives to dentin  
J Contemp Dent Pract 8 (7), 46-53 (2007)
76. Gärtner, A.:  
Untersuchung des Randschlussverhaltens von Füllungen aus Kompositmaterialien in approximal dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten  
Zahnmed Diss, Homburg (2006)
77. Germán Cecilia, C., García Ballesta, C., Cortés Lillo, O., Pérez Lajarín, L.:  
Shear bond strength of a self-etching adhesive in primary and permanent dentition  
Am J Dent 18 (5), 331-334 (2005)

78. Gernhardt, Ch.R., Salhab, J., Schaller, H.-G.:  
Die Zugfestigkeit verschiedener Dentinhaftvermittler auf trockenem und perfundiertem Dentin  
Dtsch Zahnärztl Z 56, 467–471 (2001)
79. Giachetti, L., Scaminaci Russo, D., Bambi, C., Nieri, M., Bertini, F.:  
Influence of operator skill on mikroleakege of total-etch and self-etch bonding systems  
J Dent 36 (1), 49-53 (2008)
80. Glockner, K., Reich, M.E., Kos, S., Keil, C., Ebeleseder, K., Städtler, P.:  
Randadaptation von verschiedenen Klasse-II-Kavitäten-Restaurationen  
Dtsch Zahnärztl Z 53, 775-779 (1998)
81. Gonçalves, M., Corona, S.A.M., Palma-Dibb, R.G., Pécora, J.D.:  
Influence of pulse repetition rate of Er:YAG laser and dentin depth on tensile bond strength of dentin-resin interface  
J. Biomed Mater Res, 2008
82. Goracci, C., Sadek, F.T., Monticelli, F., Cardoso, P.E., Ferrari, M.:  
Microtensile bond strength of self-etching adhesives to enamel and dentin  
J Adhes Dent 6 (4), 313-318 (2004)
83. Gregoire, G., Ahmed, Y.:  
Evaluation of the enamel etching capacity of six contemporary self-etching adhesives  
J Dent 35 (5), 388-397 (2007)
84. Grégoire, G., Joniot, S., Guignes, Ph., Millas, A.:  
Dentin permeability: self-etching and one-bottle dentin bonding systems  
J Prosthet Dent 90, 42-49 (2003)

85. Grégoire, G., Guignes, P., Millas, A.:  
Effect of self-etching adhesives on dentin permeability in a fluid flow model  
J Prosthet Dent 93 (1), 56-63 (2005)
86. Grégoire, G., Millas, A.:  
Microscopic evaluation of dentin interface obtained with 10 contemporary self-etching systems: correlation with their pH  
Oper Dent 30 (4), 481-491 (2005)
87. Guéders, A.M., Charpentier, J.F., Albert, A.I., Geerts, S.O.:  
Microleakage after thermocycling of 4 etch and rinse and 3 self-etch adhesives with and without a flowable composite lining  
Oper Dent 31 (4), 450-455 (2006)
88. Gwinnett, A.J.:  
Dentin bond strength after air drying and rewetting  
Am J Dent 7, 144-148 (1994)
89. Haberkorn, K.E.:  
Randschluss von Fast-Track-Kompositfüllungen im Vergleich zu Amalgam- und Glasionomerezementfüllungen  
Zahnmed Diss, Ulm (2006)
90. Haller, B.:  
Mechanismus und Wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern  
Dtsch Zahnärztl Z 49, 750-759 (1994)
91. Haller, B., Herzog, R.:  
Randschluß von Aufbaufüllungen aus chemisch härtenden Kompositen in vitro  
Dtsch Zahnärztl Z 53, 251-256 (1998)

92. Haller, B., Günther, J.:  
Randqualität von Klasse-II-Kavitäten-Kompomerfüllungen  
Dtsch Zahnärztl Z 53, 330-336 (1998)
93. Haller, B., Fritzenschaft, A.:  
Dentinhaftung von Ein- und Mehrkomponenten-Haftvermittlern bei Dry  
und Moist Bonding in vitro  
Dtsch Zahnärztl Z 54, 225-230 (1999)
94. Haller, B., Blunck, U.:  
Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme  
zm-online (2003)
95. Hannig, M., Kreuzkamp, H., Albers, H.-K.:  
Zur Bedeutung der Wasserlagerung für die marginale Adaptation von  
Kompositfüllungen  
Dtsch Zahnärztl Z 49, 595-600 (1994)
96. Hannig, M., Bott, B., Emmermann, A.:  
Randschlußverhalten von Klasse-II-Kavitäten-Kompositfüllungen nach  
Schmelzkonditionierung mit selbstätzenden Primern  
Dtsch Zahnärztl Z 54, 133-136 (1999)
97. Hannig, M., Bott, B.:  
Randschlussverhalten von plastischen zahnfarbenen Füllungen in den-  
tinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten  
Dtsch Zahnärztl Z 55, 134-138 (2000)
98. Hannig, M., Fu, B.:  
Effect of abrasion and resin composite on mikroleakage of class V  
restorations bonded with self-etching primers  
J Adhes Dent 3, 265-272 (2001)

99. Hannig, M., Friedrichs, C.:  
Comparative in vivo and in vitro investigation of interfacial bond variability  
Oper Dent 26 (1), 3-11 (2001)
100. Hannig, M., Bott, B., Möller, O.:  
Das Randschussverhalten von Kompositfüllungen mit Keramikinserts in dentinbegrenzten Klasse-II-Kavitäten  
Dtsch Zahnärztl Z 50, 828-831 (1995)
101. Hashimoto M., De Gee, A.J., Kaga, M., Feilzer, A.J.:  
Contraction stress in dentin adhesives bonded to dentin  
J Dent Res 85(8), 728-732 (2006)
102. Hansen, E.K., Asmussen, E.:  
Marginal adaptation of posterior resins: effect of dentin-bonding agent and hygroscopic expansion  
Dent Mater 5, 122-126 (1989)
103. Harnirattisai, C., Inokoshi, S., Hosada, H., Shimada, Y.:  
Interfacial morphology of an adhesive composite resin and etched cariesaffected dentin  
Oper Dent 17, 222 (1992)
104. Heintze, S.D., Forjanic, M., Jakob, G.:  
Automatic gap detection at restoration margins with an optical sensor in vitro  
J Adhes Dent 7 (2), 95-105 (2005)
105. Hosoya, Y., Tay, F.R., Miyakoshi, S., Pashley, D.H.:  
Hardness and elasticity of caries-affected and sound primary tooth dentin bonded with 4-Meta one-step self-etch adhesives  
Am J Dent 21 (4), 223-228 (2008)

106. Helbig, E.B., Klimm, H.W., Rietschel, J., Schreger, I.E., Richter, G.,  
Haufe, E.:  
Ein Total-Etch-Einkomponenten- und ein selbstätzendes Zwei-  
Komponentenadhäsiv im klinischen Dreijahrestest  
Dtsch Zahnärztl Z 60, 457- 463 (2005)
107. Hennig, A.C., Helbig, E.B., Klimm, H.W., Haufe, E., Richter, G.:  
Klinische Studie mit einem Ormocer (Admira) in Klasse-V-Mischkavitäten  
Dtsch Zahnärztl Z 57, 462-468 (2002)
108. Hickel, R.:  
Moderne Füllungswerkstoffe  
Dtsch Zahnärztl Z 52, 572-583 (1997)
109. Ibarra, G., Vargas, M.A., Geurtsen, W.:  
Grenz- und Oberflächencharakteristika zweier selbstätzender Adhäsive  
nach Applikation auf unbeschleunem und beschleunem Rinderschmelz.  
Eine qualitative Studie  
Dtsch Zahnärztl Z 62, 462-468 (2007)
110. Ishikawa, A., Shimada, Y., Foxton, R.M., Tagami, J.:  
Mikro-tensile and micro-shear bond strengths of current self-etch  
adhesives to enamel and dentin  
Am J Dent 20 (3), 161-166 (2007)
111. Janda, R.:  
Schmelz-Dentin-Adhäsive - Stand der Entwicklung  
DFZ-Magazin 1, 37-46 (2008)
112. Jones, D.S., Lawlor, M.S., Woolfson, A.D.:  
Rheological and mucoadhesive characterization of polymeric systems  
composed of poly(methylvinylether-co-maleicanhydride) and  
poly(vinylpyrrolidone), designed as platforms for topical drug delivery  
J Pharm Sci 92 (5), 995-1007 (2003)

113. Kameyama, A., Kato, J., Aizawa, K., Suemori, T., Nakazawa, Y.,  
Ogata, T., Hirai, Y.:  
Tensile bond strength of one-step self-etch adhesives to Er:YAG laser-  
irradiated and non-irradiated enamel  
Dent Mater J 27 (3), 386-391 (2008)
114. Kaneshiro, A.V., Imazato, S., Ebisu, S.:  
Comparison of bonding ability of single-step self-etching adhesives with  
different etching aggressiveness to root dentin  
Dent Mater J 26 (6), 773-784 (2007)
115. Kaneshiro, A.V., Imazato, S., Ebisu, S., Tanaka, S., Tanaka, Y.,  
Sano, H.:  
Effects of a self-etching resin coating system to prevent demineralization  
of root surfaces  
Dent Mater 24 (10), 1420-1427 (2008)
116. Kielbassa, A.M., Wrbas, K.-Th., Schaller, H.-G., Hellwig, E.:  
Die Haftung von Kompomeren auf unterschiedlich kontaminiertem  
Schmelz  
Dtsch Zahnärztl Z 54, 202-206 (1999)
117. Kunzelmann, K.-H., Krause, F., Hickel, R.:  
Dentinhaftung von Kompositfüllungen und Keramikinlays in Klasse-II-  
Kavitäten  
Dtsch Zahnärztl Z 48, 724-727 (1993)
118. Kaliniotou-Koumpia, E., Dionysopoulos, P., Koumpia E.:  
In vivo evaluation of mikroleakage from composites with new dentine  
adhesives  
J Oral Rehabil 31, 1014-1022 (2004)

119. Korkmaz, Y., Attar, N.:  
Dentin bond strength of composites with self-etching adhesives using LED curing lights  
J Contemp Dental Pract 8 (5), 34-42 (2007)
120. Korkmaz, Y., Onay, E.O., Ozel, E., Ungor, M.:  
Sealing capacity of a flowable composite, as a protective base, with different conditioning methods in nonvital bleaching  
Photomed Laser Surg 26 (4), 355-359 (2008)
121. Koshiro, K., Sidhu, S.K., Inoue, S., Ikeda, T., Sano, H.:  
New concept of resin-dentin interfacial adhesion: the nanointeraction zone  
J Biomed Mater Res Part B, Appl Biomater 77 (2), 401-408 (2006)
122. Koulaouzidou, E.A., Helvatjoglu-Antoniades, M., Palaghias, G., Karanika-Kouma, A., Antoniades, D.:  
Cytotoxicity evaluation of an antibacterial dentin adhesive system on established cell lines  
J Biomed Mater Res Part B, Appl Biomater 84 (1), 271- 276 (2008)
123. Koyuturk, A.E., Sengun, A., Ozer, F., Sener, Y., Gokalp, A.:  
Shear bond strength of self-etching adhesives to caries-affected dentin on the gingival wall  
Dent Mater J 25 (1), 59-65 (2006)
124. Krejci, I., Lutz, F.:  
In-vitro-Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssysteme  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 100, 1445-1449 (1990)
125. Krejci, I., Reich, T., Lutz, T., Albertoni, M.:  
In-vitro-Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssysteme  
1. Computergesteuerter Kausimulator  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 100, 953-960 (1990)



- 
126. Krejci, I., Lutz, F., Krejci, D.:  
Zahnfarbene Seitenzahnrestaurationen  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 101, 1163-1168 (1991)
127. Krejci, I.:  
Zahnfarbene Restaurationen  
Hanser, München (1992)
128. Krejci, I., Lohrer, Chr., Lutz, F.:  
Modifizierte Kavitätenformen und Techniken für mittelgroße adhäsive  
Kompositfüllungen der Klasse II  
Acta Med Dent Helv 1, 91-96 (1996)
129. Kubo, S., Yokota, H., Yokota, H., Hayashi, Y.:  
Effect of low-viscosity resin-based composite on the microleakage of  
cervical restorations  
Am J Dent 16(4), 244-248 (2003)
130. Kubo, S., Yokota, H., Yokota, H., Hayashi, Y.:  
Mikroleakage of cervical cavities restored with flowable composites  
Am J Dent 17 (1), 33-37 (2004)
131. Kukletova, M., Halackova, Z., Horky, D., Matousek, A., Gojisova, E.,  
Cihlar, J.:  
Comparison of dentine-resin interface in total-etch and self-etching  
adhesives using electron microscopy  
Prague Med Rep108 (4), 358-367 (2007)
132. Lang, H., Schwan, R., Müllejans, R., Raab, W.H.-M.:  
Der Verbund im Kavitäteninneren und die Stabilität des Füllungsrandes  
Dtsch Zahnärztl Z 55, 751-755 (2000)

133. Lang, H., Müllejans, R., Schüler, N., Schüpbach, P., Nolden, R., Raab, W.H.-M.:  
Verlaufsrichtung der Dentintubuli und der Verbund adhäsiv-befestigter Werkstoffe  
Dtsch Zahnärztl Z 56, 527-530 (2001)
134. Lattaa, M.A.:  
Shear bond strength and physicochemical interactions of XP Bond  
J Adhes Dent 9, Suppl 2, 245-248 (2007)
135. Li, H., Wang, W.M.:  
Observation of the influence of chemomechanical caries removal on dentin adhesion by scanning electron microscope  
Chin J Stomatol 42 (9), 557-558 (2007)
136. Lösche, A.C.:  
Verbesserung der Randqualität von Kompositfüllungen durch lichtleitende und lichtstreuende Glaskeramikeinsätze  
Zahnmed Diss, Berlin (1991)
137. Lutz, F., Krejci, I., Frischknecht, A.:  
Lichtpolymerisation  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 102, 575-582 (1992)
138. Lutz, F., Krejci, I., Schüpbach, P.:  
Adhäsivsysteme für zahnfarbene Restaurationen  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 103, 537-548 (1993)
139. Malacarne, J., Carvalho, R.M., De Goes, M.F., Svizero, N., Pashley, D.H., Tay, F.R., Yiu, C.K., Carrilho, M.R., De Oliveira Carrilho, M.R.:  
Water sorption/solubility of dental adhesive resins  
Dent Mater: Pub Acad Dent Mater 22 (10), 973-980 (2006)

140. Manchorova, N.A., Vladimirov, S.B., Donencheva, Z.K., Drashkovich, I.S., Kozhuharov, P.Zh., Manolov, S.K., Todorov, R.G.:  
A study of post-operative sensitivity in class I and class II restorations with self-etching adhesive and nanofilled composite  
Folia Med 48 (2), 63-69 (2006)
141. Manhart, J., Hollwich, B., Mehl, A., Hunzelmann, K.-H., Hickel, R.:  
Randqualität von Ormocer- und Kompositfüllungen in Klasse-II-Kavitäten nach künstlicher Alterung  
Dtsch Zahnärztl Z 54, 89-94 (1999)
142. Manhart, J., Chen, H.Y., Kunzelmann, K.-H., Hickel, R.:  
Haftkraft und Randverhalten moderner Einflaschen-Haftvermittlersysteme und Komposite zum Dentin  
Dtsch Zahnärztl Z 55, 128-133 (2000)
143. Manhart, J., Chen, H.Y., Hickel, R.:  
Überlebenszeitanalyse von konservierend-zahnärztlichen Restaurationen  
Teil I: Direkte Füllungen aus Komposit und Kompomer im Seitenzahnbereich  
ZWR 112, 142–152 (2003)
144. Manhart, J.:  
Charakterisierung direkter zahnärztlicher Füllungsmaterialien für den Seitenzahnbereich. Alternativen zum Amalgam?  
Quintessenz 57, 465-481(2006)
145. Manso, A.P., Marquezini, L., Jr., Silva, S.M., Pashley, D.H., Tay, F.R., Carvalho, R.M.:  
Stability of wet versus dry bonding with different solvent-based adhesives  
Dent Mater 24 (4), 476-482 (2008)

- 
146. Marquezan, M., da Silveira, B.L., Burnett, L.H., Jr, Rodrigues, C.R., Kramer, P.F.:  
Mikrotensile bond strength of contemporary adhesives to primary enamel and dentin  
J Clin Paediatr Dent 32 (2), 127-132 (2008)
147. Medina, V.O., 3rd, Shinkai, K., Shirono, M., Tanaka, N., Katoh, Y.:  
Histopathologic studie on pulp response to single-bottle and self-etching adhesive systems  
Oper Dent 27 (4), 330-342 (2002)
148. Meyer-Lueckel, H., Mueller, J., Paris, S., Hummel, M., Kielbassa, A.M.:  
Penetration verschiedener Adhäsive in initiale Schmelzläsionen in vitro  
Schweiz Monatschr Zahnmed 115 (4), 316-323 (2005)
149. Miranda, C., Prates, L.H., Vieira Rde, S., Calvo, M.C.:  
Shear bond strength of different adhesive systems to primary dentin and enamel  
J Clin Paediatr Dent 31 (1), 35-40 (2006)
150. Miyazaki, M., Iwasaki, K., Onose, H.:  
Adhesion of single application bonding systems to bovine enamel and dentin  
Oper Dent 27 (1), 88-94 (2002)
151. Moll, K., Schuster, B., Haller, B.:  
Dentin bonding of light- and self-curing resin composites using simplified total- and self-etch adhesives  
Quintessence Int 38 (1), 27-35 (2007)
152. Monticelli, F., Toledano, M., Silva, A.S., Osorio, E., Osorio, R.:  
Sealing effectiveness of etch-and-rinse vs self-etching adhesives after water aging: influence of acid etching and NaOCl dentin pre-treatment  
J Adhes Dent 10 (3), 183-188 (2008)

153. Nakabayashi, N., Kiyomura, M., Takarada, K.:  
Durable bonding to dentin  
J Dent Res (Spec Iss) 71, 169 Abstr.No 512 (1992)
154. Nakaoki, Y., Sasakawa, W., Horiuchi, S., Nagano, F., Ikeda, T.,  
Tanaka, T., Inoue, S., Uno, S., Sano, H., Sidhu, S.K.:  
Effect of double-application of all-in-one adhesives on dentin bonding  
J Dent 33 (9), 765-772 (2005)
155. Naughton, W.T., Latta, M.A.:  
Bond strength of composite to dentin using self-etching adhesive  
systems  
Quintessence Int 36 (4), 259-262 (2005)
156. Papacchini, F., Radovic, I., Magni, E., Goracci, C., Monticelli, F.,  
Chieffi, N., Polimeni, A., Ferrari, M.:  
Flowable composites as intermediate agents without adhesive  
application in resin composite repair  
Am J Dent 21 (1), 53-58 (2008)
157. Pashley, E.L., Agee, K.A., Pashley, D.H., Tay, F.R.:  
Effects of one versus two applications of an unfilled, all-in-one adhesive  
on dentine bonding  
J Dent 30, 83-90 (2002)
158. Pereira, P.N., Nunes, M.F., Miguez, P.A., Swift, E.J., Jr.:  
Bond strengths of a 1-step self-etching system to caries-affected and  
normal dentin  
Oper Dent 31 (6), 677-681 (2006)
159. Perdigão, J., Lopes, M.:  
Dentin bonding- questions for the new millennium  
J Adhes Dent 1, 191-209 (1999)

160. Perdigão, J., Fundingsland, J.W., Duarte, S., Jr., Lopes, M.:  
Microtensile adhesion of sealants to intact enamel  
Int J Paediatr Dent / Br Paediatr Soc [and] the Int Assoc Dent Children  
15 (5), 342-348 (2005)
161. Perdigao, J., Gomes, G., Gondo, R., Fundingsland, J.W.:  
In vitro bonding performance of all-in-one adhesives. Part I-microtensile  
bond strengths  
J Adhes Dent 8 (6), 367-373 (2006) a
162. Perdigão, J., Gomes, G., Lopes, M.M.:  
Influence of conditioning time on enamel adhesion  
Quintessence Int 37 (1), 35-41 (2006) b
163. Perdigão, J., Dutra-Correa, M., Castilhos, N., Carmo, A.R., Anauate-  
Netto, C., Cordeiro, H.J., Amore, R., Lewgoy, H.R.:  
One-year clinical performance of self-etch adhesives in posterior  
restorations  
Am J Dent 20 (2), 125-133 (2007)
164. Peters, G.:  
Hafffest und leicht anzuwenden  
ZWP 10, 10-13 (2004)
165. Pivetta, M.R., Moura, S.K., Barroso, L.P., Lascala, A.C., Reis, A.,  
Loguercio, A.D., Grande, R.Hs.:  
Bond strength and etching pattern of adhesive systems to enamel:  
effects of conditioning time and enamel preparation  
J Esthet (and) Restor Dent: Pub Am Acad Esthet Dent 20 (5), 322-335  
(2008)

166. Osorio, R., Pisani-Proenca, J., Erhardt, M.C., Osorio, E., Aguilera, F.S., Tay, F.R., Toledano, M.:  
Resistance of ten contemporary adhesives to resin-dentine bond degradation  
J Dent 36 (2), 163-169 (2008)
167. Ostby, A.W., Bishara, S.E., Danehy, G.E., Laffoon, J.F., Warren, J.J.:  
Effect of self-etchant pH on the shear bond strength of orthodontic brackets  
Am J Orthod and Dentofac Orthod 134 (2), 203-208 (2008)
168. Owens, B.M., Johnson, W.W.:  
Effect of insertion technique and adhesive system on microleakage of Class V resin composite restorations  
J Adhes Dent 7 (4), 303-308 (2005)
169. Owens, B.M., Johnson, W.W., Harris, E.F.:  
Marginal permeability of self-etch and total-etch adhesive systems  
Operative Dent 31 (1), 60-67 (2006)
170. Rateitschak, K.H., Wolf, H.F.:  
Farbatlantent der Zahnmedizin 6, 254-261 (1994)
171. 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 (6), 510-516 (2007)
172. Reinhardt, K.J., Vahl, J., Tölle, F.:  
Vergleichende Untersuchungen zur Tauglichkeit von Kompositen im Seitenzahnbereich  
Dtsch Zahnärztl Z 39, 105-109 (1984)

173. Reis, A.F., Bedran-Russo, A.K., Giannini, M., Pereira, P.N.:  
Interfacial ultramorphology of single-step adhesives: nanoleakage as a function of time  
J Oral Rehabil 34 (3), 213-221 (2007)
174. Reis, A., Albuquerque, M., Pegoraro, M., Mattei, G., Bauer, J.R., Grande, R.H., Klein-Junior, C.A., Baumhardt-Neto, R., Loguercio, A.D.:  
Can the durability of one-step self-etch adhesives be improved by double application or by an extra layer of hydrophobic resin?  
J Dent 36 (5), 309-315 (2008)
175. Rolla, J.N., Mota, E.G., Oshima, H.M., Junior, L.H., Spohr, A.M.:  
Nd: YAG laser influence on microtensile bond strength of different adhesive systems for human dentin  
Photomed and Laser Surg 24 (6), 730-734 (2006)
176. Rotta, M., Bresciani, P., Moura, S.K., Grande, R.H., Hilgert, L.A., Baratieri, L.N., Loguercio, A.D., Reis, A.:  
Effects of phosphoric acid pretreatment and substitution of bonding resin on bonding effectiveness of self-etching systems to enamel  
J Adhes Dent 9(6), 537-545 (2007)
177. Sachs, L.:  
Angewandte Statistik.  
Springer Verlag, Berlin. 11. Auflage, 889 (2004)
178. Sadek, F.T., Goracci, C., Cardoso, P.E., Tay, F.R., Ferrari, M.:  
Microtensile bond strength of current dentin adhesives measured immediately and 24 hours after application  
J Adhes Dent 7 (4), 297-302 (2005)



179. Sadek, F.T., Calheiros, F.C., Cardoso, P.E., Kawano, Y., Tay, F., Ferrari, M.:  
Early and 24-hour bond strength and degree of conversion of etch-and-rinse and self-etch adhesives  
Am J Dent 21 (1), 30-34 (2008)
180. Santini, A., Ivanovic, V., Ibbetson, R., Milia, E.:  
Influence of cavity configuration on microleakage around Class V restorations bonded with seven self-etching adhesives  
J Esthet and Restor Dent 16 (2), 128–135; Discussion 136 (2004)
181. Santini, A., Ivanovic, V., Ibbetson, R., Milia, E.:  
Influence of marginal bevels on microleakage around Class V cavities bonded with seven self-etching agents  
Am J Dent 17 (4), 257-261 (2004)
182. Sasakawa, W., Nakaoki, Y., Nagano, F., Horiuchi, S., Ikeda, T., Tanaka, T., Noda, M., Inoue, S., Sano, H., Sidhu, S.K.:  
Mikro-shear bond strength of five single-step adhesives to dentin  
Dent Mater J 24 (4), 617-627 (2005)
183. Sattabanasuk, V., Shimada, Y., Tagami, J.:  
Effects of saliva contamination on dentin bond strength using all-in-one adhesives  
J Adhes Dent 8 (5), 311-318 (2006)
184. Scep, S., Kessler, B., May, A., Langner, N., Gerhardt, T., Schriever, A., Becker, J., Heidemann D.:  
Haftkraft und Randschlußverhalten moderner Dentinhaftvermittlersysteme bei simuliertem Liquordruck in vitro  
Dtsch Zahnärztl. Z 56, 532-538 (2001)

185. Schaller, H.-G., Kielbassa, A.M., Hahn, P., Attin, T., Hellwig, E.:  
Die Haftung von Dentinhaftvermittlern an kariös verändertem Dentin  
Dtsch Zahnärztl Z 53, 69-72 (1998)
186. Schmeiser, R., Hannig, M.:  
Randqualität approximaler Kompositfüllungen in sonoabrasiv bearbeiteten „Mikro“-Kavitäten  
Dtsch Zahnärztl Z 54, 127-133 (1999)
187. Schuhmacher, M. & Schulgen, G.:  
Methodik klinischer Studien  
Springer-Verlag, Berlin. 2. Auflage, 430 (2007)
188. Schuster, B.:  
Zur Dentinhaftung licht- und chemisch härtender Komposite bei Verwendung vereinfachter Etch & Rinse- und selbstkonditionierender Bondingsysteme  
Zahnmed Diss, Ulm (2005)
189. Sen, D., Akgüngör, G.:  
Shear bond strengths of two composite core materials after using all-in-one and single-bottle dentin adhesives  
J Prosthodont: J Am Coll Prosthodont 14, 97-103 (2005)
190. Shirai, K., De Munck, J., Yoshida, Y., Inoue, S., Lambrechts, P., Suzuki, K., Shintani, H., Van Meerbeek, B.:  
Effect of cavity configuration and aging on the bonding effectiveness of six adhesives to dentin  
Dent Mater 21 (2), 110-124 (2005)
191. Simons, K., Wolfart, S., Kern, M.:  
Klinische (Kurzzeit-)Erfahrungen mit Kompositstumpfaufbauten  
Dtsch Zahnärztl Z 54, 715-717 (1999)

192. Spreafico, D., Semeraro, S., Mezzanzanica, D., Re, D., Gagliani, M., Tanaka, T., Sano, H., Sidhu, S.K.:  
The effect of the air-blowing step on the technique sensitivity of four different adhesive systems  
J Dent 34 (3), 237-244 (2006)
193. Stoll, R., Butzel, J., Stachniss, V.:  
Zur Auswirkung von Verunreinigungen auf die Haftung von Komposit am geätzten Schmelz  
Dtsch Zahnärztl Z 54, 231-234 (1999)
194. Sundfeld, R.H., De Oliveira, C.H., Da Silva, A.M.J.D., Briso, A.L.F., Sundfeld, M.L.M.M.:  
Resin Tag Length of One-Step and Self-Etching Adhesives bonded to Unground Enamel  
Bull Tokyo Dent Coll 46, 43-49 (2005)
195. Sundfeld, R.H., Valentino, T.A., De Alexandre, R.S., Briso, A.L. Sundefeld, M.:  
Hybrid layer thickness and resin tag length of a self-etching adhesive bonded to sound dentin  
J Dent 33 (8), 675-681 (2005)
196. Tani, C., Finger, W.J.:  
Effect of smear layer thickness on bond strength mediated by three all-in-one self-etching priming adhesives  
J Adhes Dent 4 (4), 283-289 (2002)
197. Tay, F.R., King, N.M., Chan, K.M., Pashley, D.H.:  
How can nanoleakage occur in self-etching adhesive systems that demineralise and infiltrate simultaneously?  
J Adhes Dent 4 (4), 255-269 (2002) a

198. Tay, F.R., Pashley, D.H., Suh, B.I., Carvalho, R.M., Itthagarun, A.:  
Single-step adhesives are permeable membranes  
J Dent 30 (7- 8), 371-382 (2002) b
199. Tay, F.R., Pashley, D.H., Peters, M.C.:  
Adhesive permeability affects composite coupling to dentin treated with a  
self-etch adhesive  
Oper Dent 28 (5), 610-621 (2003)
200. Teixeira, E.C., Bayne, S.C., Thompson, J.Y., Ritter, A.V., Swift, E.J.:  
Shear bond strength of self-etching bonding systems in combination with  
various composites used for repairing aged composites  
J Adhes Dent 7 (2), 159-164 (2005)
201. Van Meerbeek, B., Kanumilli, P., De Munck, J., Van Landuyt, K.,  
Lambrechts, P., Peumans, M.:  
A randomized controlled study evaluating the effectiveness of a two-step  
self-etch adhesive with and without selective phosphoric-acid etching of  
enamel.  
Dent Mater 21(4), 375-383 (2005)
202. Vicente, A., Bravo, L.A., Romero, M., Ortíz, A.J., Canteras, M.:  
Shear bond strength of orthodontic brackets bonded with self-etching  
primers  
Am J Dent 18 (4), 256-360 (2005)
203. Vichi, A., Grandini, S., Ferrari, M.:  
Comparison between two clinical procedures for bonding fiber posts into  
a root canal: a microscopic investigation  
J Endod 28 (5), 355-360 (2002)

204. Werner, J.F., Tani, C.:  
Effect of relative humidity on bond strength of self-etching adhesives to dentin  
J Adhes Dent 4 (4), 277-282 (2002)
205. Wiegand, A., Caspar, C., Becker, K., Werner, C., Attin, T.:  
In-vitro-Untersuchung zur Zytotoxizität von Self-Etch-Adhäsivsystemen.  
In vitro cytotoxicity of different self-etching dental adhesive systems  
Schweiz Monatsschr Zahnmed 116 (6), 614-621 (2006)
206. [www.jmoritaeurope.de / produkt-database / server / assets / 133 / 4 / Hybrid Bond](http://www.jmoritaeurope.de/produkt-database/server/assets/133/4/HybridBond)
207. Yazici, A.R., Celik, C., Ozgünaltay, G., Dayangac, B.:  
Bond strength of different adhesive systems to dental hard tissues  
Oper Dent 32 (2), 166-172 (2007)
208. Yesilyurt, C., Bulucu, B.:  
Bond strength of total-etch and self-etch dentin adhesive systems on peripheral and central dentinal tissue: a microtensile bond strength test  
J Contem Dent Pract 7 (2), 26-36 (2006)
209. Yoo, H.M., Oh, T.S., Pereira, P.N.:  
Effect of saliva contamination on the microshear bond strength of one-step self-etching adhesive systems to dentin  
Oper Dent 31 (1), 127-134 (2006)
210. Yoshida, E., Uno, S., Nodasaka, Y., Kaga, M., Hirano, S.:  
Relationship between water status in dentin and interfacial morphology in all-in-one adhesives  
Dent Mater 23 (5), 556-569 (2007)

211. Yoshida, E., Uno, S.:

Voids formations along the bonding interface between a smeared dentin surface and all-in-one adhesives

Dent Mater J 23 (4), 643-649 (2004)

212. Yoo, H.M., Pereira, P.N.:

Effect of blood contamination with 1-step self-etching adhesives on microtensile bond strength to dentin

Oper Dent 31 (6), 660-665 (2006)

## 8 Anhang

Tab.42: Ergebnisse der Untersuchung der Füllungsqualitäten im Schmelz- und Dentinbereich für alle Produktgruppen

Produktgruppe	Belastung	Gesamtlänge Schmelz, $\mu\text{m}$	Perfekter Rand; %; Schmelz	Unregelmäßiger Rand; %; Schmelz	Randspalt; %; Schmelz	Haarriß; %; Schmelz	Gesamtlänge Dentin; $\mu\text{m}$	Perfekter Rand; %; Dentin	Unregelmäßiger Rand; %; Dentin	Randspalt; %; Dentin	Haarriß; %; Dentin
A	Vor der Belastung	44.660	9,2	19,3	57,2	14,4	45.343	24,1	12,9	31,7	31,3
A	Nach thermischer Belastung	32.399	4,0	9,9	77,0	9,1	38.582	10,0	24,5	30,1	35,4
A	Nach mechanischer Belastung	28.119	0,0	12,3	83,6	4,1	38.566	16,7	15,1	47,4	20,9
B	Vor der Belastung	48.123	79,3	9,7	5,7	5,2	45.378	38,8	16,3	25,4	19,4
B	Nach thermischer Belastung	47.941	34,5	23,6	20,1	21,8	39.792	22,9	35,2	29,2	12,8
B	Nach mechanischer Belastung	47.987	30,9	18,2	22,3	28,6	43.935	19,9	22,5	30,6	27,0
C	Vor der Belastung	50.604	67,3	15,2	11,1	6,5	39.467	17,5	27,3	28,9	26,3
C	Nach thermischer Belastung	51.684	45,9	21,8	22,8	9,5	41.297	4,3	22,4	44,5	28,8
C	Nach mechanischer Belastung	51.434	28,2	25,4	30,2	16,3	39.896	5,2	21,4	46,7	26,8
D	Vor der Belastung	50.230	92,2	6,3	0,0	1,5	47.552	39,4	17,6	23,3	19,7
D	Nach thermischer Belastung	50.174	72,7	14,1	2,2	10,9	45.517	11,4	26,4	29,2	33,0
D	Nach mechanischer Belastung	49.870	64,9	11,7	4,4	19,0	48.410	4,3	14,0	40,7	40,9
E	Vor der Belastung	42.900	28,1	34,3	17,5	20,2	48.571	68,7	12,1	10,6	8,6
E	Nach thermischer Belastung	42.457	19,5	31,0	27,6	21,9	48.029	21,7	11,2	28,2	38,9
E	Nach mechanischer Belastung	43.155	13,0	22,3	30,7	34,0	48.806	19,6	16,8	27,9	35,8
F	Vor der Belastung	42.079	66,9	16,8	1,8	14,5	45.573	13,3	23,2	31,1	32,4
F	Nach thermischer Belastung	39.407	44,8	27,7	4,0	23,5	47.263	8,9	33,0	25,4	32,7
F	Nach mechanischer Belastung	38.822	28,1	29,4	9,7	32,8	47.024	7,7	27,1	29,8	35,3
G	Vor der Belastung	46.730	7,1	21,8	56,5	14,6	49.798	10,1	14,4	33,2	42,3
G	Nach thermischer Belastung	46.712	4,9	11,0	62,2	21,8	50.182	2,3	15,9	37,8	44,0
G	Nach mechanischer Belastung	47.012	0,0	9,1	76,8	14,1	50.230	0,4	11,1	52,7	35,7

Tab.43: Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstestes in allen Versuchsgruppen A-G

Gruppe	Zahn	Penetrationstest
A	1	Grad 1
A	2	nicht beurteilbar
A	3	Grad 0
A	4	Grad 1
A	5	Grad 1
A	6	Grad 0
A	7	Grad 1
A	8	Grad 0
B	1	Grad 4
B	2	Grad 0
B	3	Grad 4
B	4	Grad 0
B	5	Grad 0
B	6	Grad 0
B	7	Grad 0
B	8	Grad 0
C	1	Grad 1
C	2	Grad 1
C	3	Grad 0
C	4	Grad 0
C	5	Grad 0
C	6	Grad 0
C	7	Grad 3
C	8	Grad 1
D	1	Grad 3
D	2	Grad 3
D	3	Grad 1
D	4	Grad 2
D	5	Grad 4
D	6	Grad 2
D	7	Grad 0
D	8	Grad 1
E	1	Grad 0
E	2	Grad 1
E	3	Grad 4
E	4	Grad 3
E	5	Grad 0
E	6	Grad 1
E	7	Grad 1
E	8	Grad 0
F	1	Grad 2
F	2	Grad 3
F	3	Grad 2
F	4	Grad 3
F	5	Grad 3
F	6	Grad 0
F	7	Grad 2
F	8	Grad 2
G	1	nicht beurteilbar
G	2	Grad 5
G	3	Grad 5
G	4	Grad 2
G	5	Grad 1
G	6	nicht beurteilbar
G	7	Grad 2
G	8	nicht beurteilbar



## **Danksagung**

Ein sehr herzlicher Dank gilt allen, die mich bei der Durchführung dieser Arbeit mit Rat und Tat sowie persönlichem Engagement unterstützt haben.

Ohne sie wäre die Durchführung dieser Studie nahezu unmöglich gewesen.

Um keinen zu vergessen, soll es bei dieser allgemeinen Danksagung bleiben.

Ganz besonders danken möchte ich jedoch Herrn Prof. Dr. M. Hannig für die Überlassung des Dissertationsthemas und sein Engagement sowie meinem Sohn Gustav für sein Verständnis.

In memoriam Grazina et Zigmas

Verleihung des DGZ-Preises im Jahr 2006

Ein Teil des Datenpools der vorliegenden Studie fand Einfluß in die wissenschaftliche Präsentation mit dem Titel

**Einfluss verschiedener Adhäsive auf die marginale Adaptation von Klasse-II-Restaurationen in vitro**

Die Präsentation wurde 2005 auf der gemeinsam mit der DGZMK durchgeführten Jahrestagung der DGZ in Berlin vorgestellt und prämiert.



---

## Lebenslauf

### Persönliche Angaben

Name: Martusewitsch  
Vornahme: Ingrida  
Geburtsdatum: 12.01.1973  
Geburtsort: Pruseliai / Litauen  
Familienstand: geschieden / 1 Kind  
Staatsangehörigkeit: deutsch

### Schulbildung

1980-1991 Gymnasium in Litauen  
Abschluß: Abitur  
1991-1992 Vorbereitung für die Aufnahmeprüfung  
in die medizinische Akademie

### Berufsausbildung

1992-1997 Zahnmedizinstudium an der Medizinischen  
Akademie in Kaunas / Litauen  
Abschluß: Diplom  
07.12.2001 Gleichwertigkeitsprüfung an der Goethe-  
Universität Frankfurt am Main, erfolgreich  
abgelegt  
10.05.2002 Deutsche Approbation als Zahnärztin  
2003 Implantologische Ausbildung an der Landes-  
zahnärztekammer Hessen  
Abschluß: Zertifikat "Curriculum Implantologie"

### Berufstätigkeit

1997 - 1998 Vorbereitungsassistentin in einer staatlichen  
Poliklinik für Zahnmedizin, in Litauen  
Abschluß: Bescheinigung über die Qualifikation  
als "Zahnärztin allgemeiner Praxis"

---

27.03.2000 - 24.05.2000	Praktikum in der Zahnarztpraxis "Ahrberg und Kollegen" / Darmstadt
2000 - 2002	Tätigkeit als Prophylaxehelferin in der Zahnarztpraxis Frau Rausch-Scharfenberg / Darmstadt
01.03.2002 - 01.03.2004	Vorbereitungsassistentin in der Zahnarztpraxis Dr. Koschdon / Neu-Isenburg
20.04.2004 - 17.10.2004	Vorbereitungsassistentin in der Zahnarztpraxis Langenbach / Darmstadt
10.01.2005	Niederlassung als Zahnärztin in Dieburg
<b>Sonstiges</b>	
07.1998	Übersiedlung nach Deutschland