

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Klinik und Poliklinik für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten der
Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. dent. Bernd Klaiber

**Randqualität von mittleren und großen Klasse-II-Kompositfüllungen
in standardisierten Kavitäten
mit unterschiedlichem Randwinkel und Restaurationsmaterial**

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde der
Medizinischen Fakultät
der

Bayerischen Julius-Maximilians-Universität zu Würzburg

vorgelegt von
Suk-yung Kim
aus Seoul / Südkorea

Würzburg, Juni 2003

Referent: Priv.-Doz. Dr. med. dent. Burkhard Hugo

Koreferent: Prof. Dr. med. dent. Alfred Renk

Dekan: Prof. Dr. med. Stefan Silbernagl

Tag der mündlichen Prüfung: 21.11.2003

Der Promovend ist Zahnarzt.

Meinen Eltern in Liebe gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	Seite
1.1	Einführung	1
1.2	Prinzipien der Adhäsivtechnik	2
1.3	Kavitätengestaltung	4
1.4	Untersuchte Restaurationsmaterialien	6
1.5	Applikationstechniken	9
1.5.1	Die konventionelle Schichttechnik	10
1.5.2	Die Lining-Technik	11
1.6	In vitro Untersuchung	12
1.7	Fragestellung	14
2	Material und Methode	
2.1	Herstellung der Testfüllungen	15
2.1.1	Testzähne	15
2.1.2	Kavitätenpräparation	16
2.1.3	Sonoabrasive Präparationsansätze	17
2.1.4	Herstellung des Phantommodells	19
2.1.5	Vorbehandlung von Schmelz und Dentin	20
2.1.6	Applikation der Füllungen	22

2.1.7	Ausarbeitung und Politur der Füllungsänder	23
2.1.8	Lagerung der gefüllten Testzähne	24
2.2	Methodik der Randqualitätanalyse	24
2.2.1	Herstellung der Kunstharzreplikas	24
2.2.2	Thermocycling	25
2.2.3	Durchführung der Randanalyse	26
2.2.4	Statistische Auswertung	30

3 Ergebnisse

3.1	Übersicht	31
3.2	Kriterium „Füllungsvolumen“	32
3.3	Kriterium „Zervikaler Rand in Schmelz / Dentin“	33
3.4	Kriterium „Kavitätenrandwinkel“	34
3.5	Kriterium „Material / Applikationstechnik“	35
3.6	Material / Applikationstechnik bei unterschiedlichem Randwinkel und unterschiedlichem Volumen bei Schmelzkavitäten	36
3.6.1	Material- und Randwinkel bei mittelgroßen Schmelzkavitäten	36
3.6.2	Material- und Randwinkel bei großen Schmelzkavitäten	37
3.7	Material- und Applikationstechnik bei großen Dentinkavitäten	39

4	Diskussion	
4.1	Die Randspaltproblematik von Kompositrestaurationen	40
4.2	In-vitro Untersuchung von Klasse II Kompositrestaurationen	41
4.3	Kavitätengestaltung	44
4.3.1	Standardisierung der Testproben	44
4.3.2	Kavitätenvolumen	46
4.3.3	Lokalisation des zervikalen Randes in Referenz zur SZG	47
4.3.4	Kavitätenrandwinkel	48
4.4	Restaurationsmaterial	50
4.4.1	Tetric Flow und Tetric Ceram (Vivadent) - Materialeigenschaften	50
4.4.2	Solitaire (Kulzer) - Materialbeschreibung	52
4.5	Applikationstechnik	54
4.5.1	Die konventionelle Mehrschichttechnik	55
4.5.2	Die Lining-Technik	56
4.6	Diskussion der Ergebnisse	58
4.6.1	Einfluß des Füllungsvolumens	59
4.6.2	Einfluß der Distanz des zervikalen Kavitätenrandes zur SZG	59
4.6.3	Einfluß des Kavitätenrandwinkels bei unterschiedlichem Volumen	60
4.6.4	Einfluß des Restaurationsmaterials und der Applikationstechnik	62
4.7	Schlußfolgerungen	66

5	Zusammenfassung	68
6	Literaturverzeichnis	70
7	Herstellerverzeichnis	

Danksagung

Lebenslauf

1. Einleitung

1.1 Einführung

Seit Einführung der Komposite durch *BOWEN [1962]* mit dem Ziel der Ersetzung des in Kritik geratenen Amalgams durch ein geeignetes Restaurationsmaterial, erfuhren zahnfarbene Kompositwerkstoffe und Kompoglas eine rasante Entwicklung. Die steigende Nachfrage von zahnfarbenen Restaurationen in der heutigen Gesellschaft und die zunehmende Ablehnung von Amalgam nahm entscheidenden Einfluß auf die Weiterentwicklung der von *BUONOCORE [1955]* erstmals beschriebenen Adhäsivtechnik in der restaurativen Zahnheilkunde. Gesteigerte ästhetische Ansprüche und toxikologische Bedenken, speziell bei Amalgam, führten zu einer Verbesserung der zahnfarbenen und defektbezogenen Restaurationen im direkten Verfahren.

Der Vorgang der Polymerisationsschrumpfung innerhalb einer Restauration kann Randspaltbildungen verursachen. Die Randspaltproblematik bei Kompositrestaurationen stellt ein grundlegendes Problem dar [*DE GEE et al. 1981, BOWEN et al. 1983, DAVIDSON 1986*]. Die chemisch-physikalischen Eigenschaften von Kompositwerkstoffen werden stetig optimiert und die Schmelz/Dentin-Adhäsive erfuhren in der Vergangenheit deutliche Verbesserungen. Die Problematik der Polymerisationsschrumpfung bleibt jedoch bestehen und konnte bisher nicht behoben werden. Randspalten führen unweigerlich zu Bakterienbesiedlungen und Sekundärkaries [*BRÄNNSTRÖM & NORDENVALL 1978, STAININEC et al. 1986, TORSTENSON & BRÄNNSTROM 1988*] bis hin zu Pulpaerkrankungen [*PASHLEY 1990*].

Ziel der vorliegenden Studie ist es, die Randqualität von verschiedenen Kompositwerkstoffen in Klasse-II-Kavitäten zu untersuchen. Im Hinblick auf Volumen, Randwinkel und Distanz des zervikalen Kavitätenrandes zur Schmelz-Zement-Grenze (SZG) werden die Testkavitäten standardisiert. Die

Applikation der Testfüllungen erfolgt in konventioneller Schichttechnik im Vergleich zur „Lining-Technik“.

1.2 Prinzipien der Adhäsivtechnik

Komposit ist ein zusammengesetzter Werkstoff aus verschiedenen organischen und anorganischen Materialien. Es beinhaltet hauptsächlich die anorganische disperse Füllstoffphase mit Quarz-, Glas- oder Keramikpartikeln sowie hochdisperses SiO₂ als Füllpartikel in verschiedenen Größen und die organische Matrix-Phase aus hochviskösen Dimethacrylaten wie Bisphenol-A-Glycidyl-methacrylat (Bis-GMA) und Urethan-ethylenglycol-dimethacrylat (UEDMA). Der Verbund zwischen anorganischer und organischer Phase wird mit Hilfe von Siliziumverbindungen (kopolymerisierende Silane) hergestellt [LUTZ *et al.* 1983]. Die Art und Größe der Füllpartikel bestimmen die Einteilung nach Makrofüller- (1-100 µm), Mikrofüller- (0,4 -1µm) und Hybridkompositen, mit einem Gemisch aus kleinsten Makrofüllern (0,8 -1µm) und Mikrofüllern (0,04 -0,15µm) verstärkte Matrix [LUTZ *et al.* 1983, ROULET 1987]. Bei modernen Hybridkompositen handelt es sich in der Regel um hochgefüllte Hybrid- bzw. Feinhybridkomposite. Weitere Bestandteile der Matrix sind Verdüner bzw. Komonomere, wie kurzkettige Hydroxyethyl-methacrylat (HEMA) und Triethylen-glycol-dimethacrylat (TEGDMA), die Vernetzungsgrad, Polymerisationsschrumpfung, Wasseraufnahme, mechanische Eigenschaften und Konversionsrate beeinflussen. Des Weiteren sind Initiatoren (z.B. Kampherchinon), Pigmente, Katalysatoren, Photostabilisatoren, Inhibitoren wie Phenolderivate für eine Verhinderung der frühzeitigen Polymerisation und andere Additive darin enthalten [JANDA 1988, JANDA 1990]. Beim Vorgang der chemischen Polymerisation verringern sich die intermolekularen Abstände von Makromolekülbestandteilen durch Umwandlung der Doppelbindungen in einfach gesättigte Bindungen. Die Länge der verbundenen Monomerketten verringert sich und führt zu einer Polymerisationsschrumpfung [DAVIDSON & FEILZER 1997].

Komposit haftet unterschiedlich an Schmelz und Dentin. Der Verbund zwischen Komposit und Schmelz wird über eine „Mikromechanische Verankerung“ hergestellt. *BUONOCORE* beschrieb 1955 erstmals die sogenannte Schmelz-Ätz-Technik (SÄT). Unbehandelter Schmelz wird nach erfolgter Präparation mit Säure (30% - 40%ige Phosphorsäure) konditioniert. Verschiedene Schmelzprismenanteile werden durch die Säureeinwirkung unterschiedlich herausgelöst und es entsteht dadurch ein Mikrorelief, das typische Schmelz-Ätzmuster. Die Höhe der Säurekonzentration und der Ansnittwinkel der Schmelzprismen bestimmt die Einwirkdauer des sogenannten „Conditioners“, die in der Regel vom Hersteller angegeben wird. Die erreichbare Ätztiefe des Mikroreliefs wird je nach Dauer des Ätzevorgangs zwischen 20µm und 60µm angegeben [*GEURTSSEN 1989*], wobei die stärkste Schicht an der Schmelzoberfläche (ca. 5- 10µm) vollständig aufgelöst wird [*LUTZ et al. 1993*]. Die Penetration des Mikroreliefs erfolgt durch das hydrophobe Bonding-Agent, dessen Zusammensetzung stark der Matrix des Komposits ähnelt. Dadurch wird die Voraussetzung für einen Verbund mit Komposit geschaffen. Der Haftmechanismus zwischen Schmelz und Komposit basiert auf rein mikromechanischer Verzahnung [*LUTZ et al. 1993*].

Frisch beschliffenes Dentin bildet auf der Oberfläche eine Schmierschicht (Smear Layer) aus Hydroxylapatit und Kollagentrümmern [*EICK et al. 1993*]. Prinzipiell gibt es zwei Arten der Dentinhaftung, die sich in der Belassung und Auflösung der Schmierschicht unterscheiden [*VAN MEERBEEK et al. 1992*]. Die belassene Schmierschicht wird durch die Verwendung von „Primern“ mit hydrophilen Monomeren in saurer Lösung benetzt und penetriert. Die kunststoffimprägnierte Schmierschicht allein stellt den Verbund zwischen Dentin und Komposit dar.

Bei der Entfernung des „Smear Layer“ durch die Säurekonditionierung werden Dentintubuli eröffnet und intertubuläres Dentin demineralisiert, dabei werden Kollagenfasern freigelegt [*HALLER 1992a*]. Primermonomere penetrieren in die Zone der freigelegten Kollagenfasern zwischen die Dentintubuli und schaffen auf diese Weise eine Kunststoff-Dentin-Interdiffusionszone bzw. eine

Kunststoff-Dentin-Hybridschicht, den sogenannten „Hybrid Layer“ [EICK *et al.* 1992, ERICKSON 1992, HALLER 1992b, FRÖHLICH *et al.* 1996]. Die Hybridschicht stellt eine mikromechanische Verklettung von Dentinadhäsiv und Dentinbestandteilen dar. Die Vorbehandlung des hydrophilen Dentins durch die Entfernung des „Smear Layers“ und die anschließende Penetration mit hydrophoben Primermonomeren ermöglicht die weitere chemische Kopolymerisation mit Kompositwerkstoffen [BUONOCORE 1955, NAKABAYASHI 1985, VAN MEERBEEK *et al.* 1992].

1.3 Kavitätengestaltung

Verschiedene Aspekte der Kavitätenformgebung und deren Einfluß auf die Randqualität einer Klasse-II-Kompositrestauration werden kontrovers diskutiert [DIETSCHI *et al.* 1995a, KREJCI *et al.* 1987, DOUVITSAS 1991, LÖSCHE *et al.* 1993a, KREJCI *et al.* 1996, DIETSCHI & HERZFELD 1998, HALLER & GÜNTHER 1998]. Die Auswirkungen der Polymerisationsschrumpfung auf die marginale Integrität von Kompositrestaurationen in kastenförmigen Klasse-II-Kavitäten sollen unter Betrachtung verschiedener Aspekte in der vorliegenden Studie geklärt werden.

Der Einfluß der Kavitätenausdehnung auf die Füllungsrandqualität wird mit dem Schrumpfungsverhalten des Gesamtvolumens der Kompositrestauration in Zusammenhang gebracht. Kleinvolumige Klasse-II-Füllungen mit niedrigem Konfiguration-Faktor (C-Faktor) weisen im Vergleich zu großvolumigen Restaurationen mit hohem C-Faktor bessere Randqualitäten auf [FEILZER *et al.* 1987, DAVIDSON *et al.* 1997]. WILSON *et al.* [1991] haben in ihrer klinischen 5-Jahres-Studie herausgestellt, daß von allen Variablen die Kavitätenausdehnung den größten Einfluß auf das klinische Verhalten einer Restauration hatte.

Große Kavitäten haben ihre zervikale Begrenzung häufig im Dentin. Die Verbundqualität zwischen Komposit/Schmelz und Komposit/Dentin wird unterschieden. Von verschiedenen Autoren wird die Erhaltung von zervikaler Schmelzbegrenzung empfohlen, um eine deutlich bessere Randqualität sicherzustellen [SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995, DIETSCHI et al. 1995a, DIETSCHI & HERZFELD 1998]. Unterschiedliche Schmelzqualitäten im Bereich der SZG machen eine allgemeingültige Aussage über die Auswirkung der Lokalisation des zervikalen Füllungsrandes auf die Randqualität einer Restauration schwierig. Durch den definierten Abstand vom zervikalen Kavitätenrand zur SZG soll die Schmelzqualität auf diese Weise möglichst konstant gehalten werden [SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995, DIETSCHI et al. 1995a].

Die Gestaltung der Kavitätenränder wird bei Klasse-II-Adhäsivrestaurationen kontrovers diskutiert. Den Vorschlägen für eine konventionelle kastenförmige Adhäsivpräparation mit einem rechtwinkligen Randdesign, wie von DOUVITSAS [1991] und KREJCI et al. [1987] beschrieben, entgegen andere Autoren eine Verbesserung der Randqualität von Klasse-II-Restaurationen durch die Anchrägung der Schmelzränder [LÜSCHER et al. 1977, LÖSCHE et al. 1993, DIETSCHI et al. 1995a, KREJCI et al. 1996, DIETSCHI & HERZFELD 1998, HALLER & GÜNTHER 1998]. Sie stützen sich dabei auf die Feststellung, daß die Qualität des retentiven Ätzmusters sich mit dem Anteil der diagonal angeschnittenen Schmelzprismen erhöht [SCHÄFFER & HÖBLING 1990, SCHÄFFER 1993].

Kavitätenvolumen und Verbundzonenqualität und -quantität sind möglichst konstant zu halten. Durch Standardisierung von Probenherstellung, „Probenweiterbearbeitung“ und Auswertung soll die Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse optimiert werden. Der Begriff der „standardisierten Kavitätengestaltung“ [DIETSCHI et al. 1995b, KREJCI et al. 1996, GLOCKNER et al. 1998] ist aufgrund individueller Abweichungen bei der manuellen Präparation mit rotierenden Instrumenten kritisch zu hinterfragen. Die

reproduzierbare Präparation standardisierter Kavitäten ist auf einfache Art und Weise durch die sonoabrasive Präparationstechnik möglich. Der Vorteil dieser Technik ist die Erreichbarkeit einer hohen Präzision bei relativ geringem Aufwand [HUGO et al. 1996d]. Durch die vorgegebene Morphologie der oszillierenden Präparationsansätze wird die Reproduktion standardisierter Kavitäten deutlich erleichtert.

Im Schall- und Ultraschallbereich oszillierende Präparationstechniken wurden schon in den fünfziger Jahren beschrieben [CANTUNA 1953, OMAN & APPELBAUM 1955]. Weiterentwicklungen wie das SonicSys-Instrumentarium (Kavo) hatten unter anderem zum Ziel, reproduzierbare kastenförmige Kavitäten mit vorgegebenen Randwinkeln für approximale Zahnzwischenräume produzieren zu können, die sich für die Eingliederung von vorgefertigten Inserts eignen, deren Geometrie auf das Ansatzdesign abgestimmt ist [HUGO 1997].

Mit Vorgabe der Parameter für die zu präparierenden Standard-Kavitäten werden die entsprechenden oszillierenden Ansätze bündig in die Zahnhartsubstanz versenkt. Es entsteht ein „Negativabdruck“ mit einem kontrollierbaren und reproduzierbaren Volumen. Damit kann die spätere Konstanz der Füllungen in Bezug auf ihr Volumen, Randwinkel und Abstand des zervikalen Randes zur SZG gewährleistet werden. Für eine vergleichende Bewertung von Füllungs- oder Verbundmaterialien bzw. Applikationstechniken birgt die sonoabrasive Präparationstechnik entsprechende methodische Vorteile.

1.4 Untersuchte Restaurationsmaterialien

Erstmals wurde in Europa die Bezeichnung „Flow“ in Beschreibung eines neu vorgestellten Komposits im Jahre 1979 gebraucht. 1995 wurde das reduziert visköse Hybridkomposit „Revolution“ von Kerr als „flowable“ Komposit bezeichnet. Absicht der Hersteller war es, die Handhabung für direkte

Versorgungen mit dem Werkstoff Komposit zu vereinfachen und zu präzisieren [BEHLE 1998].

Aufgrund der verbesserten Applizierbarkeit von fließfähigen Kompositen versprachen sich JAIN und BELCHER [2000] bei schwierig zugänglichen Kavitätenformen, wie tiefe Defekte bis unterhalb der SZG und unterminierende Kavitätenecken und -winkel, eine bessere Verteilung und damit erhöhte Adaptationfähigkeit an den Kavitätenwänden [JAIN & BELCHER 2000]. Die „Spritztechnik“ reduziert die Bildung von Lufteinschlüssen und Porositäten im Vergleich zu hochviskösen Kompositen [OPDAM et al. 1996]. Lufteinschlüsse und Porositäten können die Entwicklung von Spaltbildungen und Verfärbungen begünstigen. Ihre Verteilung und Lokalisation ist bei spritzbaren Kompositen eher zufällig und stellt ein generelles Problem dar. Bei der Verwendung von stopfbaren Werkstoffen sind vermehrt Entstehungen von Lufträumen bzw. Unterschüssen, insbesondere an zervikalen Füllungsrandern beobachtet worden [OPDAM et al. 1996, FRANKENBERGER et al. 1999].

Prinzipiell verringern Stresskonzentrationen um interne Lufteinschlüsse die Frakturresistenz und beschleunigen die „Materialermüdung“ [O'BRIEN & YEE 1980, LEINFELDER & ROBERSEN 1983, McCABE & OGDEN 1987]. Hohlräume, die zwischen nacheinander polymerisierten Kompositsschichten entstehen können, reduzieren die Biegefestigkeit [HUYSMAS et al. 1996].

In Untersuchungen von hochviskösen Kompositen mit hohem E-Modul (11,5GPa bei *Tetric Ceram*) wurde das Versagen des adhäsiven Verbundes festgestellt, was zu postoperativen Überempfindlichkeiten und verschlechterten marginalen Füllungsrandqualitäten führt [FUKUSHIMA et al. 1988]. Durch die Minimierung der entstehenden Scher- und Bruchkräfte unter okklusaler Belastung, führt ein hohes E-Modul langfristig gesehen jedoch zu höherer marginaler Stabilität [UNTERBRINK & LIEBENBERG 1999].

Das niedrige E-Modul eines mittelviskösen Komposits (5,3 GPa bei *Tetric Flow*) wirkt sich günstig auf die Randqualität der Kompositfüllungen aus. Die durch den Polymerisationsvorgang erzeugte Stresseinwirkung auf den adhäsiven Verbund in Restaurationsrandbereichen korreliert nicht mit der volumetrischen

Schrumpfung, sondern mit dem E-Modul des Restaurationswerkstoffes [FEILZER *et al.* 1990]. Ein niedriges E-Modul wirkt stressreduzierend auf den adhäsiven Verbund. Die Fließfähigkeit wird über die Verringerung der Füllkörpermenge erreicht [LABELLA *et al.* 1999]. Durch die erhöhten Monomeranteile findet in der Polymerisationsphase im Vergleich zu hochviskösen Kompositen eine stärkere Schrumpfung statt. Von verschiedenen Autoren werden den fließfähigen Kompositen mit niedrigem E-Modul eine Elastizitätseigenschaft zugesprochen, die im Sinne der erhöhten Flexibilität die Qualität der Restaurationsränder erhöhen [OPDAM *et al.* 1996, BAYNE *et al.* 1998]. Die Theorie der „Stressabsorption“ durch die Verwendung von fließfähigen Kompositwerkstoffen mit niedrigem E-Modul als initiale „elastische“ Füllungskomponente in der Funktion als „Stresspuffer“ oder „Stressbreaker“ in Kombination mit hochviskösen Kompositen als weitere stabilisierende Füllungskomponente ist häufig untersucht worden und konnte überwiegend bestätigt werden [KEMP-SCHOLTE & DAVIDSON 1990a,b, OPDAM *et al.* 1996, BAYNE *et al.* 1998, BEHLE 1998, LABELLA, R. *et al.* 1999, UNTERBRINK 1999, JAIN & BELCHER 2000].

Das zahnfarbene Füllungsmaterial „Solitaire“, vom Hersteller Kulzer als „Polyglas“ bezeichnet, ist seit 1997 im Handel und ist im Aufbau und Struktur der Dimethacrylatbasis von den herkömmlichen Kompositwerkstoffen zu unterscheiden. Das Ziel des Herstellers war es, in den Indikationsbereichen des Füllungswerkstoffes Amalgam ein zahnfarbendes Füllungsmaterial mit vergleichbaren Materialeigenschaften alternativ anbieten zu können [LEINFELDER *et al.* 1999].

Durch die Veränderung der polyfunktionellen Monomere soll bei lichtinduzierter Polymerisation ein im Vergleich zu herkömmlichen Kompositen erhöhter Vernetzungsgrad erzielt werden. Weitere Verbesserungen von klinisch relevanten Materialeigenschaften, wie die Reduktion der Löslichkeit von Füllungsbestandteilen, die Steigerung der Bruch- und Biegefestigkeit und die Verringerung der Polymerisationsschrumpfung wurden bei der Markteinführung

des Polyglas-Werstoffs „Solitaire“ vom Hersteller Kulzer als Fortschritt angekündigt.

Bisherige Studien über „Solitaire“ erlauben noch keine abschließende Beurteilung [DeGEE et al. 1997, HALLER & SCHUSTER 1997, ERNST et al. 1998a,b, McGREGOR 1999, RASHID et al. 1999, AFLECK et al. 1999]. Aktuelle Studien untersuchen „Solitaire“ und vergleichbare Produkte mit herkömmlichen Hybridkompositen und können keine verbesserten Randqualitäten feststellen [COBB et al. 2000, KELSEY et al. 2000, CHOI et al. 2001, OBERLANDER et al. 2001, LOGUERCIO et al. 2001, ERNST et al. 2001]. In der Verwendung von „Solitaire“ in posterioren Seitenzahnbereichen gibt es aufgrund der hohen Rate von Randspaltbildungen zunehmende Bedenken

In der gegenwärtigen Studie werden Klasse-II-Füllungen mit den Werkstoffen *Solitaire* (Kulzer), *Tetric Flow* (Vivadent), *Tetric Ceram* (Vivadent) in konventioneller Schichttechnik und in „Lining-Technik“ hergestellt und bezüglich ihrer Randqualitäten miteinander verglichen.

1.5 Applikationstechniken

Mit der stetigen Weiterentwicklung des Werkstoffs Komposit entstehen neue Vorschläge zur Verbesserung der Füllungsqualität nicht allein durch die Optimierung der chemisch-physikalischen Materialeigenschaften, wie die Polymerisationsschrumpfung, das Schrumpfungs- und Expansionsverhalten, den Frakturwiderstand, die Biegefestigkeit und die Farbbeständigkeit. Die korrekte und sichere dreidimensionale Applikation der modifizierten Kompositarten findet zunehmend Beachtung. Applikationsfehler sollen durch die Vereinfachung der Materialhandhabung und -verarbeitung möglichst vermieden werden. Lufteinschlüsse und Spalten innerhalb der Füllung können sich negativ auf die Qualität der Restauration auswirken [O'BRIEN & YEE 1980, LEINFELDER & ROBERSEN 1983, McCABE & OGDEN 1987].

Hochvisköse Komposite werden in konventioneller Weise „gestopft“ und in einzelnen Schichten nacheinander lichtpolymerisiert und gehärtet. Mittelvisköse fließfähige Komposite werden in die Kavität über entsprechend feine Kanülen „gespritzt“. 1990 beschrieben *KEMP-SCHOLTE & DAVIDSON* erstmals die kombinierte Anwendung der beiden genannten Applikationsformen und bezeichneten sie als „Lining-Technik“.

1.5.1 Die konventionelle Schicht-Technik

Die Polymerisationschrumpfung kann auf die gesamte Restauration bezogen minimiert werden, indem die Applikation des stopfbaren hochviskösen Kompositmaterials in möglichst dünnen Schichten erfolgt und jede Schicht einzeln ausgehärtet wird [*KREJCI et al. 1986b, UNTERBRINK et al. 1999*]. Der C-Faktor gilt als Maß für das Schrumpfungsverhalten eines Kompositwerkstoffs [*FEILZER et al. 1987*] und ist bei Klasse-II-Kavitäten hoch, da das Verhältnis von Verbundfläche zu freier Oberfläche ungünstig ist [*DE LA MACORRA & GOMEZ-FERNANDEZ 1996*]. Mit der Reduktion der einzelnen Schichtstärken erhöht sich jedoch der Behandlungsaufwand im Hinblick auf Zeit und Konzentrationsfähigkeit des Behandlers während der Applikationsphase [*KREJCI et al. 1986, LANDSEE & ATTIN 1996*].

Die Polymerisationschrumpfung erfolgt während und nach der Lichtinduktion. Die Lokalisation der zugeführten Lichtqualität und -quantität, die Konversionsrate und weitere materialbedingte Faktoren, wie Füllergehalt, Monomerbestandteile und Materialfarbe, beeinflussen dabei das Ausmaß der Polymerisationschrumpfung [*FEILZER et al. 1990, SCHUCKAR & GEURTSEN 1995, UNTERBRINK & LIEBEBERG 1999*]. Schrumpfungskräfte können zwischen der 5. Minute und der 24. Stunde auch nach der Applikations- und Aushärtungsphase auftreten. Das sogenannte „Nachschrumpfen“ kann 10-30% der Gesamtschrumpfung betragen und wirkt sich nachhaltig auf die Randqualität aus [*FEILZER et al. 1988, UNTERBRINK & MÜSSNER 1995*].

Die Mehrschichttechnik nach *LUTZ et al. [1986a]* und *KREJCI et al. [1986b]* basieren auf der Annahme, daß die Richtung des Schrumpfungsvektors durch die Position der Lichtquelle beeinflussbar ist. Die erste Schichtung erfolgt auf dem zervikalen Kavitätenboden. Es folgen diagonale Schichten, die jeweils an den lateralen Kavitätenwänden adaptiert und ausgehärtet werden. Durch entsprechende Positionierung der Polymerisationslampe soll die Schrumpfung zu den Kavitätenrändern hin gelenkt werden. Der sichere Verbund zwischen Komposit und Zahn soll zuerst an den Kavitätenrändern erfolgen, um Randspaltbildungen zu vermeiden. Die Anwendung von lichtdurchlässigen Kunststoffmatrizen und sogenannten lichtreflektierenden Kunststoffkeilen sollen in schwierig zugänglichen Interdentalregionen das UV-Licht besser leiten können. Ihre Effektivität wurde jedoch von einigen Autoren in Frage gestellt [*CIAMPONI et al. 1994, HALLER & WALTER 1998, VERLUIJS et al. 1998*].

1.5.2 Die Lining-Technik

Die Fließfähigkeit von *Tetric Flow (Vivadent)* wird über die reduzierte Füllkörpermenge erreicht. Die einfache Handhabung des Materials ermöglicht die sichere Adaptation der initialen Kompositschicht an schwierig zugänglichen Kavitätenwänden und kann die Qualität des adhäsiven Verbundes erhöhen [*JAIN & BELCHER 2000*]. Die Produktion von Lufteinschlüssen und Spaltbildungen innerhalb der Restauration kann mit fließfähigen Kompositwerkstoffen minimiert werden [*MEDLOCK et al. 1985, OPDAM et al. 1996, FERDINAKIS 1998*]. Das niedrige E-Modul und die erhöhte Polymerisationsschrumpfung von fließfähigen Kompositen im Vergleich zu stopfbaren Kompositen halten *LABELLA et al. [1999]* für unvorteilhaft. Sie raten von ihrem alleinigen Gebrauch als Restauration in hochbeanspruchten Regionen ab.

Die Verringerung der Füllkörpermenge und der erhöhte Monomergehalt bestimmen neben der Fließfähigkeit durch das Schrumpfungsverhalten [*LABELLA et al. 1999*]. *BAYNE et al. [1998]* nimmt an, daß Komposite mit

niedriger Viskosität „elastisch“ und „flexibel“ sind. *KEMP-SCHOLTE & DAVIDSON [1990]* versuchten mit hochgefüllten Bonding Adäsiven als „Liner“, die Entwicklung von „Stresskräften“ an Kompositfüllungsrandern zu reduzieren. Sie vermuten, mit zunehmender Schichtstärke des „Bonding-Liners“ zwischen Zahnoberfläche und Kompositrestauration die Kompensationsfähigkeit von negativ einwirkenden Stresskräften zu erhöhen. Um die Schrumpfung der initialen Schicht mit einem fließfähigen und „elastischen“ Komposit als „Liner“ gering zu halten, empfehlen *UNTERBRINK & LIEBENBERG [1999]* eine möglichst geringe Schichtstärke. Sie sprechen in diesem Zusammenhang von einem „Stress-Absorber“ und von der „Idee der elastischen Wand“. Andere Autoren nennen die intermediäre Zwischenschicht „Schock-Absorber, Stress-Puffer, Stress-Breaker oder sogar die „Liquid-Dentin-Schicht“ [*BEHLE 1998*]. Anschließend wird die Kavität mit einem hochviskösen Kompositmaterial aufgefüllt. Die beschriebene Applikationsform kombiniert die vorteilhaften Eigenschaften verschiedener Kompositarten, um eine bessere Randadaptation und eine erhöhte Resistenz gegen Materialverschleiß und Materialermüdungsformen zu erzielen [*CHUANG et al. 2001*]. Diese Applikationsform wird „Sandwich- oder Lining-Technik“ genannt [*KEMP-SCHOLTE & DAVIDSON 1990, OPDAM et al. 1996, RUSSELL & MAZER 1999, MIRRANDA et al. 1999*].

1.6 In vitro Untersuchung

Randspaltqualitäten von Füllungen können grundsätzlich in vivo und in vitro untersucht werden. *ABDALLAH & DAVIDSON [1993]* haben in ihrer vergleichenden Studie zu Klasse-II-Kompositrestaurationen unter in vivo- und in vitro-Bedingungen Testfüllungen nach gleicher Methodik hergestellt und untersucht. Sie weisen auf die eingeschränkten Möglichkeiten einer Vorhersage für klinische Randspaltbildungen durch Laboruntersuchungen hin.

ROULET et al. [1989b, 1991] sehen in der Laboruntersuchung dennoch eine etablierte Methode, um verschiedene Materialien und Techniken auf relativ

einfache Art und Weise zu vergleichen und zu bewerten. Eine Standardisierung des Versuchsaufbaus ermöglicht eine bessere vergleichende Beurteilung der Testproben. In vivo Untersuchungen sind in Abhängigkeit von der Compliance der Mitarbeiter und Patienten im Vergleich zu in vitro Studien durch die Anzahl der zu untersuchenden Testzähne, der erschwerten Präparations- und Applikationsbedingungen zusätzlich mit höherem Zeitaufwand und mehr möglichen Fehlerquellen verbunden. In der vorliegenden Untersuchung wurde aus diesem Grund die quantitative und qualitative Randanalyse in vitro als Bewertungsgrundlage für das jeweilige Restaurationsverfahren angewandt. Insbesondere die Randspaltbildung nach thermischer Stressung stellt für die Qualität einer Klasse-II-Restoration einen wesentlichen Aspekt dar. Die Simulation der Materialermüdung in der Mundhöhle erfolgt durch das Thermocycling-Verfahren. Bei der sogenannten quantitativen und qualitativen Randanalyse erfolgt die Beurteilung und Wertung der Restaurationsränder vor und nach Thermocycling bei 100-facher Vergrößerung im Rasterelektronenmikroskop REM (*DSM 940, Zeiss, Oberkochen*). Der Anteil unperfekter Füllungsränder (Randspaltbildungen, Schmelz- und Dentinfrakturen, Über- und Unterschüsse) wird in Relation zum gesamten Füllungsrand einer Testprobe mittels des *Quanticap-Software-Pakets (Küppers)* in Prozenten ausgedrückt [*HALLER et al. 1987, BLUNCK & ROULET 1989, KREJICI & LUTZ 1991*].

1.7 Fragestellung

Das Ziel der vorliegenden in vitro Studie ist es, die Auswirkungen verschiedener Kavitätenmerkmale auf die Randqualität von direkten Klasse-II-Kompositfüllungen zu untersuchen und zu vergleichen. Um möglichst allgemeingültige Aussagen treffen zu können, sollen Klasse-II-Kavitäten durch Präparation mit sonoabrasiven Instrumenten standardisiert werden. Ein weiteres Ziel ist es, den „Polyglas“-Füllungswerkstoff *Solitaire* (Kulzer) mit den gängigen Kompositmaterialien *Tetric Ceram* und *Tetric Flow* (Vivadent) zu vergleichen. Dabei werden *Solitaire* und *Tetric Ceram* in konventioneller Mehrschichttechnik „gestopft“ und *Tetric Flow* wird über Kanülen in die Kavität „eingespritzt“. Zusätzlich wird die „Lining-Technik“, eine kombinierte Anwendung von *Tetric Ceram* und *Tetric Flow* untersucht. Folgende Fragen sollen geklärt werden:

- Zeigt die Größe des Kavitäten-/Füllungsvolumens Auswirkungen auf die Randqualität von Kompositfüllungen der Klasse II?
- Hat die Distanz des zervikalen Restaurationsrandes zur Schmelz-Zement-Grenze beziehungsweise die Begrenzung in Schmelz oder Dentin einen Einfluß auf die Qualität des Füllungsrandes?
- Bringt das generelle Anlegen einer Kavitätenrandanschrägung eine Verbesserung der Randqualität?
- Welche Qualitätsunterschiede weisen bei standardisierter Klasse-II-Kavitätengestaltung verschiedene Restaurationsmaterialien und Applikationstechniken im direkten Vergleich an den Restaurationsrändern auf?

2. Material und Methode

2.1 Herstellung der Testfüllungen

2.1.1 Testzähne

96 frisch extrahierte, im Approximalbereich unversehrte Molaren wurden in einprozentiger Chloramin-T-Lösung gesammelt und gelagert. Bei der Auswahl der Testzähne wurde darauf geachtet, daß keine markanten Größenunterschiede zwischen den Molaren bestanden. Schmelz und Zementoberflächen sollten approximal auf jeder Seite intakt sein. Unter Betrachtung mit zweifacher Lupenvergrößerung galten Haarrisse, Verletzungen durch Extraktionsinstrumente und abnorme Oberflächenstrukturen als Ausschlußkriterien.

Die Testzähne wurden randomisiert und in 4 Materialgruppen zu je 8 Zähnen aufgeteilt. Für jedes Füllungsmaterial wurden 8 Testzähne mit jeweils gegenüberliegenden Präparationen unterschiedlicher Randgestaltung, einem Randwinkel mit 45° und einem Randwinkel mit 85° (45° RW bzw. 85° RW), hergestellt. Demnach wurden 8 Kavitäten mit 45° RW und 8 Kavitäten mit 85° RW mit dem *Sonicsys Approx-Ansatz (Kavo)* einer Größe präpariert und mit demselben Füllungsmaterial gefüllt (n=8). Es galt diese Anzahl und Einteilung für Kavitäten mit dem mittleren (Nr. 3), dem großen Ansatz (Nr. 4) in Schmelz und Dentin anzufertigen. Die Anzahl der präparierten Kavitäten einer Größe, gefüllt mit einem Füllungsmaterial, betrug 64. Davon waren 32 mit und 32 ohne Kavitätenrand-Anschrägung. Die Gruppe mit den großen Ansätzen (Nr. 4) hatten zum einen die Kavitätenränder allseits in Schmelz und zum anderen die zervikale Begrenzung in Dentin. Insgesamt wurden 196 Kavitäten bzw. Füllungen hergestellt.

Kunststoffzähne (Kavo) dienten als Nachbarzähne, die zusammen mit den Testzähnen in Phantommodelle montiert wurden. Zuvor wurden sowohl Testzähne als auch die Nachbarzähne auf die Verbindungsebene der mesialen

und distalen Randleisten zurückgetrimmt. Der Sinn dieser Maßnahme war, eine einheitliche und „plane Okklusionsebene“ zu schaffen. Auf gleichem Niveau der Nachbarzähne sollte eine Referenzfläche entstehen, die bis zur Oberkante der Sonoabrasivinstrumente kontrolliert eingesenkt werden konnte. Geringfügige Korrekturen der okklusalen Reduktion wurden gelegentlich zur Einhaltung der Distanz zur SZG notwendig. Durch die vorgenannten Maßnahmen konnte das Kavitätenvolumen konstant gehalten werden.

2.1.2 Kavitätenpräparation

Mit walzenförmigen rotierenden Diamantschleifern mittlerer Körnung (80 µm, Nr.836KR 014, Komet) wurde an jedem Testzahn mesial und distal eine Kastenkavität vorpräpariert. Die Vorpräparation wurde etwas kleiner als die Dimension der Ansätze für die sonoabrasive Nachbearbeitung angelegt. Für die endgültige Präparation von Klasse-II-Kavitäten wurden zur Standardisierung einheitliche sonoabrasive Ansätze benutzt (Diamantbelegung einheitlich 46 µm mittlere Korngröße; Antrieb: Sonicflex 2000N). Die Standardisierung der Kavitäten bezog sich dabei auf Volumenkonstanz, eine 45°- bzw. eine 85°-Randabschrägung (45° RW; 85° RW) und die Einhaltung der Distanz vom zervikalen Kavitätenrand zur Schmelz-Zement-Grenze (SZG). Ein Testzahn sollte approximal gegenüberliegend, eine Klasse-II-Kavität mit Abschrägung und eine mit stufigem Kavitätenrand aufweisen. Bei der oszillierenden Sekundärpräparation unter direkter Sicht wurde darauf geachtet, daß die Außenfläche der Ansätze möglichst bündig mit der natürlichen Approximalfläche abschloß.

Das Ausmaß der „planen“ Reduzierung der okklusalen Höckerebene wurde durch die Vorgabe der Distanz zur SZG bestimmt. Die zervikale Begrenzung der mittleren Schmelzkavitäten wurde mit einem Abstand von ca. 2,0mm zur SZG festgelegt. Für die großen Schmelzkavitäten galt es einen Abstand von ca. 1,0mm einzuhalten. In der Gruppe der großen Dentinkavitäten lag die zervikale

Kavitäten-Begrenzung geringfügig unterhalb der SZG, vollständig im Dentin (Abbildung 1).



Abb. 1: Kavitätengruppen 1 bis 6 nach standardisierter sonoabrasiver Präparation. 1: mittlere Schmelzk. 45°, 2: mittlere Schmelzk. 85°, 3: große Schmelzk. 45°, 4: große Schmelzk. 85°, 5: große Dentink. 45°, 6: große Dentink. 85°.

2.1.3 Sonoabrasive Präparationsansätze

Für die Herstellung von standardisierten Klasse-II-Kavitäten mit Abschrägung (RW 45°) wurden die mittleren (Nr. 3) und großen (Nr. 4) Sonicsys Approx-Instrumente verwendet. Die korrespondierende Kavitätengruppe (RW 85°) erforderte eine Neuanfertigung von Ansätzen. In einer Industriefräseinheit wurde die Ansträgungsphase der Sonicsys Approx-Ansätze entfernt und ein 85°-Randwinkel angelegt. Der Präparationsansatz hatte dann eine Kastenform (Abbildung 2). Die Abschrägungsansätze hatten ein ca. 15 % größeres Volumen als das der Kastenformen. Die Volumenunterschiede zwischen den beiden mittleren und den großen Ansätzen betragen ca. 34 % (Tabelle 1).

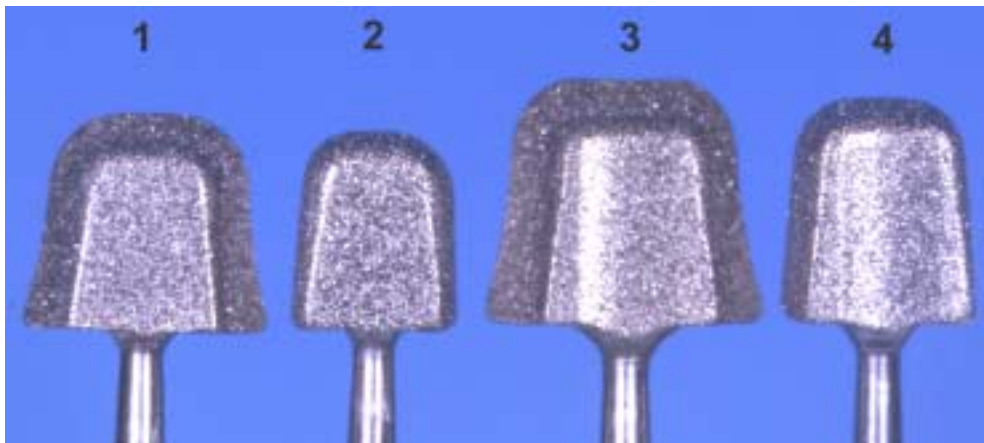


Abb. 2: Sonoabrasive Präparationsansätze: Mittlere Form mit Abschrägung (1) und ohne Abschrägung (2); Große Form mit Abschrägung (3) und ohne Abschrägung (4).

Für die Bestimmung des Volumens wurde der Ansatzkörper vom Schaft abgetrennt und die Masse durch Wiegen ermittelt (Feinwaage Mettler PM 1200). Anhand der bekannten Dichte des Materials (X40Cr13: $1,4034=7,7\text{mg/mm}^3$) war das Volumen errechenbar (Volumen = Masse/ Dichte). Die Bemaßungen sind in *Tabelle 1* zusammengefaßt.

Tabelle 1: Beschreibung der sonoabrasiven Präparationsansätze

	Mittlere Form mit Abschrägung	Mittlere Form ohne Abschrägung	Große Form mit Abschrägung	Große Form ohne Abschrägung
Mittlere Höhe [mm]	4,6	4,1	5,3	4,6
Mittlere Breite [mm]	4,6	3,6	5,4	4,2
Mittlere Tiefe [mm]	1,6	1,6	2,0	2,0
Volumen [mm ³]	24,8	21,0	37,0	30,9
Kantenwinkel zervikal/lateral	45°	85°	45°	85°

2.1.4 Herstellung des Phantommodells

Die präparierten Testzähne wurden mit Kunststoffzähnen (Kavo) als Nachbarzähnen auf gleicher okklusaler Höhe und in einem physiologischen approximalen Abstand zueinander auf einer Schiene mit Wachs fixiert. Die verschlüsselten Anordnungen wurden entsprechend in ein Gips-Schienenmodell übertragen. Ziel dieser Phantommodell-Anordnung war es, klinische Bedingungen für die Applikation von Klasse-II-Restaurationen nachzustellen und eine möglichst natürliche Approximalgestaltung mit konstanten Volumen zu ermöglichen (Abbildung 3 a-c).

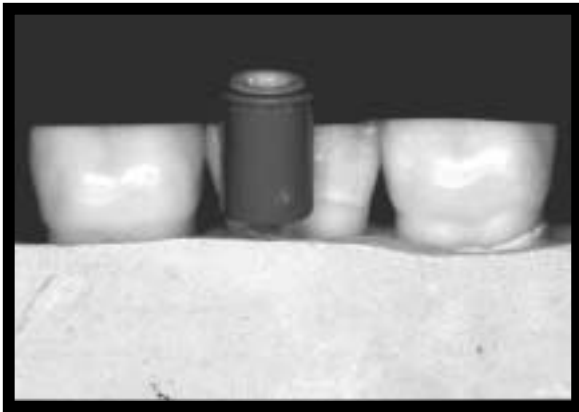


Abb. 3a: Seitenansicht, Schienenmodell mit Testzahn und Nachbarzähnen, plane Reduktion der okklusalen Ebene auf gleiche Höhe.



Abb. 3b: Aufsicht, Zustand nach Applikation. Gegenüberliegende Klasse-II-Füllungen mit unterschiedlichen Randwinkeln.



Abb. 3c: Vergrößerung der Aufsicht, approximale Gestaltung nach Vorgabe der natürlichen Zahnmorphologie.

2.1.5 Vorbehandlung von Schmelz und Dentin

Als Verbundsystem fanden zwei unterschiedliche Produkte Anwendung. Für Restaurationen mit den Werkstoffen *Tetric Ceram* und *Tetric Flow (Vivadent)* wurde *Syntac Classic (Vivadent)* - ein 3-Komponenten-System - verwendet. Der Verbund für den Werkstoff *Solitaire (Kulzer)* erfolgte nach Herstellerempfehlung mit *Solid bond (Kulzer)*, einem 2-Komponenten-System (Tabelle 2). Die Schmelzrandbereiche wurden mit Phosphorsäuregel *Email Preparator GS (Vivadent)* 30-60 Sekunden bzw. *Esticid – 20 FG (Kulzer)* 15-30 Sekunden geätzt. Die Behandlung von Schmelz- und Dentinflächen mit den unterschiedlich anzuwendenden Haftvermittler-Produkten wurde gemäß der jeweiligen Herstelleranweisung systemkonform durchgeführt. Die Zusammensetzung und Anwendung der verwendeten Haftvermittler sind in *Tabelle 2* aufgeführt.

Solid bond (Kulzer) enthält zwei Komponenten, bestehend aus *Solid bond P* und dem lichtpolymerisierendem *Solid bond S*. *Solid bond P* wurde 30 Sekunden lang als Dentin-Primer (Haftvermittler) ins Dentin einmassiert und leicht verblasen. *Solid bond S*, ein Fluorid-Ionen abgebender, röntgenopaker Sealer (Versiegler), wurde als zweite Komponente auf die zu behandelnde Oberfläche aufgetragen, leicht verblasen und abschließend 40 Sekunden lang lichtgehärtet.

Für die anderen Füllungsmaterialien/ -techniken wurde *Syntac Classic (Vivadent)* mit den Komponenten *Syntac Primer*, *Syntac Adhesive* und *Heliobond* verwendet. Der *Primer* wurde nach dem Ätzvorgang 15 Sekunden und das folgende *Adhesive* 10 Sekunden lang auf Schmelz und Dentin einmassiert und leicht verblasen. Anschließend wurde nach dem Einbringen von *Heliobond* die Belichtungszeit von 10 Sekunden eingehalten. Als Polymerisationsgerät wurde *Translux CL (Kulzer)* benutzt. Die Applikation der einzelnen Komponenten erfolgte mit *Flexible Disposable Kerr Applicators® (Kerr)*.

Tabelle 2: Zusammensetzung und Anwendung der Haftvermittler-Systeme

Haftvermittler (Hersteller)	Zusammensetzung* und Chargenkennzeichnung	Verarbeitung
Solid bond® (Heraeus Kulzer, Wehrheim/Ts)	<p>Konditionierer (Esticid®-20FG, 2.5ml):20% Orthophosphorsäure</p> <p>Primer (Solid bond P, 1x4 ml): Aceton, 2-Hydroxyethyl-methacrylat, Maleinsäure</p> <p>Adhesive (Solid bond S, 2x2 ml): Bis-GMA</p> <p>Ch-Nr.LOT 99.12,31 21 ce 0123 (für alle Komponenten)</p>	<p>Auf Schmelz (30s) und Dentin (15s) wirken lassen; mit Wasser mind. 15s vollständig absprayen; Kavität verblasen (Dentin nicht austrocknen).</p> <p>Mit Kerr Applicator 30s ins Dentin einmassieren; mit schwachem Luftstrom leicht verblasen.</p> <p>Mit Kerr Applicator sorgfältig alle Kavitätenwandbereiche benetzen; mit schwachem Luftstrom leicht verblasen; 40s lichthärten.</p>
Syntac Classic® (Vivadent, Schaan/Lichtenstein)	<p>Konditionierer (Email Preparator GS, Ch-Nr.LOT 901330 Exp. 1998-12): 37% Phosphorsäure</p> <p>Primer I (Syntac Primer): Tetraethylglycoldimethacrylat, Maleinsäure in wässriger Acetonlösung Ch-Nr.LOT 539329/2, ce 0047</p> <p>Primer II (Syntac Adhesive): Polyethylenglycoldimethacrylat, Glutaraldehyd 50% in wässriger Lösung Ch-Nr.LOT 539329/2, ce 0047</p> <p>Adhesive (Heliobond): Bis-GMA, Triethylenglycol-dimethacrylat Ch-Nr.LOT 539329/2, ce 0047</p>	<p>Auf Schmelz (30-60s) und Dentin (10-15s) wirken lassen; mit Wasser vollständig absprayen; Kavität total trockenblasen (Dentin austrocknen).</p> <p>Mit Kerr Applicator 15s auf Schmelz und Dentin einwirken lassen; mit Luft trocknen.</p> <p>Mit Kerr Applicator 10s auf Schmelz und Dentin auftragen; mit Luft trocknen.</p> <p>Mit Kerr Applicator sorgfältig alle Kavitätenwandbereiche benetzen; Überschüsse mit Luft verblasen; 10s lichthärten.</p>

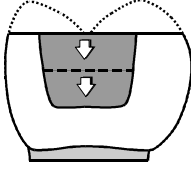
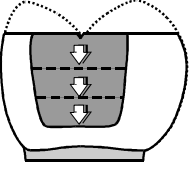
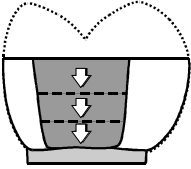
*nach Herstellerangaben. Ch-Nr. Chargen-Nummer; Bis-GMA Bisphenol Glycidyl Methacrylat

2.1.6 Applikation der Füllungen

Die in Phantom-Modellen angeordneten Testzähne wurden unter Zuhilfenahme von Transparentmatritzen (*DEL universal matrix strips*, *Dental Exports London*) und Holzkeilen (*Sycamore Interdental Wedges*, *Hawe Neos Dental*) für die Applikation der Füllungen vorbereitet. Anschließend erfolgte die systemkonforme Behandlung mit den entsprechenden Haftvermittlerprodukten. Die mittleren Kavitäten wurden in zwei, die großen in drei horizontalen Schichten gefüllt. Jede Schicht wurde 60 Sekunden lang von okklusal polymerisiert.

Mit jedem Kompositmaterial wurden pro Kavitätenform 8 Testfüllungen erstellt: *Tetric Flow*, *Tetric Ceram*, „*Lining-Technik*“ (*Tetric Flow* und *Tertric Ceram*) und *Solitaire*. Bei der „*Lining-Technik*“ wurde eine geringe Menge vom mittelviskösen *Tetric Flow* initial in die Kavität eingebracht, mit der Sondenspitze möglichst gleichmäßig auf die Kavitätenwände und in den Überangsbereichen zur Transparentmatritze verstrichen und 40 Sekunden polymerisiert. Nach der Aushärtung der „*Lining*“-Schicht erfolgte die übliche horizontale Schichtung des hochviskösen Komposits *Tertric Ceram* in beschriebener Weise. In *Tabelle 3* sind die untersuchten Gruppen graphisch dargestellt.

Tabelle 3: Zusammensetzung der untersuchten Restaurationsgruppen mit Angaben zu Volumen, Randwinkel, Material und Schichttechnik

Kavität	RW	Tetric Flow	Tetric Ceram	Lining-Technik	Solitaire	Schichttechnik
1) Mittlere Schmelz	45°	X	X	X	X	
2) Mittlere Schmelz	85°	X	X	X	X	
3) Große Schmelz	45°	X	X	X	X	
4) Große Schmelz	85°	X	X	X	X	
5) Große Dentin	45°	X	X	X	X	
6) Große Dentin	85°	X	X	X	X	

2.1.7 Ausarbeitung und Politur der Füllungsränder

Sämtliche Füllungsränder der Testzähne wurden nachbearbeitet. Überschüsse, unperfekte Polituren und sonstige Faktoren, die eine Qualitätsbeurteilung von Seiten der Versuchsdurchführung beeinflussen konnten, waren zu minimieren. Grobe Füllungsüberschüsse wurden mit einem scharfen Skalpell entfernt. Dabei wurde darauf geachtet, daß die Klinge nie parallel zum Füllungsrandverlauf geführt wurde. Anschließend wurden feinere Überschüsse mit Al_2O_2 belegten Sof-Lex (3 M) Gummi-Polierscheiben verschiedener Körnung entfernt und die Ränder gleichzeitig hochglanzpoliert.

Die grobe Zahnflächenkonturierung erfolgte mit einer Konturier- und Polierscheibe Sof-Lex Medium (12,7mm • $\frac{1}{2}$ in Ø85, No. 1982M mit 40µm Körnung). Die eigentliche Randbearbeitung fand unter Anwendung von Sof-Lex

Fine- und Superfine Konturier- und Polierscheiben statt (12,7mm • 1/2 in Ø85, No. 1982F mit 12µm und No. 1982SF mit 3µm Körnung). Rotierend wurden die Polierscheiben vom Füllungsmaterial in Richtung Zahnhartsubstanz bewegt, um die Oberflächenstrukturen des Zahnes möglichst unverändert zu lassen. Sämtliche Arbeitsschritte wurden unter visueller Kontrolle mittels 2,3-facher Lupenvergrößerung durchgeführt und die abschließende Betrachtung nach der Hochglanzpolitur erfolgte unter 8-facher Lupenvergrößerung.

2.1.8 Lagerung der gefüllten Testzähne

Die Testzähne wurden zur Vermeidung von Austrocknung und Sprödigkeit der Zahnhartsubstanz in physiologische Kochsalzlösung (0,9% NaCl Lösung) gelagert. Bis zum Zeitpunkt der Replika-Herstellung sollte durch feuchte Lagerung die Qualität der Füllungsänder gewahrt werden. Die Verweildauer in der Lösung betrug mindestens 4 bis maximal 15 Tage. Allgemein erfolgte die Aufbewahrung der Testzähne, sowohl vor dem Thermocycling-Verfahren, als auch nach der thermischen Belastung, in 0,9%-iger physiologischer Kochsalzlösung.

2.2 Methodik der Randqualitätanalyse

2.2.1 Herstellung von Kunstharzreplikas

Für die Beurteilung und Analyse unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) wurden Replikas aus Kunstharz angefertigt.

Die in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrten Testzähne wurden getrocknet und mittels einer additionsvernetzenden Silikonabformmasse *President Jet light body (Coltene, Art.No 4861)* abgeformt. Anschließend wurden die visuell kontrollierten Abdrücke über 2 bis 3 Tage staubgeschützt gelagert.

Die Zubereitung des Kunstharzgemisches erfolgte durch die Zusammengabe von *Kunstharz Araldit CW 2215 (Ciba, Net 750 G, Ident. No 0411949, Sales Hem Ident. No 1389685, Batch No 20173473)* und dem korrespondierenden Härter aus Isopherondiamin/ Benzolalkohol *Härter HY 5162 (Gößl & Pfaff Kunstharze, Batch No 52554158, Art. No 6 Hy 516200)*. Das Mischverhältnis von Harz zu Härter betrug 5:1. Der Mischvorgang dauerte 10 -15 Minuten und wurde zur Vermeidung von Luftblasen auf einem „Rüttler“ durchgeführt. Aus demselben Grund wurden die Negativabdrücke der Testzähne ebenfalls auf dem Rüttler mit dem zubereiteten Harzgemisch ausgegossen.

Nach dem vollständigen Abbinden wurden die frisch entnommenen Replikas auseinandergesägt. Als Resultat erhielt man zwei Kronenhälften mit jeweils einer Testfüllung. Die eine mit und die andere ohne Anchrägung des präparierten Kavitätenrandes. Die Volumina der Testfüllungen einer getrennten Krone entsprachen einander (mit geringen herstellungsbedingten Unterschieden der Präparationsansätze). Die Füllungsmaterialien waren dabei identisch.

Die Herstellung der Replikas von sämtlichen Testfüllungen erfolgte vor und nach dem Thermocycling-Verfahren. Sie wurden zur Identifizierung und für einen späteren Vergleich gekennzeichnet und geschützt aufbewahrt.

2.2.2 Thermocycling

Nach der Randbearbeitung der Testfüllungen und Lagerung in physiologischer Kochsalzlösung wurde die Qualität der Füllungsänder für die Betrachtung unter dem REM in Kunstharz dupliziert. Die anschließende Temperatur-Wechselbelastung *Thermocycling-Verfahren* sollte eine Materialermüdung in der Mundhöhle simulieren. Die Proben wurden mit 2500 Zyklen in Bädern mit destilliertem Wasser von 5° C und 55° C unterzogen. Die Verweildauer im jeweiligen Temperaturbad betrug 30 Sekunden. Nach dem „Stressvorgang“ wurden die Proben wieder mindestens für 4 bis maximal

15 Tage in 0,9%-iger Kochsalzlösung gelagert bevor neue Replikas zur erneuten Betrachtung unter dem REM hergestellt wurden.

2.2.3 Durchführung der Randanalyse

Durch Kennzeichnung der einzelnen Testfüllung war nicht nur eine Betrachtung sondern auch die gleichzeitige Messung der beurteilten Strecken von Randqualitäten pro Restauration möglich (Abbildung 4 a-d). Ein direkter Vergleich zwischen prä- und postthermocycling quantitativ erfaßten Randqualitäten einer gekennzeichneten Restauration war dadurch gewährleistet.

Die Füllungsänder wurden im Rasterelektronenmikroskop (DSM 940, Zeiss, Oberkochen) analysiert. Dazu wurden die auseinander gesägten Replikas auf Probenteller fixiert und die Oberflächen der Testfüllungen mit Golddampf „besputtert“. Die Füllungsoberfläche wurde dabei möglichst senkrecht zur Kathodenflußrichtung auf dem Probenteller ausgerichtet. Gegebenfalls war eine Korrektur der Sägefläche für die parallele Ausrichtung der Füllungsoberfläche in Relation zum Probentellerboden notwendig. Dadurch konnte die quantitative Erfassung der bewerteten Randabschnitte weitestgehend ohne optische Verzerrung erfolgen. Zur Fixierung der Replikas auf REM taugliche Probenteller fand als leitfähiger Kleber das Karbon-Zement *Leit C (Neubauer Chemikalien)* seine Anwendung.

Die Auswertung erfolgte bei 100-facher Standard-Vergrößerung nach folgenden Evaluationskriterien:

Als „perfekte Ränder“ (A) wurden Randbereiche mit kontinuierlichem Übergang der Begrenzung zwischen Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz ohne Höhenunterschied bezeichnet. Geringfügige Unregelmäßigkeiten in Form von leichten Höhenunterschieden und Porositäten am Füllungsrand ohne Spaltbildung wurden mit (B) bewertet. Unterbrechungen innerhalb des Füllungsrandverlaufes wurden als Spaltbildung definiert und erhielten die

Bewertung (C). Bruchlinien und Spaltrisse mit Begrenzung in Schmelz oder Dentin bekamen die Bezeichnung Schmelzrandfraktur (D), in Komposit die Bezeichnung Kompositrandfraktur (E). Füllungsbereiche, die den präparierten Kavitätenrand überdeckten wurden als Überschüsse (F) und solche Areale mit „unterschüssigem“ Höhenniveau am Übergang zur Zahnhartsubstanz als Unterschüsse (G) evaluiert.

Legende zu den Abbildungen 4a-d:

- (A) Perfekter Rand
- (B) Kleine Randimperfectionen
- (C) Randspalt
- (D) Schmelzrandfraktur
- (E) Kompositrandfraktur
- (F) Überschüsse
- (G) Unterschüsse

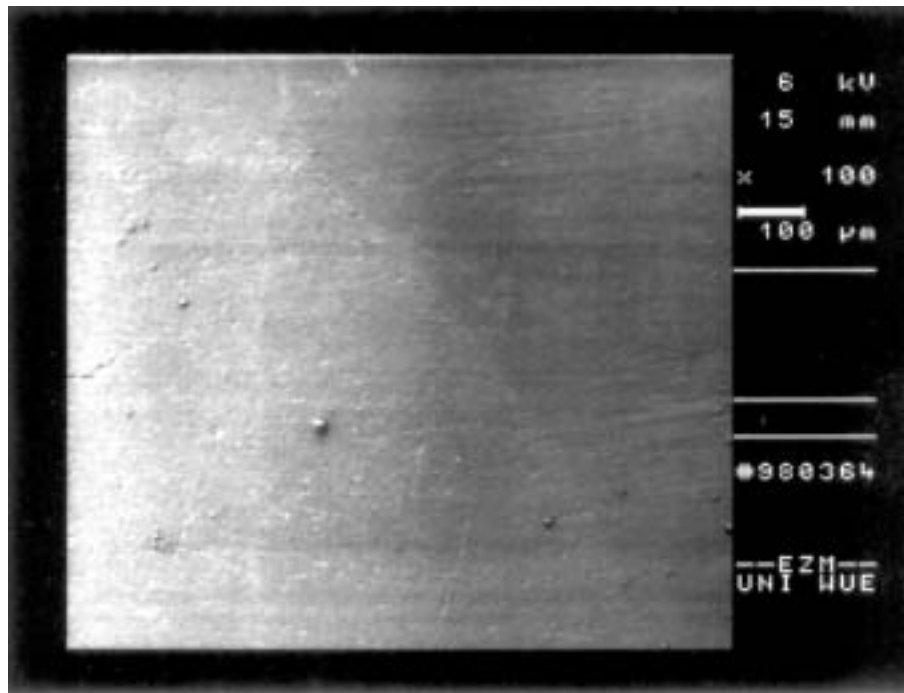


Abb. 4a: Randanalyse von Solitaire im REM, kleine Kavität und 45° RW mit perfektem Rand; Bewertung (A), 100fache Vergrößerung.

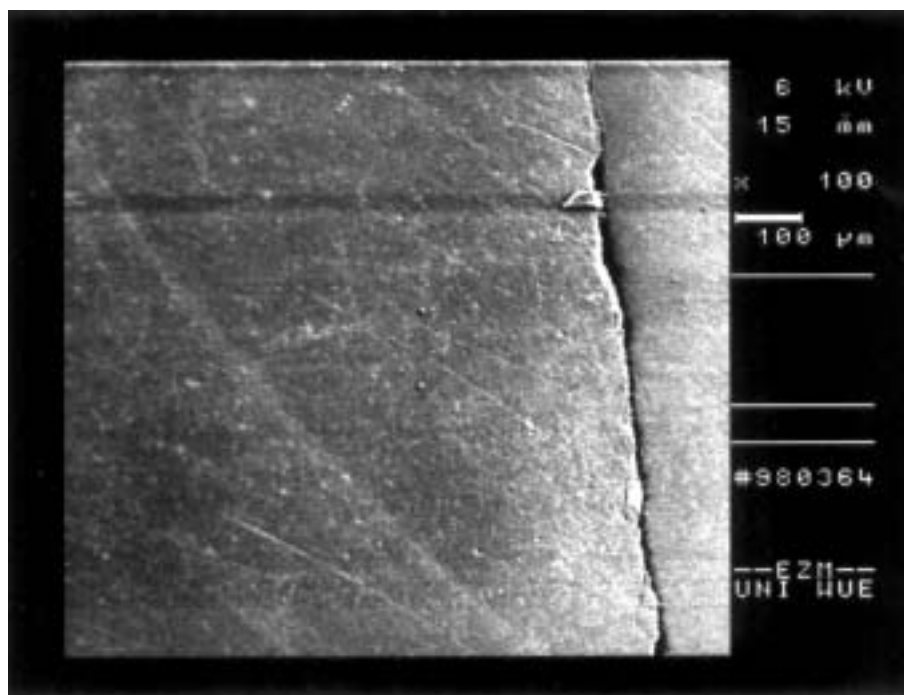


Abb. 4b: Randanalyse von Solitaire im REM, kleine Kavität und 85° RW mit Randspalt; Bewertung (C), 100fache Vergrößerung.

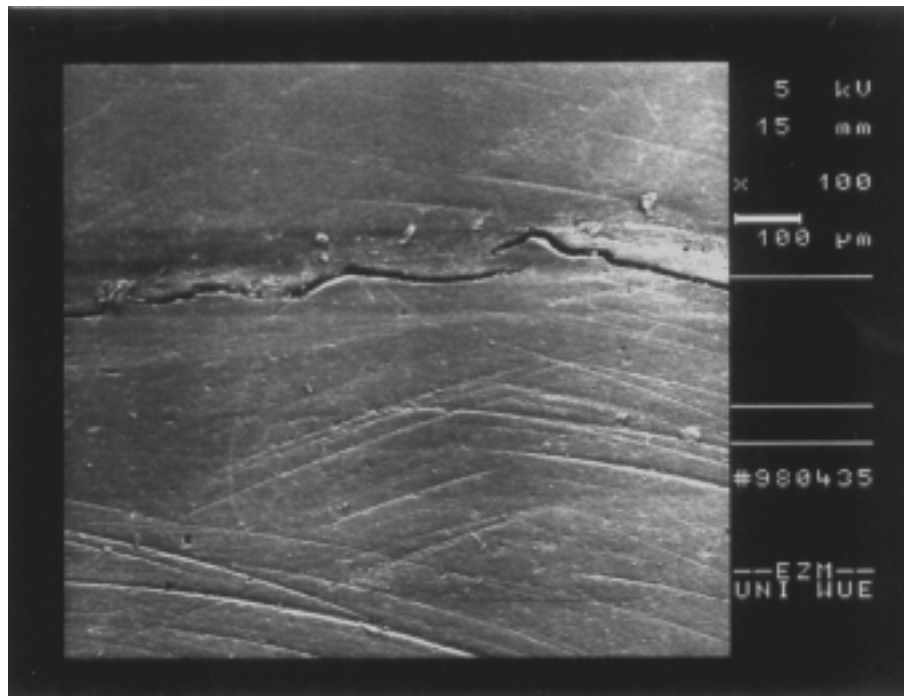


Abb. 4c: Randanalyse von Solitaire im REM, große Kavität und 45° RW mit Randspalt; Bewertung (E), 100fache Vergrößerung.

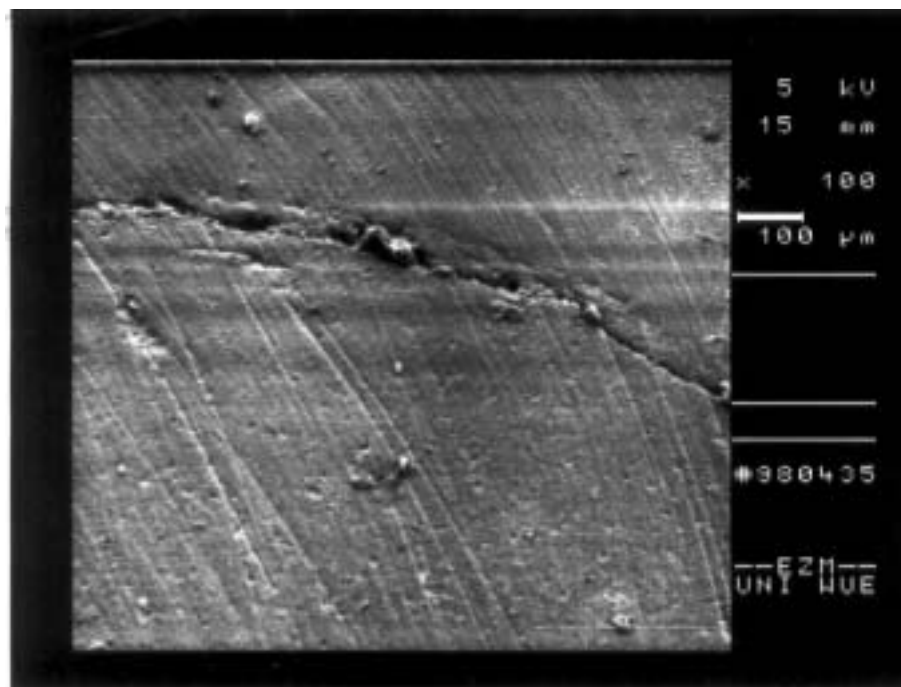


Abb. 4d: Randanalyse von Solitaire im REM, große Kavität und 85° RW mit Randspalt; Bewertung (C) und (E), 100fache Vergrößerung.

2.2.4 Statistische Auswertung

Die Füllungsänderungen wurden streckenweise nach den in 2.2.3 genannten Evaluationskriterien beurteilt und quantitativ erfaßt. Die Wertung erfolgte vor und nach dem Thermocycling-Verfahren.

Die Signifikanz-Analyse der evaluierten Randqualitäten erfolgte mit Hilfe des *Quanticap-Software-Paketes (Küppers)*. Für die statistische Auswertung wurden unter Verwendung der *Bonferroni-Korrektur* nonparametrische Testverfahren durchgeführt (*Mann-Whitney-U-Test, Kruskal Wallis-Test*). Das Signifikanzniveau betrug $p \leq 0,05$.

3. Ergebnisse

3.1. Übersicht

Untersucht wurde die Randqualität von standardisierten Klasse-II Kompositrestaurationen in Bezug auf Füllungsvolumen, Lokalisation des zervikalen Randes in Schmelz bzw. Dentin, Kavitätenrandwinkel und Restaurationsmaterial. Die quantitative und qualitative Analyse der Füllungsänderer erfolgte vor und nach Thermocycling mit Hilfe des Rasterelektronenmikroskopes.

Die Mittelwerte der Randbewertungskriterien nach der thermischen Beanspruchung sind für die einzelnen Untersuchungsgruppen in den *Abbildungen 5 bis 11* dargestellt. Die Auswertungen vor dem Thermocycling ergaben nur geringfügige Unterschiede zwischen den Untersuchungsgruppen; daher wurde auf eine graphische Darstellung verzichtet. Die Anteile an „perfektem Rand“ (Kriterium A) lagen zwischen 57,8% und 85,3%. Im Gegensatz dazu konnten Randspalten (Kriterium C) zwischen 0% und 13,5% gefunden werden. Die Veränderung der Randqualität durch Stressung der Proben äußerte sich in einer Zunahme der „kleinen Randimperfectionen“ und Spaltbildung „auf Kosten“ der perfekten Randanteile.

3.2 Kriterium „Füllungsvolumen“

Nach der thermischen Stressung wurden im Vergleich von *mittleren* und *großen* Schmelzkavitäten statistisch signifikante Qualitätsunterschiede beobachtet. Höhere Anteile der untersuchten Randqualitäten mit der Bewertung „perfekter Rand“ (A) wurden für die Gruppe der mittleren Füllungen gefunden. Die Gruppe der großen Füllungen wies signifikant höhere Anteile an Randspalten (C) auf ($p \leq 0,05$). Der Einfluß des *Füllungsvolumens* auf die Qualität des Restaurationsrandes wird graphisch in *Abbildung 5* dargestellt.

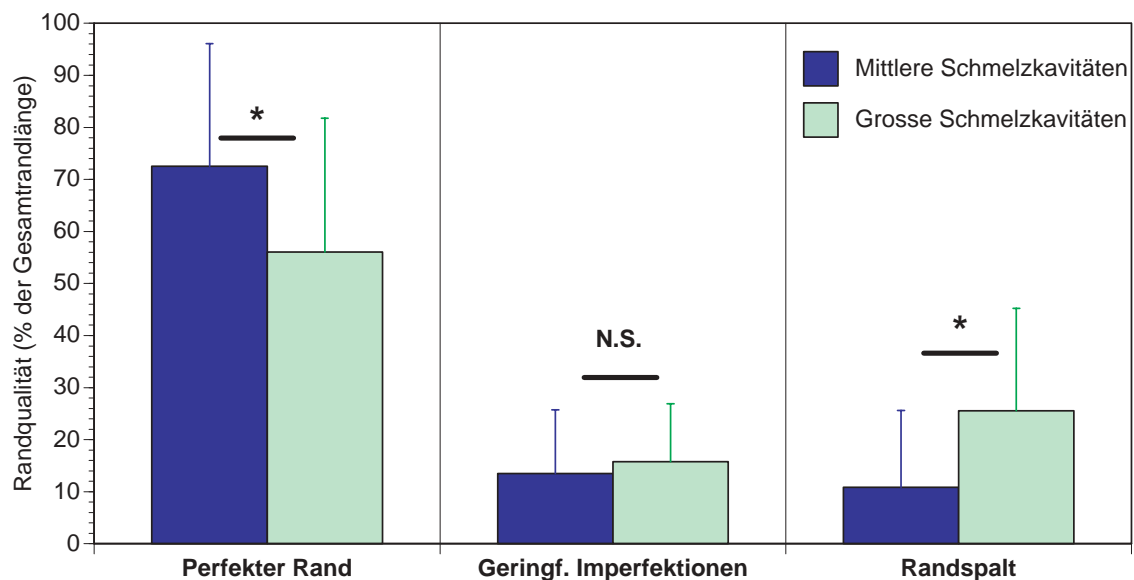


Abb. 5: Randqualität nach Thermocycling: Vergleich der mittleren und großen Schmelzkavitäten. N.S.: statistisch nicht signifikant; *: statistisch signifikant.

3.3 Kriterium „zervikaler Rand in Schmelz / Dentin“

Die großen Füllungen mit zervikaler Begrenzung in Schmelz zeigten im Vergleich zu Restaurationen gleicher Größe in Dentin nach Thermocycling signifikant weniger Randanteile mit Spaltbildung (C). Die mit „perfekt“ (A) bewerteten Randanteile lagen für beide Gruppen im Mittel zwischen 50% und 56%. Die Füllungsränder oberhalb der SZG erhielten signifikant mehr „perfekte“ (A) Bewertungen im Vergleich zu Restaurationen mit zervikaler Begrenzung in Dentin. Der Einfluß der *Lokalisation des zervikalen Restaurationsrandes* auf die Randspaltbildung läßt sich der Graphik in *Abbildung 6* entnehmen.

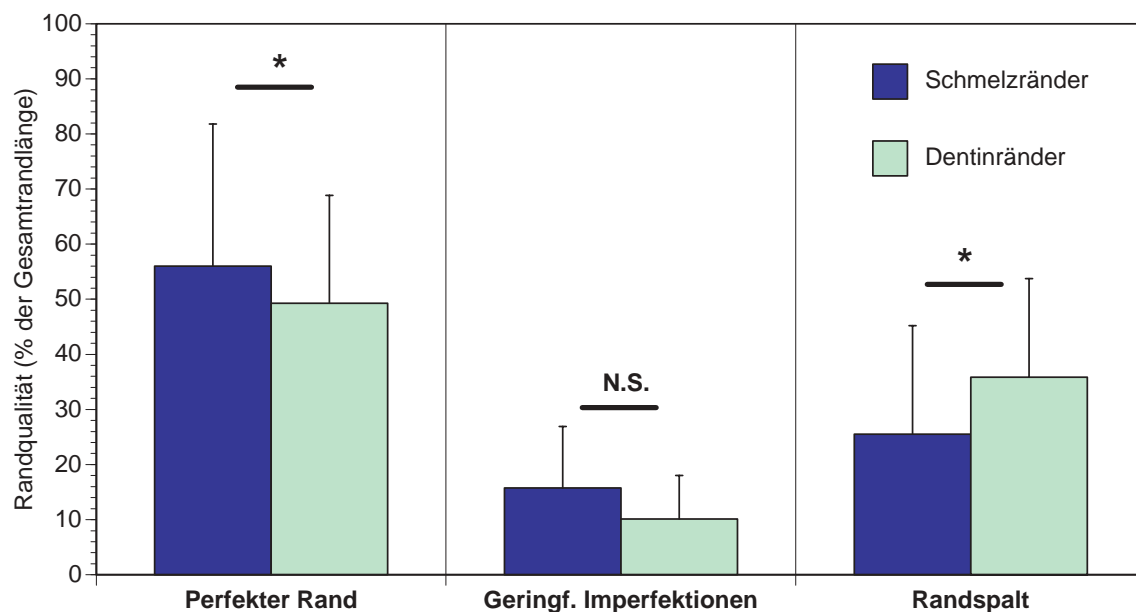


Abb. 6: Randqualität nach Thermocycling: Grosse Kavitäten mit zervikaler Randbegrenzung in Schmelz und Dentin. N.S: statistisch nicht signifikant; *: statistisch signifikant.

3.4 Kriterium „Kavitätenrandwinkel“

Nach dem Thermocycling-Verfahren konnten deutliche Qualitätseinbußen der Restaurationsränder in direktem Zusammenhang mit der Gestaltung des *Kavitätenrandwinkels* (45° bzw. 85°) festgestellt werden. Für die Schmelzkavitäten mit 85° RW wurden signifikant weniger „perfekte Ränder“ evaluiert und mehr Anteile mit Spaltbildungen gefunden (*Abbildung 7*).

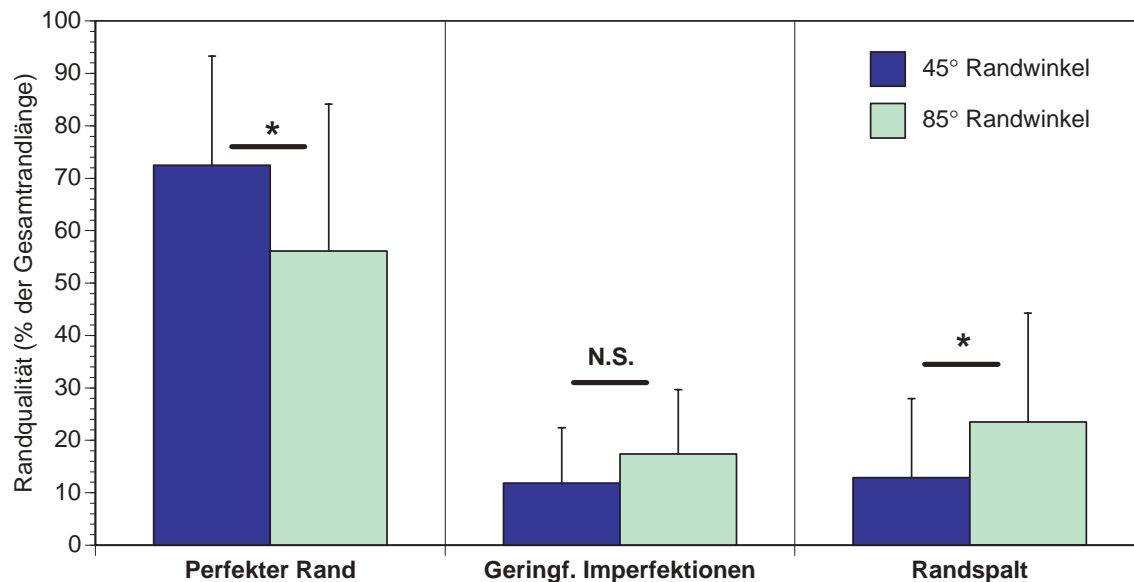


Abb. 7: Randqualität nach Thermocycling : Schmelzqualität mit unterschiedlichem Randwinkel (45° und 85°). N.S: statistisch nicht signifikant; *: statistisch signifikant

3.5 Kriterium „Material / Applikationstechnik“

Die verwendeten Restaurationsmaterialien - ohne Berücksichtigung der Kavitätengestaltung - zeigten im Vergleich folgende Randqualitäten: Tetric Ceram bzw. die „Lining-Technik“ mit Tetric Flow und Tetric Ceram erzielten häufiger die Bewertung „perfekter Rand“ (A), während die ausschließliche Verwendung von Tetric Flow bzw. Solitaire signifikant höhere Anteile an Randspalten ergaben. Die Wahl des Restaurationsmaterials bzw. der Applikationsform und dessen Einfluß auf die Randqualität wird graphisch in Abbildung 8 festgehalten.

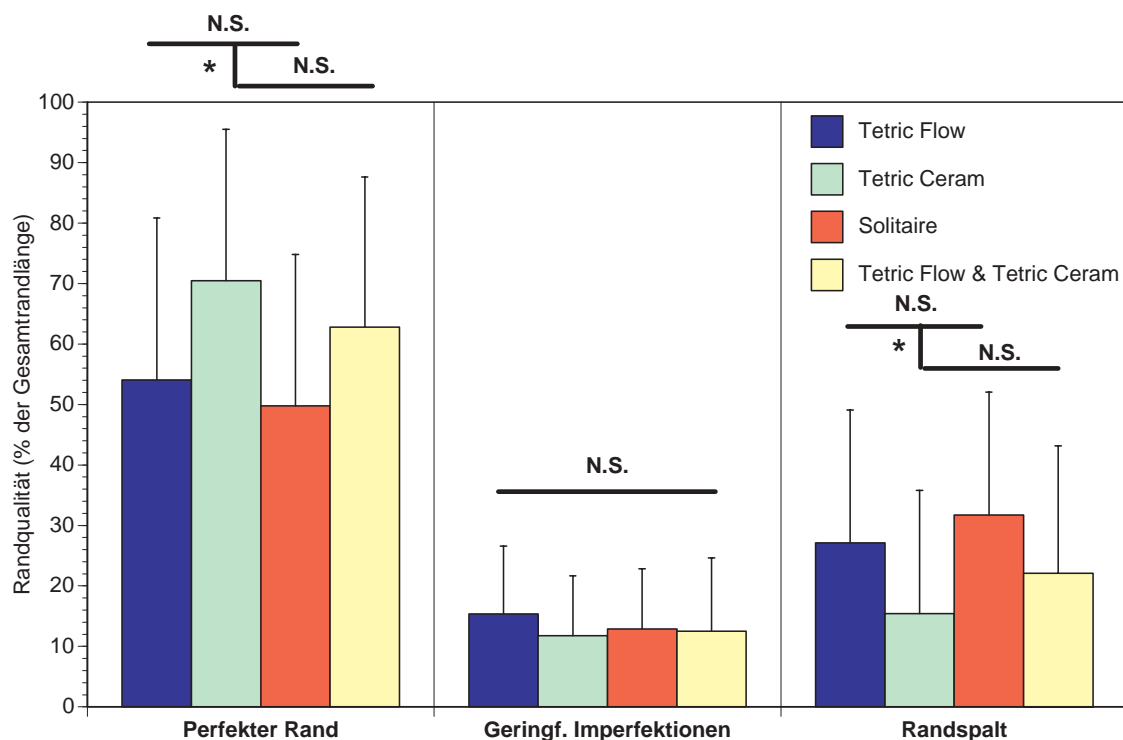


Abb. 8: Randqualität nach Thermocycling: Vergleich verschiedener Restaurationsmaterialien. N.S: statistisch nicht signifikant; *: statistisch signifikant

3.6 Material / Applikationstechnik bei unterschiedlichem Randwinkel und unterschiedlichem Volumen

3.6.1 Material- und Randwinkel bei mittelgroßen Schmelzkavitäten

Für den Füllungswerkstoff Solitaire in Kombination mit einem Kavitätenrandwinkel von 85° wurde ein signifikant erhöhter Anteil an Randspalten ermittelt. Zugleich wurden für diese Kombination signifikant weniger (A)-Bewertungen vergeben.

Die Randwinkelgestaltung mit 45° erwies sich im Allgemeinen als vorteilhaft. Gegenüber den Kavitäten mit 85° RW wurden deutlich mehr Randanteile höherer Qualität gefunden (Abbildung 9). Unabhängig vom verwendeten Füllungsmaterial zeigten sich jedoch bei den Gruppen mit mittelgroßen Füllungen nur geringfügige Qualitätsunterschiede (mit Ausnahme der Gruppe mit Solitaire).

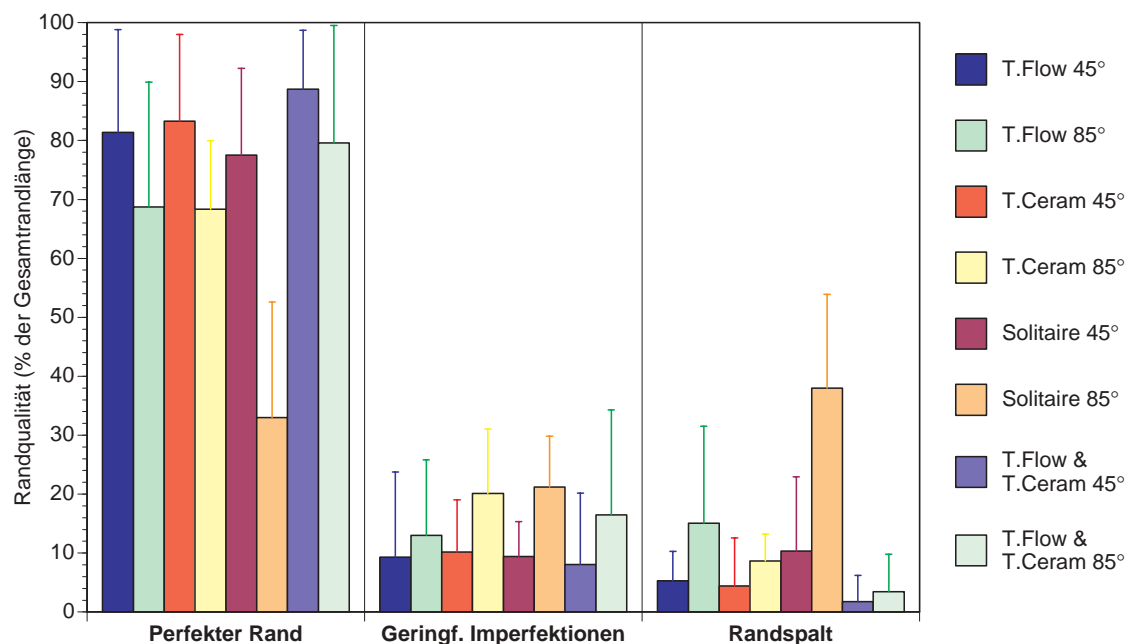


Abb. 9: Randqualität nach Thermocycling: Vergleich verschiedener Restaurationsmaterialien bei mittelgroßen Schmelzkavitäten mit unterschiedlichem Randwinkel. N.S: statistisch nicht signifikant; *: statistisch signifikant

3.6.2 Material- und Randwinkel bei großen Schmelzkavitäten

Der häufigste Anteil an „perfekten Rändern“ (A) wurde in der Gruppe von Tetric Ceram mit 45° Randanschrägung gefunden. Die meisten (C)-Bewertungen erhielt dagegen die Gruppe mit kastenförmigen Präparationen (85° RW), gefüllt mit dem Werkstoff Solitaire. Tetric Flow und Solitaire mit 85° RW erzielten bei der Gruppe mit großem Füllungsvolumen die geringsten Anteile an „perfekten Rändern“. Bezüglich „perfekter Ränder“ und „Randspalten“ waren die Unterschiede von Solitaire mit 85° RW zu den übrigen Gruppen signifikant. Im Gegensatz zu allen anderen Gruppen fand man bei der Gruppe „Lining-Technik“ mit Füllungen in großen Schmelzkavitäten umgekehrte Qualitätsverhältnisse hinsichtlich des Winkeleinflusses:

Kavitäten mit 85° RW, die in Lining-Technik gefüllt wurden, wiesen im Mittel mehr Anteile an (A)-Bewertungen auf als die Kavitäten mit 45° Anschrägung. Im Vergleich zu den anderen Untersuchungsgruppen zeigten sich auch umgekehrte Verhältnisse bei der Vergabe von (B)-Bewertungen, „geringfügige Imperfektionen“. Während bei den restlichen Testgruppen mit 45° RW häufiger (A)-Bewertungen vergeben wurden und dafür weniger (B)-Bewertungen, waren bei der Gruppe in „Lining-Technik“ applizierter Füllungen mit 45° RW häufiger Randqualitäten mit „geringfügigen Imperfektionen“ auf Kosten der (A)-Bewertungen festgestellt worden, als bei denen mit 85° RW. Hinsichtlich des Auftretens von Randspalten (C) in beiden Gruppen, war kein signifikanter Einfluß der Gestaltung des Randwinkels zu erkennen. Einen direkten Vergleich aller Testgruppen findet man in *Abbildung 10* graphisch dargestellt.

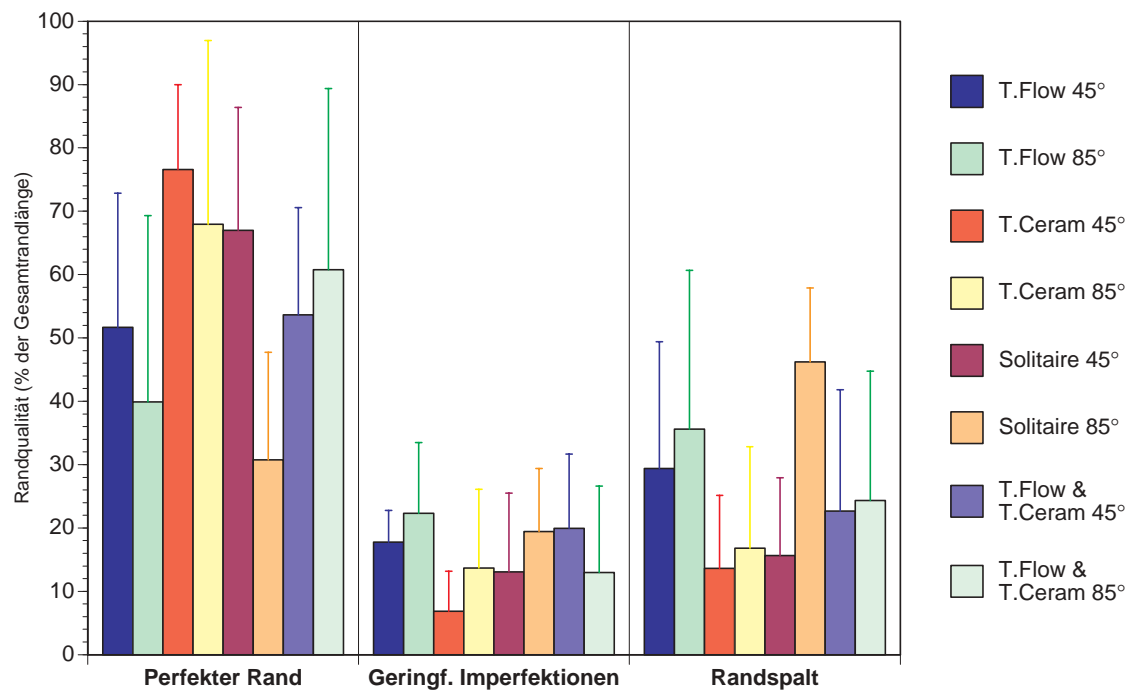


Abb. 10: Randqualität nach Thermocycling: Vergleich verschiedener Restaurationsmaterialien bei großen Schmelzkavitäten mit unterschiedlichem Randwinkel. N.S: statistisch nicht signifikant; *: statistisch signifikant.

3.7 Material / Applikationstechnik bei großen Dentinkavitäten

Ungeachtet der Kavitätenrandgestaltung stellte sich bei großen Kavitäten mit zervikaler Dentinbegrenzung, die Testgruppe von Tetric Ceram nach thermischer Stressung als diejenige, mit dem signifikant höchsten Anteil an (A)-Bewertungen und den signifikant geringsten Anteil von Spaltbildungen heraus. Die übrigen Testgruppen wiesen nahezu gleichwertige Randqualitäten auf: Sowohl die Anteile an „perfekten Rändern“ als auch die evaluierten „Spaltbildungen“ lagen um 40-50%. Graphisch werden die Ergebnisse in *Abbildung 11* erfasst.

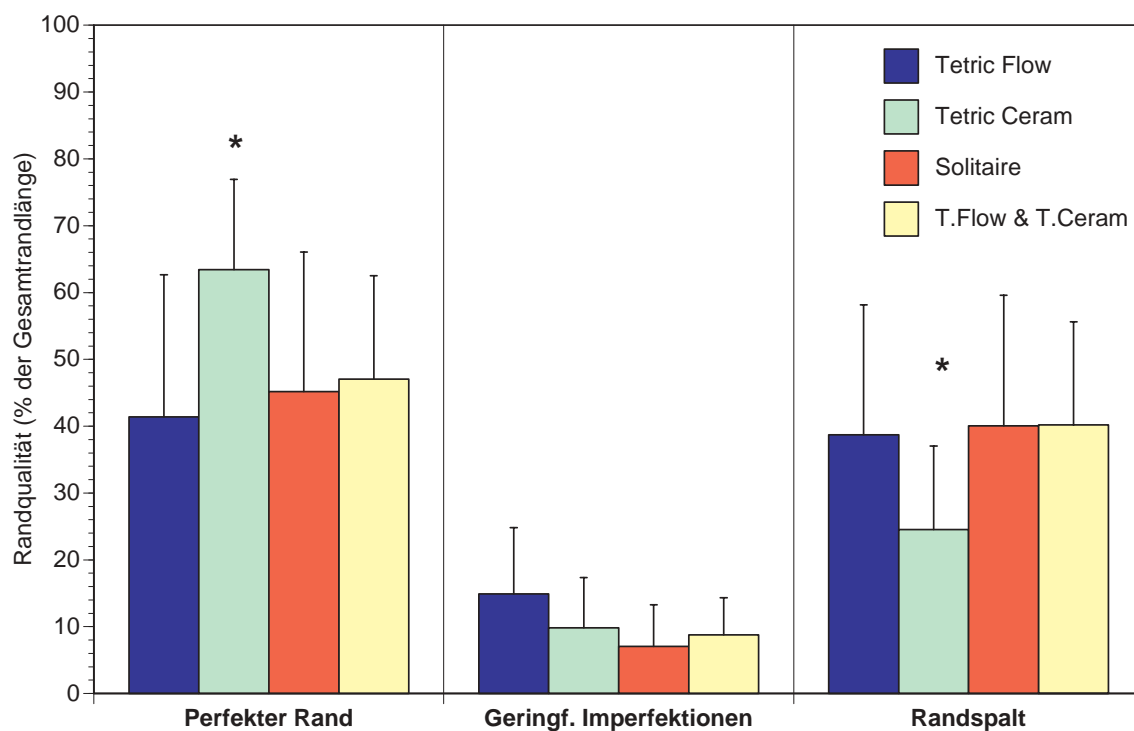


Abb. 11: Randqualität nach Thermocycling. Vergleich verschiedener Restaurationsmaterialien bei dentinbegrenzten Kavitäten.
N.S: statistisch nicht signifikant; *: statistisch signifikant.

4. Diskussion

4.1 Die Randspaltproblematik von Kompositrestaurationen

Die Randspaltbildung von adhäsiven Füllungsrestaurationen stellt nach wie vor ein Problem dar [DEGEE et al. 1981, BOWEN et al. 1983, DAVIDSON 1986]. Eine auf Dauer absolut randspaltfreie Restauration nach den bisher bekannten Adhäsivtechniken und Applikationsmethoden konnte noch nicht sicher gewährleistet werden. Die Hauptproblematik liegt nach wie vor im Schrumpfungsverhalten des Füllungswerkstoffes Komposit.

Die Aushärtung des Füllungswerkstoffes Komposit wird durch den chemischen Vorgang der lichtinduzierten Polymerisationsreaktion eingeleitet. Die Lichteinwirkung auf Initiatoren bei einer Wellenlänge von ca. 460nm bewirkt die Freisetzung von hoch reaktiven, sogenannten freien Radikalen. Diese starten die eigentliche Polymerisationsreaktion durch Lösen der Doppelbindungen und Verkettung der Monomere zu einem Netzwerk. Bei der Umwandlung der Doppelbindungen in einfach gesättigte Bindungen kommt es zu einer Verringerung der intermolekularen Abstände von Makromolekülbestandteilen. Diese äußert sich in Form einer volumetrischen Polymerisationsschrumpfung. Die bei der Polymerisationsschrumpfung entstehenden Kräfte wirken dem adhäsiven Verbund an den Kavitätenwänden und -flächen entgegen. Es kommt innerhalb des Komposits zum Aufbau von Spannungsprozessen, die für die Entstehung von Randspalten oder „Mikroleakage“ maßgeblich verantwortlich sind [FEILZER et al. 1990b, WILLEMS et al.1993]. Das unterschiedliche Kontraktions- und Expansionsverhalten von Zahnhartsubstanz und Komposit kann den adhäsiven Verbund zusätzlich beeinträchtigen und Mikrospalten und Frakturerscheinungen an den Restaurationsrändern verursachen [DAVIDSON & FEILZER 1997].

Es besteht eine übereinstimmende Erkenntnis darüber, daß Mikrospalten günstige Wachstumsbedingungen für eine Besiedlung und Ansammlung von Bakterien und Nahrungsbestandteilen bieten. Eine solche Akkumulation von Bakterien innerhalb solcher Kompositrandspalten ist kritisch zu bewerten, da ein kariesprotektives Spaltemilieu wie bei Amalgamfüllungen fehlt [FRIEDL *et al.* 1992, HAHN *et al.* 1992]. Diese Umstände können zu Sekundärkaries und Pulpaerkrankungen führen [BRÄNNSTRÖM & NORDENVALL 1978, STAININEC *et al.* 1996, TORSTENSON & BRÄNNSTRÖM 1988].

Die Polymerisationskontraktion des Kompositmaterials in der Post-Gelphase stellt die Hauptursache für die Bildung von „Mikroleakage“ dar. Die Kompositmaterialien weisen eine Schrumpfung bis zu ca. zwei Volumenprozent auf [DE GEE *et al.* 1981, FEILZER *et al.* 1988b, 1989]. Ein bestehender primärer Verbund zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit kann nach dem Prozeß der Polymerisationsschrumpfung sekundär durch eine Spannungsentladung bei späteren thermischen und mechanischen Belastungen zu Randspaltbildungen führen. Das Versagen der Verbundzone äußert sich in Form von kohäsiven Spaltbildungen und Rissen in Schmelz, Dentin oder Komposit. Durch die Wahl des Füllungsmaterials, der Applikationstechnik und der Lichtintensität bzw. die Bestimmung der Polymerisationszeit kann der Zahnarzt aktiv die Entwicklung der Residualspannung innerhalb der Restauration beeinflussen [UNTERBRINK & MÜSSNER 1995, GOORACI *et al.* 1996, DAVIDSON-KABAN *et al.* 1997].

4.2 In-vitro Untersuchung von Klasse-II-Kompositrestaurationen

Randanalysen von laborgefertigten Kompositrestaurationen können nach den Untersuchungen von ABDALLAH & DAVIDSON [1993] nur eine eingeschränkte Vorhersage für Randspaltbildungen an klinisch gefertigten Kompositrestaurationen treffen. Mit ihrer vergleichenden Studie zu Klasse-II-

Kompositfüllungen unter in-vitro und in-vivo Bedingungen haben sie auf diese Problematik hingewiesen.

In-vivo Untersuchungen stehen generell in großer Abhängigkeit von der Compliance der teilnehmenden zahnärztlich behandelnden Mitarbeiter und der Patienten. Die Auswahl der Probanden nach möglichst standardisierten Versuchsbedingungen gestaltet sich schwierig. Die Anzahl der zu untersuchenden Testzähne sind bei in-vivo Untersuchungen aufgrund individueller Abweichungen in der Regel eingeschränkt. Klinische Behandlungsbedingungen verursachen aus der Sicht des Zahnarztes einen hohen instrumentellen Aufwand, ein stark eingeschränktes Behandlungssichtfeld und einen beeinträchtigten Zugang bei der Präparation standardisierter Kavitäten. Die *absolute Trockenlegung* des Arbeitsfeldes wird während der Applikationsphase von Kompositrestaurationen (als Schutz vor der Kontaminierung mit Speichel und Blut) als obligat erachtet. Gewisse Qualitätsunterschiede sind bei der Herstellung von Testfüllungen unter in-vivo Bedingungen, aufgrund der Vielzahl genannter Parameter und den daraus resultierenden möglichen Fehlerquellen kaum auszuschließen und können das standardisierte Verfahren negativ beeinflussen.

Die Herstellung von in-vitro Testfüllungen begünstigen dagegen ein standardisiertes Vorgehen durch einfache Laborbedingungen und Minimierung möglicher individueller Fehlerquellen. In den vergangenen Jahren wurden vergleichende Bewertungen verschiedener Restaurationsmaterialien und Applikationstechniken auf relativ einfache Art und Weise im Labor durchgeführt. Die von *ROULET et al. [1989b] und ROULET [1991]* beschriebenen in-vitro Untersuchungen zur Beurteilung von Füllungsrandqualitäten gelten heutzutage als etablierte Methode.

Der von *FEILZER et al. 1987* beschriebene „configuration factor“ (C-Faktor) beschreibt das Verhältnis von adhäsiv gebundener und ungebundener Fläche einer Kompositrestauration. Der C-Faktor verhält sich bei Klasse-II-Füllungen im Vergleich zu anderen Klassen der Adhäsivrestauration ungünstig [*DE LA*

MACORRA & GOMEZ-FERNANDEZ 1996, DAVIDSON & DAVIDSON-KABAN 1998]. In der vorliegenden in-vitro Studie wurde die quantitative und qualitative Randanalyse von Klasse-II-Kompositrestaurationen als Bewertungsgrundlage für das jeweilige Restaurationsverfahren angesehen.

In der vorliegenden Studie stellt sich insbesondere die Randspaltbildung nach thermischer Stressung, aufgrund der unterschiedlichen thermischen Expansionskoeffizienten von Komposit und Zahnhartsubstanz, für die Qualität einer Kompositrestauration als wesentlicher „Stressfaktor“ heraus. Die Simulation der Materialermüdung in der Mundhöhle erfolgt durch das Thermocycling-Verfahren. Das im Vergleich zur natürlichen Zahnhartsubstanz stärker ausgeprägte Schrumpfungs- und Expansionsverhalten von Komposit führt zur Spannungsinduktion im Randbereich. Die hauptsächliche mechanische Stressung wird deshalb insbesondere in den Randbereichen der Restaurationen vermutet. Vor der Belastung für intakt befundene Ränder können hinterher Spaltbildungen aufweisen [STAININEC *et al.* 1986, TORSTENSON & BRÄNNSTROM 1988]. Die klinische Relevanz des *thermischen Expansionskoeffizienten* für die klinische Bewertung eines Materials wird allerdings, aufgrund der relativ schlechten thermischen Leitfähigkeit von Kompositen und der vergleichbar kurz ausgesetzten Verweildauer einer Testfüllung bei einer bestimmten Temperatur von verschiedenen Autoren in Frage gestellt [ROSSOMANDO & WENDT 1995, BARCLAY 1998, YOUNGSEN 1998]. Andere klinische Untersuchungen über Klasse-II-Kompositfüllungen zeigen zufriedenstellende Langzeitresultate [PALLSEN & Qvist 1995, NORDBO *et al.* 1998a]. In der Studie von WILSON [1991] wurden Kompositrestaurationen der Klasse II mit vermuteten Mikrospalten während einer Beobachtungsperiode von 5 Jahren auf deren klinische Auswirkungen untersucht. Sie konnten dabei keine negativen Auswirkungen feststellen.

4.3 Kavitätengestaltung

Die primären Schwierigkeiten bei approximalen Kompositkavitäten entstehen durch die Vorgabe des Defektes und die daraus resultierende Kavitätengestaltung. Das Ausmaß der Defektausdehnung verursacht dabei häufig eine reduzierte Schmelzverbundfläche und beeinflusst dadurch die Verbundqualität im Zervikalbereich. In der vorliegenden Studie werden kastenförmige Kavitäten der Klasse II hinsichtlich der Volumengröße, der Distanz des zervikalen Kavitätenrandes zur Schmelz-Zement-Grenze und des Kavitätenrandwinkels unterschieden. Unter Betrachtung der verschiedenen Kavitätenmerkmale werden die Auswirkungen der Polymerisationsschrumpfung auf die marginale Integrität von Kompositfüllungen im Folgenden diskutiert. Aufgrund der standardisierten Methodik können unter Zuhilfenahme der sonoabrasiven Präparationstechnik zuvor festgelegte Kriterien für die reproduzierbare Gestaltung des Kavitätendesignes konstant gehalten werden. Durch das plane Abtrimmen der Okklusalfäche wird die Beibehaltung des Kavitätenvolumens erleichtert.

4.3.1 Standardisierung der Testproben

Zur Beurteilung von Klasse-II-Kavitäten werden üblicherweise „frisch“ extrahierte menschliche Seitenzähne verwendet. Herkunftsbedingt weisen sie unterschiedliche Makro- und Mikromorphologien, sowie ein unterschiedliches „Lebensalter“ auf. In der vorliegenden in-vitro Studie wird die räumliche Beziehung benachbarter Zähne durch Montage der Testproben in ein Schienen-Modellsystem nachgestellt.

Trotz randomisierter Aufteilung in Testgruppen, mit in der Regel geringen Gruppengrößen ($n=8$ oder $n=10$) ist es häufig schwierig, die Effekte des individuell unterschiedlichen Zahnmaterials auszuschließen [SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995, DIETSCHI et al. 1995b, KREJCI et al. 1996, DIETSCHI &

HERZFELD 1998, GLOCKNER et al. 1998, HALLER & HELLWIG 1998]. Einer Erhöhung der Gruppengröße sind durch die eingeschränkte Verfügbarkeit intakter menschlicher Zähne und durch den hohen Aufwand für die Restaurationstechnik Grenzen gesetzt. Daher erscheint es sinnvoll, bei der Probenherstellung, „-nachbehandlung“ und -auswertung eine standardisierte Methodik festzulegen, um die Aussagekraft der Untersuchungsergebnisse zu verbessern.

Vergleicht man Untersuchungen zur „Randqualität bei Klasse-II-Kompositfüllungen“, so findet man zum einen ungenaue methodische Beschreibungen bei der Kavitätengestaltung. In seltenen Fällen werden Angaben zur Dimension oder Geometrie, zum Beispiel bei der Präparation von konventionellen MOD-Kavitäten gemacht. Zum anderen bleibt das verwendete Präparationsinstrumentarium häufig unerwähnt [*LUESCHER et al. 1977*]. In aktuellen Studien findet man häufiger exakte Maßangaben und Beschreibungen der Kavitätendesigns sowie Informationen zum verwendeten Präparationsinstrumentarium [*SCHUCKAR & GEURTSEN 1995, DIETSCHI et al. 1995b, DIETSCHI & HERZFELD 1998, HALLER & GÜNTHER 1998*]. Der Begriff „standardisierte Kavitätengestaltung“ muß jedoch kritisch hinterfragt werden. Individuelle Abweichungen bei der manuellen Präparation mit rotierenden Instrumenten sind nicht zu vermeiden [*DIETSCHI et al. 1995b, KREJCI et al. 1996, GLOCKNER et al. 1998*].

In den fünfziger Jahren beschrieben erstmals *CANTUNA [1953]* und *OMAN & APPLEBAUM [1955]* oszillierende Präparationstechniken im Schall- und Ultraschallbereich. Weiterentwicklungen wie das SonicSys-Instrumentarium (Kavo) hatten unter anderem das Ziel, reproduzierbare kastenförmige Kavitäten mit vorgegebenen Randwinkeln für approximale Zahnzwischenräume herstellen zu können, die sich für die Eingliederung von vorgefertigten Inserts eignen, deren Geometrie auf das Präparationsansatzdesign abgestimmt ist [*HUGO 1997*]. Mit der sonoabrasiven Präparationstechnik ist eine reproduzierbare Präparation standardisierter Kavitäten mit hoher Genauigkeit auf einfache Art

und Weise möglich [HUGO et al. 1996d]. Die vorgegebene Morphologie der oszillierenden Präparationsansätze hinterläßt einen „Negativabdruck“ in der Zahnschubstanz. Bündiges Einsenken der Ansätze gewährleistet sowohl die spätere Volumenkonstanz der Kompositfüllung, als auch die Herstellung eines konstanten Randwinkels und die Einhaltung der Distanz des zervikalen Kavitätenrandes zur SZG. Die unterschiedlich gestalteten Kantenwinkel der Sonoabrasiven Präparationsansätze ermöglichen eine Aussage zur Kavitätenrandgestaltung und ihre Auswirkung auf die Randqualität, weitestgehend ohne Beeinflussung durch unterschiedliche Kompositvolumina. Entsprechende methodische Vorteile können bei einer vergleichenden Bewertung von Füllungs- oder Verbundmaterialien bzw. Applikationstechniken zum Tragen kommen.

4.3.2 Kavitätenvolumen

In der gegenwärtigen Studie werden mittelgroße Klasse-II-Kavitäten und große Klasse-II-Kavitäten miteinander verglichen und der Einfluß der unterschiedlichen Volumina auf die Randqualität untersucht. WILSON et al. [1991] stellen in ihrer 5-Jahres-Untersuchung heraus, daß die Kavitätenausdehnung von allen Variablen der Kavitätengestaltung den größten Einfluß auf das klinische Verhalten einer Kompositrestauration hatte.

Die Testzähne weisen unterschiedlich ausgeprägte Verjüngungen an der SZG auf. Bei der Restauration großer Kavitäten wird durch die individuellen morphologischen Gegebenheiten in der Zahnhsregion und den Gebrauch der konventionellen Matrizenstechnik, die sichere Adaptation der ersten zervikalen Kompositsehicht an sämtliche Kavitätenwände grundsätzlich erschwert.

Ausschließliches Ziel der gegenwärtigen Studie ist es, möglichst einwandfreie Klasse-II-Restaurationen herzustellen und allein die Materialeigenschaften verschiedener Komposite in unterschiedlichen Kavitätenformen auf ihre Füllungsrandqualität zu untersuchen und miteinander zu vergleichen.

4.3.3 Lokalisation des zervikalen Randes in Referenz zur Schmelz-Zement-Grenze

Durch die Volumenvorgabe der Kavität wird in der Regel der Abstand zur Schmelz-Zement-Grenze (SZG) vorgegeben. Die Verbundqualität der Kavitätenränder zwischen Komposit/Schmelz und Komposit/Dentin wird unterschieden. Die grundsätzliche Erhaltung von zervikaler Schmelzbegrenzung wird von verschiedenen Autoren empfohlen, um eine gute Randqualität sicherzustellen [SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995, DIETSCHI *et al.* 1995a, DIETSCHI & HERZFELD 1998]. Der adhäsive Verbund zwischen Komposit und Dentin ist im Vergleich zum Verbund zwischen Komposit und Schmelz deutlich reduziert [SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995, DIETSCHI *et al.* 1995a, DIETSCHI & HERZFELD 1998]. Die Auswirkungen unterschiedlicher zervikaler „Schmelzqualitäten“ sollen in dieser Untersuchung möglichst gering gehalten werden. Aus diesem Grund wird empfohlen, den Abstand der in Schmelz liegenden zervikalen Restaurationsränder zur SZG für mittlere Kavitätengrößen zwei Millimeter und für große Kavitäten ein Millimeter einzuhalten [DIETSCHI *et al.* 1995a, SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995]. Für große Kavitäten mit Begrenzung in Dentin gilt für den Versuchsaufbau, den zervikalen Präparationsrand geringfügig - aber vollständig die SZG überschreitend - in Dentin zu lokalisieren. Durch das plane Abtrimmen der Okklusalfäche ist das exakte Einführen des sonoabrasiven Präparationsansatzes bis zum bündigen Abschluß der Oberkante mit der planen okklusalen Referenzfläche unter Einhaltung des vorgegebenen Abstandes zur SZG möglich. Die definitive Positionierung des zervikalen Kavitätenrandes in Referenz zur SZG wird demnach kontrollierbar sichergestellt.

4.3.4 Kavitätenrandwinkel

Die Gestaltung des Kavitätenrandwinkels für direkt applizierte Adhäsivfüllungen wird kontrovers diskutiert. Den Vorschlägen für die konventionelle kastenförmige Adhäsivpräparation mit einem rechtwinkligen Randdesign, wie von *DOUVITSAS [1991]* und *KREJCI et al. [1987]* und *[1996]* beschrieben, entgegen andere Autoren eine Verbesserung der Randqualität von Klasse-II-Restaurationen durch Modifikation der Kastenpräparation mit Anchrägung der marginalen Schmelzränder [*LÜSCHER et al. 1977*, *HINOURA et al. 1988*, *LÖSCHE et al. 1993a*, *DIETSCHI et al. 1995a*, *KREJCI et al. 1996*, *DIETSCHI & HERZFELD 1998*, *HALLER & GÜNTHER 1998*]. Mögliche Auswirkungen verschiedener Kavitätenrandwinkel an dentinbegrenzten Kompositfüllungsrändern werden in der Literatur wenig diskutiert und sollen in der vorliegenden Studie ergänzend untersucht werden.

Konventionell präparierte Kastenformdesignes mit nahezu rechtwinkligen Kantenwinkeln weisen an Schmelzrändern längs angeschnittene Prismen auf. Die bei der Polymerisation auftretenden Spannungen äußern sich in Form von Zugkräften. Der relativ geringe Widerstand gegenüber diesen Kräften, ist durch die Anordnung der Prismenverläufe zu erklären. Durch das Auftreten der Polymerisationskontraktion werden Zugbelastungen verursacht und können parallel angeschnittene Prismen innerhalb paralleler Verbundordnungen „herausreißen“. Als Folge können Randspalten zwischen Schmelz und Restauration entstehen [*MUNECHIKA et al. 1984*].

Ein weiterer Aspekt im Vergleich zwischen Kastenpräparationen mit rechtwinklig gestalteten Kavitätenrändern und solche mit Abschrägung ist die unterschiedliche Qualität des exponierten retentiven Ätzmusters. Durch die Abschrägung des Schmelzrandes werden die Schmelzprismen diagonal zu ihrem Verlauf angeschnitten. Dabei entstehen nach Anätzung hochretentive Flächen. Die diagonal angeschnittenen Prismen sind im Vergleich zu längs angeschnittenen Schmelzprismen schwieriger aus ihrem Verbund

herauszulösen und erhöhen die Verbundqualität [SCHÄFFER & HÖBLING 1990, SCHÄFER 1993].

Der Haftmechanismus zwischen Komposit und Schmelz kommt in erster Linie durch eine mechanische Retention an Mikroporositäten und rauen Oberflächen zustande [HALLER & BLUNCK 2003]. Der Verbund basiert auf rein mikromechanischer Verzahnung [LUTZ et al. 1993]. BUONOCORE beschrieb 1955 erstmals die sogenannte Schmelz-Ätz-Technik. Schmelzprismenanteile werden durch Konditionierung mit Säure herausgelöst und schaffen ein typisches Schmelz-Ätzmuster, das sogenannte Mikrorelief. Ziel jeglicher Vorbehandlung von Zahnhartsubstanz ist dabei, eine möglichst große retentive Haftfläche zu schaffen. Dabei bestimmten die Höhe der Säurekonzentration (30% - 40%), die Einwirkdauer und der Anschnittwinkel der Schmelzprismen die erreichbare Ätztiefe des Mikroreliefs. Sie wird in der Literatur zwischen 20µm und 60µm angegeben [GEURTSSEN 1989], wobei die stärkste Schicht an der Schmelzoberfläche (ca. 5 – 10µm) vollständig aufgelöst wird [LUTZ et al. 1993]. Durch den Ätzvorgang wird gleichzeitig die Oberflächenenergie des Schmelzes erhöht, so daß die mit Säuren vorbehandelte Schmelzoberfläche in ihrer Benetzbarkeit durch Haftvermittler stark verbessert wird [JENDRESEN et al. 1981, RUYTER 1995]. Der „schräge“ Anschnitt der Schmelzprismen schafft nach LÖSCHE et al. [1993a] und HALLER & BLUNCK [2003] ein günstiges Ätzmuster für die anschließende Penetration des hydrophoben Bonding-Agents, dessen Zusammensetzung stark der Matrix des Komposits ähnelt. Nicht die Penetrationstiefe durch den Haftvermittler ist für die Verbundstärke entscheidend [GUNADI & NAKABAYASHI 1997], sondern die Anzahl der infiltrierten Schmelzprismenanteile [LIEBENBERG 2000].

Für die sonoabrasiven Präparationsansätze wird, entsprechend der rechtwinkligen Kavitätenrandgestaltung, ein Kantenwinkel von 85° und für die Kavitäten mit Anshrägungen ein Kantenwinkel von 45° gewählt. Durch die Vorgabe der Morphologie der Präparationsansätze können die Randwinkel jeweils konstant eingehalten werden. Die Standardisierung dieses Kriteriums

soll den direkten Vergleich zwischen Füllungen mit zuvor angeschrägten und nicht angeschrägten Kavitätenrändern, ungeachtet der individuellen Einflüsse des Präparierenden ermöglichen.

4.4 Restaurationsmaterial

Ein weiteres Ziel der vorliegenden Studie ist es, aktuelle Materialien aus der Klasse der Feinsthybridkomposite auf Dimethacrylatbasis miteinander zu vergleichen. Drei verschiedene Komposit-Produkte werden dabei auf Ihre Materialeigenschaften untersucht.

Zum einen werden das in seiner Konsistenz mittelvisköse, fließfähige *Tetric Flow (Vivadent)* und das hochvisköse Komposit *Tetric Ceram (Vivadent)* untersucht und zum anderen mit dem hochviskösen „Polyglas“-Füllungswerkstoff *Solitaire (Kulzer)* verglichen und beurteilt.

4.4.1 Tetric Flow und Tetric Ceram (Vivadent) – Materialeigenschaften

Die Bezeichnung „Flow“ wurde in Europa erstmals 1979 in Zusammenhang mit einem neu vorgestellten Komposit gebraucht und beschreibt die fließfähige Konsistenz des Füllungswerkstoffs. 1995 wurde das gering visköse Hybridkomposit „Revolution“ vom Hersteller *Kerr* als „flowable“ bezeichnet.

Den fließfähigen Kompositen werden bei schwer zugänglichen Kavitätenformen (tiefe und unterminierende Kavitätenbereiche, Kavitätenecken und -winkel) im Vergleich zu hochviskösen Kompositen, wie *Tetric Ceram (Vivadent)*, eine bessere Verteilung und damit erhöhte Adaptationsfähigkeit an den Kavitätenwänden zugesprochen [*JAIN & BELCHER 2000*]. Die sogenannte „Spritztechnik“ reduziert die Bildung von Lufteinschlüssen und Porositäten innerhalb der Füllungen im Vergleich zu hochviskösen „gestopften“ Kompositrestaurationen [*OPDAM et al. 1996*]. Lufteinschlüsse und Porositäten

können die Entwicklung von Spaltbildungen und Verfärbungen begünstigen. Ihre Entstehung und Verteilung unterliegt dem Zufall und stellt ein grundlegendes Problem dar. Bei der Verwendung von stopfbaren Kompositwerkstoffen sind vermehrt Bildungen von Lufträumen bzw. Unterschüssen, insbesondere an den zervikalen Füllungsrandern zu beobachten [OPDAM *et al.* 1996, FRANKENBERGER *et al.* 1999]. Stresskonzentrationen um interne Lufteinschlüsse verringern prinzipiell die Frakturresistenz und beschleunigen die „Materialermüdung“ [O'BRIEN & YEE 1980, LEINFELDER & ROBERSEN 1983, McCABE & OGDEN 1987]. Hohlräume, die zwischen nacheinander polymerisierten Kompositschichten entstehen, können die Biegefestigkeit herabsetzen [HUYSMANS *et al.* 1996]. DAVIDSON & DAVIDSON-KABAN [1998] vermuten, daß Mikrolufteinschlüsse und Luftporen innerhalb der Kompositrestauration, nach dem Prinzip eines Schwammes und im Sinne der internen Oberflächenvergrößerung, Volumenveränderungen gut kompensieren können.

Die klinisch relevanten Eigenschaften eines Kompositwerkstoffs werden durch die Partikelgröße und den Gewichts- oder Volumenanteil der Füllstoffe bestimmt. Hochvisköse Komposite können heutzutage einen Füllstoffgehalt von 75 bis 85 Gewichtsprozent haben. Sie unterscheiden sich von mittelviskösen, fließfähigen Kompositen durch einen 10 bis 15 Gewichtsprozent höheren Füllergehalt. Die Fließeigenschaft eines Komposits wird über die Verringerung der Füllkörpermenge erreicht [LABELLA *et al.* 1999]. In dem reduzierten Füllergehalt und dem erhöhten Monomeranteil von fließfähigen Kompositmaterialien liegt die Ursache für die im Vergleich erhöhte Polymerisationsschrumpfung. Das Elastizitätsmodul (E-Modul) von spritzfähigen Kompositen (Tetric Flow 5,3 Gpa) ist deutlich geringer als das der hochgefüllten (Tetric Ceram 11,5 Gpa). Das E-Modul eines Kompositwerkstoffs korreliert besser mit der Spannung, die durch die Polymerisation verursacht wird, als das die volumetrische Schrumpfung ein Maß für die Stressung angibt [FEILZER 1990]. Basierend auf dieser Feststellung wird von verschiedenen Autoren angenommen, daß fließfähige Komposite wie Tetric Flow eine

Elastizitätseigenschaft besitzen, die im Sinne einer erhöhten Flexibilität die Qualität der Restaurationsränder erhöhen soll [OPDAM *et al.* 1996, BAYNE *et al.* 1998]. Die Stressentwicklung auf den adhäsiven Verbund wird ihrer Vermutung nach nicht durch die hohe Polymerisationsschrumpfung niedrig gefüllter Komposite (Tetric Flow) erhöht, sondern aufgrund des niedrigen Elastizitätsmoduls verringert. Das niedrige Elastizitätsmodul eines niedrigviskösen Komposits soll demnach stressreduzierend wirken.

In Randspaltuntersuchungen von hochviskösen Kompositen mit hohem E-Modul wurde das Versagen des adhäsiven Verbundes herausgestellt, was zu postoperativen Überempfindlichkeiten und verschlechterten marginalen Füllungsrandqualitäten führt [FUKUSHIMA *et al.* 1988]. Mit zunehmender Steifigkeit und Härte eines Füllungsmaterials werden die einwirkenden mechanischen Kräfte vermehrt auf die Randbereiche der Restauration übertragen [DAVIDSON & DAVIDSON-KABAN 1998]. Langzeitlich gesehen ist jedoch die Resistenz gegen Scher- und Bruchkräfte von Kompositwerkstoffen mit hohem E-Modul im Vergleich zu Kompositen mit geringem E-Modul bei okklusaler Belastung erhöht [UNTERBRINK & LIEBENBERG 1999].

4.4.2 Solitaire (Kulzer) – Materialbeschreibung

Das zahnfarbene lichthärtende Füllungsmaterial *Solitaire*, vom Hersteller *Kulzer* als Polyglas bezeichnet, ist seit 1997 im Handel. Für die Indikationsbereiche des Füllungswerkstoff Amalgam wollten die Hersteller ein zahnfarbened Ersatzmaterial mit vergleichbaren Materialeigenschaften anbieten [LEINFELDER *et al.* 1999]. In Bezug auf die Verarbeitbarkeit, wurde vom Hersteller der relativ hohe Materialwiderstand als eine der charakteristischen Eigenschaften herausgestellt. Dieser erfordere einen gesteigerten Stopfdruck und sei für die bessere Approximalkontaktgestaltung von Vorteil. Eine ähnliche Verarbeitungsform wie bei der Applikation von Amalgam soll bei einer „Umgewöhnung“ auf Kompositmaterialien die Handhabung erleichtern. Die

vorliegenden Studien über dieses neue Füllungsmaterial erlauben noch keine abschließende Beurteilung [DE GEE et al. 1997, HALLER & SCHUSTER 1997, ERNST et al. 1998a,b, MACGREGOR 1999, RASHID et al. 1999, AFFLECK et al. 1999].

Einige Verbesserungen klinisch relevanter Materialeigenschaften, wie die Reduktion der Löslichkeit von Füllungsbestandteilen, die Steigerung der Bruch- und Biegefestigkeit und die Verringerung der Polymerisationsschrumpfung wurden bei der Markteinführung des Polyglas-Werkstoffs *Solitaire* vom Hersteller *Kulzer* als Fortschritt angekündigt. Nach eigenen Angaben unterscheidet sich *Solitaire* in Aufbau und Struktur der Dimethacrylatbasis von herkömmlichen Kompositwerkstoffen. Volumenvergrößernde, polyglobuläre Füllkörper im Verbund mit einer Monomermatrix aus tetra- bis hexafunktionellen Molekülen sollen laut Herstellerangaben Vorteile gegenüber herkömmlichen Kompositen bringen. Der Fülleranteil wird mit 65 Gewichtsprozent und einem Volumenanteil von 92% angegeben. Als sogenannte volumenvergrößernde, polyglobuläre Füllkörper sollen Si-O-Gläser fungieren. Sie sollen in der Lage sein, Matrixmonomer aufzunehmen. Im Vergleich zu bifunktionellen Methacrylatmonomeren herkömmlicher Komposite sollen bei der lichtinduzierten Polymerisation der polyfunktionellen Monomere von *Solitaire* ein höherer Vernetzungsgrad erzielt und somit die Konversionsrate erhöht werden, um Schrumpfungsprozesse zu verringern. Ein E-Modul mit ca. 6 Gpa und eine Drei-Punkt-Biegefestigkeit von ca. 80-90 Mpa werden genannt. Diese Werte sind im Vergleich zu denen von herkömmlichen Feinsthybridkompositen als relativ niedrig einzustufen.

Aktuelle Studien können in zunehmender Anzahl keine verbesserten Randqualitäten im Vergleich zu herkömmlichen Hybridkompositen feststellen. Während *MANHART et al. [2000]* bei *Solitaire* die höchste Resistenz gegen Scherkräfte messen, sind E-Modul, Mikrohärtigkeit, Druck- und Biegefestigkeit signifikant niedriger als die Werte von vergleichbaren Werkstoffen [*MANHART et al. 2000, 2001, COBB et al. 2000*]. Andere Autoren beobachten bei der

Verwendung von *Solitaire* im Vergleich zu anderen Restaurationsmaterialien signifikant höhere Werte bei der Entwicklung von Schrumpfkraften während des Polymerisationsvorganges und testieren *Solitaire* ein ungünstiges Schrumpfverhalten [CHEN et al. 2001, CHOI et al. 2000]. Einige Untersucher äußern sogar Bedenken bei der Verwendung von *Solitaire* als Restaurationsmaterial im Seitenzahnbereich [COBB et al. 2000, KELSEY et al. 2000, OBERLANDER 2000, ERNST et al. 2001, LOGUERCIO et al. 2001].

In der vorliegenden Studie werden Klasse-II-Füllungen mit den Werkstoffen *Tetric Flow* und *Tetric Ceram* (Vivadent) mit *Solitaire* (Kulzer) in konventioneller Schichttechnik und in „Lining-Technik“ hergestellt und bezüglich ihrer Randqualitäten miteinander verglichen.

4.5 Applikationstechnik

Die stetige Weiterentwicklung von Kompositwerkstoffen in ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften und auch die vereinfachte Handhabung verschiedener Kompositprodukte führten in der Vergangenheit häufig zu verbesserten Füllungsrandqualitäten.

Die hochviskösen Komposite *Tetric Ceram* (Vivadent) und *Solitaire* (Kulzer) werden bei der Applikation in konventioneller Weise „gestopft“ und in einzelnen Schichten nacheinander lichtgehärtet. KREJCI et al. [1996] unterscheiden zwischen der „horizontal geschichteten Mehrschichttechnik“ und der „Umhärtungstechnik“. Das mittelvisköse Komposit *Tetric Flow* (Vivadent) wird aufgrund der Fließfähigkeit über entsprechend feine Kanülen in die Kavität „eingespritzt“. Ziel der vorliegenden Studie ist es, die horizontal geschichtete konventionelle „Mehrschichttechnik“ und die „Spritztechnik“ mit der von KEMP-SCHOLTE & DAVIDSON 1990 erstmals beschriebene „Lining-Technik“, eine kombinierte Anwendung der zuvorgenannten Applikationstechniken, zu vergleichen.

4.5.1 Die konventionelle Mehrschichttechnik

Die Polymerisationschrumpfung kann auf die gesamte Restauration bezogen minimiert werden, indem die Applikation des stopfbaren hochviskösen Kompositmaterials in geringer Schichtstärke erfolgt und jede Schicht einzeln ausgehärtet wird [KREJCI *et al.* 1986b, UNTERBRINK *et al.* 1999]. Die Polymerisationschrumpfung erfolgt sowohl während und auch nach der Lichtinduktion. Die Lokalisation der zugeführten Lichtqualität und -quantität, die Konversionsrate und weitere materialbedingte Faktoren, wie Füllergehalt, Monomerbestandteile und Materialfarbe beeinflussen dabei das Ausmaß der Polymerisationschrumpfung [FEILZER *et al.* 1990, SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995, UNTERBRINK & LIEBEBERG 1999]. Schrumpfkraften können zwischen der 5. Minute und der 24. Stunde auch nach der Applikations- und Aushärtungsphase auftreten. Das sogenannte „Nachschrumpfen“ kann 10-30% der Gesamtschrumpfung betragen und wirkt sich nachhaltig auf die Randqualität aus [FEILZER *et al.* 1988, UNTERBRINK & MÜSSNER 1995].

Die Mehrschichttechnik nach LUTZ *et al.* [1986a] und KREJCI *et al.* [1986b] basieren auf der Annahme, daß die Richtung des Schrumpfvektors durch die Position der Lichtquelle beeinflussbar ist. Die erste Schichtung erfolgt auf dem zervikalen Kavitätenboden. Es folgen diagonale Schichten, die jeweils an den lateralen Kavitätenwänden adaptiert und ausgehärtet werden. Durch entsprechende Positionierung der Polymerisationslampe soll die Schrumpfung zu den Kavitätenrändern hin gelenkt werden. Der sichere Verbund zwischen Komposit und Zahn soll zuerst an den Kavitätenrändern erfolgen, um Randspaltbildungen zu vermeiden. Die Anwendung von lichtdurchlässigen Kunststoffmatrizen und sogenannten lichtleitenden Kunststoffkeilen sollen in den schwer zugänglichen Interdentalregionen das Licht besser leiten können. Ihre Effektivität wurde jedoch von einigen Autoren in Frage gestellt [CIAMPONI *et al.* 1994, HALLER & WALTER 1998, VERLUIS *et al.* 1998].

In der Untersuchung von KREJCI *et al.* [1996] wird zwischen „Horizontaler Zweischichttechnik“ und „Umhärtungstechnik“ unterschieden. Die Testfüllungen der gegenwärtigen Studie werden der „Horizontalen Schichttechnik“

entsprechend aufgefüllt, mittelgroße Kavitäten mit zwei Kompositschichten bzw. große Kavitäten mit drei Schichten (Tabelle 3).

4.5.2 Die Lining-Technik

Die fließfähige Eigenschaft von Tetric Flow vereinfacht die Handhabung als Füllungswerkstoff und erleichtert den Zugang zu schwer zugänglichen Unterminierungen und problematischen Kavitätenrandbereichen. Zudem minimieren sie die Entstehung von Spalten und Lufteinschlüssen [MEDLOCK *et al.* 1985, OPDAM *et al.* 1996, FERDINAKIS *et al.* 1998]. Der hohe Monomeranteil in der organischen Matrix und das niedrige E-Modul von fließfähigen Kompositen erhöht das Schrumpfungsvermögen [LABELLA *et al.* 1999]. Die Korrelation zwischen dem E-Modul eines Kompositwerkstoffs und der Spannungsentwicklung während der Polymerisationsphase hat die Studie von FEILZER [1990] herausgestellt. Nach der Theorie des Autors erfahren niedrigvisköse Kompositwerkstoffe einerseits im Vergleich zu hochviskösen Kompositen eine stärkere volumetrische Schrumpfung, andererseits soll sich das niedrige E-Modul fließfähiger Kompositmaterialien stressreduzierend auf die Füllungsrandbereiche auswirken. Basierend auf dieser Feststellung versuchten auch KEMP-SCHOLTE & DAVIDSON [1990] erstmals mit hochgefüllten Bonding-Adhäsiven, als zusätzlich eingebrachte Zwischenschicht mit „elastischen“ und „flexiblen“ Eigenschaften (Liner), die Stress-Puffer-Fähigkeit von Kompositfüllungen zu erhöhen. Durch mehrmaliges Auftragen des „Bonding-Liners“ auf die Zahnoberfläche, vor dem Einbringen der „zentralen“ hochviskösen Kompositfüllung mit hohem E-Modul, erwarteten sie eine bessere Kompensation der auftretenden Stressentwicklung. Dem ungünstigen Schrumpfungsverhalten von niedrig gefüllten Kompositen soll die geringere „Steifigkeit“ dieser Komposit-Klasse im Sinne einer flexiblen „Stressbreaker-Funktion“ entgegenwirken. In der Untersuchung von LABELLA & LAMBRECHTS [1999] werden Schrumpfungsverhalten und E-Modul von fließfähigen Kompositen mit nicht-fließfähigen Hybrid- und Mikrofüller-

Kompositen verglichen. Laut dieser Untersuchung wird eine solche „Pufferfunktion“ den niedrigviskösen Materialien zugetraut. Dennoch stellen sie heraus, daß sich die Materialeigenschaften der jeweiligen Komposite sich im Hinblick auf Stress-Puffer-Eigenschaften auch weiterhin in eingehenden Studien bewähren müssen. In der Arbeit von *DAVIDSON & DAVIDSON-KABAN [1998]* werden „nicht-homogene Deformationen“ während der Polymerisationschrumpfung beschrieben. Diese Deformationen sollen zu Stressung und schließlich zu Zerstörungsvorgängen an Restaurationsrand und Materialverbund führen. Sie nehmen an, daß eine Reduktion solcher Belastungen einerseits durch Applikation eines elastischen Komposit-Liners und andererseits durch Verringerung der initialen Konversionsrate mittels zweizeitiger Lichtpolimerisation erreicht werden kann.

In der gegenwärtigen Studie wird das mittelvisköse Tetric Flow, als sogenannter „Liner“ mit gutem Adaptionsverhalten und elastischer Phase, initial in geringer Menge in die Kavität „eingespritzt“. Zur gleichmäßigen Erstbenetzung der Kavitätenwände kann eine Sonde zuhilfegenommen werden. Durch anschließend horizontal geschichtetes Applizieren der hochviskösen und stopfbaren Phase (Tetric Ceram) als zentrale Füllmasse ergänzen sich die beiden Komposite in dieser Form. Die beschriebene Applikationsform wird „*Lining-Technik*“ oder „Sandwichtechnik“ genannt. Durch ein elastisches Untergrundmaterial soll eine „Stressbreaker-Funktion“, eine Art „Abpufferung“ von Kontraktionskräften über eine elastische Bonding-Zwischenschicht in Verbindung zur Dentinadhäsiv–Dentinzone aufgebaut werden [*KEMP-SCHOLTE & DAVIDSON 1990, OPDAM et al. 1996, RUSSEL & MAZER 1999, MIRRANDA et al. 1999*]. Ein derartiges Vorgehen wird von *DAVIDSON & FEILZER [1997]* insbesondere bei Situationen empfohlen, in denen die Kavitätenwände sich mit besonders ungünstigem C-Faktor darstellen. Weitere Autoren sprechen den fließfähigen Kompositen Elastizitätseigenschaften zu [*BAYNE et al. 1998*] und bezeichnen die intermediäre Zwischenschicht als „Stress-Absorber, Schock-Absorber, Stress-Puffer, Stress-Breaker“ oder sogar als „Liquid-Dentin-Schicht“ [*BEHLE 1998*]. *UNTERBRINK & LIEBENBERG*

[1999] sprechen in diesem Zusammenhang von der „Idee der elastischen Wand“ und empfehlen die initiale Kompositschicht als „Liner“, aufgrund des hohen Monomergehalts mit geringer Schichtstärke aufzutragen, um Schrumpfungsprozesse möglichst gering zu halten. Auch aus kariesdiagnostischen Gründen ist die „dünne“ Lining-Schicht von Vorteil. Sowohl Bonding-Materialien als auch die meisten spritzbaren Komposite haben teilweise den Nachteil der fehlenden oder geringen Röntgenopazität. In *Lining-Technik* mehrmals aufgetragene Bonding-Schichten stellen sich demnach klinisch problematisch dar. Hinsichtlich der klinischen Diagnosestellung sind Fehlbeurteilungen wie Spalten und Sekundärkaries möglich [OPDAM et al. 1998b, NORDBO et al. 1998a]. Das in dieser Studie verwendete Tetric Flow hat eine deutlich höhere Radioopazität im Vergleich zu Schmelz.

4.6 Diskussion der Ergebnisse

In der vorliegenden Untersuchung wurden für die qualitative Analyse von Klasse-II-Füllungsrandern vor dem Thermocycling-Verfahren nur geringfügige Unterschiede zwischen den Ergebnissen der Auswertungen der verschiedenen Testgruppen festgestellt. Erst nach der thermischen Stressung wurden im Hinblick auf einzelne Kriterien hinsichtlich des Kavitätdesignes Qualitätsunterschiede deutlich.

4.6.1 Einfluß des Füllungsvolumens

Grundsätzlich konnte bei der statistischen Auswertung der REM Untersuchungen nach dem Thermocycling-Verfahren festgestellt werden, daß Klasse-II-Kompositfüllungen mit geringerem Volumen eine bessere Randqualität aufweisen als solche mit großem Volumen. Unabhängig von Füllungsmaterial und Randdesign wurden nach Stressung der Proben für die kleinvolumigen Füllungen signifikant mehr (A)-Bewertungen evaluiert [A: 72,6%; C: 10,9%]. Im Vergleich dazu wiesen die um ca. 35 Volumenprozent größeren Füllungen signifikant mehr (C)-Bewertungen bei zirkulärer Schmelzbegrenzung auf [A: 56%; C: 25,5%]. Bei den zervikal im Dentin begrenzten großen Restaurationen wurden größere Anteile an Spalten gefunden als bei den in Schmelz begrenzten. Dieser signifikante Unterschied belegt den deutlichen Einfluß der Kavitätenausdehnung auf die Qualität der Füllungsänder.

4.6.2 Einfluß der Distanz des zervikalen Kavitätenrandes zur Schmelz-Zement-Grenze

Die zervikalen Füllungsänder waren unter standardisierten Bedingungen in definitiv festgelegten Abständen zur SZG lokalisiert worden. Dabei wurde für große Kavitäten eine Testgruppe mit zervikaler Begrenzung in Schmelz einer direkten Vergleichsgruppe mit zervikaler Begrenzung in Dentin gegenübergestellt. Die mittelgroßen Restaurationen hatten ihre zervikale Begrenzung vollständig in Schmelz. Hinsichtlich der Kavitätenrandgestaltung (45° RW und 85° RW) wurden keine Unterschiede in der Gruppe der dentinbegrenzten Kavitäten gefunden. Der im Vergleich zu schmelzbegrenzten Kavitäten signifikant höhere Anteil an Randspalten nach dem Thermocycling lag bei 35% bzw. 37%. Materialien und Applikationstechniken schnitten dabei unterschiedlich ab.

Bei tiefen Defekten im Approximalbereich, die bis zur SZG reichen können, wie zum Beispiel bei einer vorgegebenen Extension durch eine vorbestehende

Restauration, sollte aufgrund der Erkenntnisse der vorliegenden Studie nach Möglichkeit die weitestgehende Erhaltung von zervikaler Schmelzbegrenzung angestrebt werden, um die dann deutlich bessere Randqualität sicherzustellen. Hinsichtlich dieses Kriteriums schneiden in unserer Studie die großen Schmelzkavitäten (C: 26%) deutlich besser ab als die volumengleichen Dentinkavitäten (C: 36%). Diese Ergebnisse werden durch andere Untersuchungen bestätigt [SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995, DIETSCHI *et al.* 1995a, DIETSCHI & HERZFELD 1998].

4.6.3 Einfluß des Kavitätenrandwinkels bei unterschiedlichem Volumen

In der vorliegenden Untersuchung zeigte die Gestaltung des Kavitätenrandwinkels mit 45° Ansträgung oder kastenförmigem Abschluß (85° RW) keine unterschiedlichen Auswirkungen vor dem Thermocycling. Die Untersuchung der Randqualitäten ergaben mit ca. 76% perfekten Randanteilen und nur 3% Randspalten vergleichbar gute Ergebnisse. Die durch thermische Belastung simulierte Stressung der in dieser Studie untersuchten Füllungen bestätigten dagegen die Erkenntnisse von MUNECHIKA *et al.* [1984] über die Folgen der durch Polymerisation hervorgerufenen Zugkräfte auf parallel angeschnittene Schmelzprismen. Die Belastungsinstabilität der nicht abgeschrägten Ränder (85° RW) führte demnach zu deutlich geringeren Anteilen an perfekten Rändern (A: ca. 56%) und zu einem signifikant höheren Anteil an Spaltbildungen (C: 24%). Das Bestehen hoch retentiver Ätzmuster, die für die Konditionierung von abgeschrägten Schmelzrändern zur Verfügung stehen [SCHÄFFER & HÖBLING 1990, SCHÄFFER 1993], führte auch in dieser Studie zu entsprechend guten Ergebnissen. Gemäß den Erwartungen ist die Gestaltung von Kavitäten mit einer Randanschrägung von 45° RW gegenüber den kastenförmigen Präparationen mit 85° RW vorzuziehen. Die statistischen Ergebnisse unserer Studie unterstützen mit 72% (A)- und nur 13% (C)- Bewertungen diese Empfehlung.

Bei unterschiedlichem Kavitätenvolumen ist folgende Wertung der vier in Schmelz begrenzten Kavitätengruppen nach der Qualität ihrer Füllungsänder in folgender Reihenfolge möglich:

1. Mittlere Kavität mit 45° RW
2. Mittlere Kavität mit 85° RW
3. Große Kavität mit 45° RW
4. Große Kavität mit 85° RW

Die Kavitäten mittlerer Größe mit 45° Ansträgung wiesen nach Belastung mit ca. 83% (A)- und nur 13% (C)-Bewertungen die besten Ergebnisse auf. Große Kavitäten ohne Ansträgung (85° RW) fielen mit über 30% Randspalten in der Bewertung deutlich aus dem Rahmen. Das Volumen der Kasten- und Ansträgungsform war im direkten Vergleich herstellungsbedingt unterschiedlich. Die Kavitäten mit 45° RW wiesen bei beiden Größen ein um ca. 15% größeres Volumen auf als das der Kavitäten ohne Ansträgung.

Unabhängig der verwendeten Materialien und deren Polymerisationseigenschaften konnte trotz einer Volumenvergrößerung durch eine Schmelzanschrägung eine signifikante Verbesserung der Randqualitäten festgestellt werden. Diese Aussage gilt sowohl für die mittleren als auch für die großen Ausdehnungen. Diese Erkenntnisse stimmen überein mit den Ergebnissen verschiedener anderer Studien zur Präparation für direkt applizierte Adhäsivrestaurationen im Approximalbereich [LUESCHER *et al.* 1977, DIETSCHI *et al.* 1995a, DIETSCHI & HERZFELD 1998, HALLER & GÜNTHER 1998]. Sie belegen ebenfalls die Verbesserung der Randqualität bei der Ansträgung von Schmelzrändern im Vergleich zu rechtwinklig gestalteten Kavitätenrändern.

4.6.4 Einfluß des Restaurationsmaterials und der Applikationstechnik

Im Vergleich der untersuchten Materialien (Tetric Ceram, Tetric Flow, die kombinierte Anwendung in Lining-Technik und Solitaire) weisen die Testgruppe von Tetric Ceram und die in Lining-Technik applizierte Gruppe, ohne Berücksichtigung von Volumen und Randgestaltung, die besten Ergebnisse auf. Nach dem Thermocycling wurden, insbesondere bei diesen beiden Gruppen, im Vergleich hohe Anteile an perfekten Rändern festgestellt. Im Gegensatz dazu konnten bei Tetric Flow- und Solitaire-Restaurationen nach thermischer Belastung signifikant mehr Spaltbildungen gefunden werden. Für eine Bewertung ist jedoch eine genaue Betrachtung der Indikationsbereiche notwendig.

Das *hochvisköse Feinsthybridkomposit* Tetric Ceram zeigt neben den positiven Bewertungen im Hinblick auf verschiedene Kriterien der Kavitätengestaltung auch bei den Dentinkavitäten mit 63% (A)-Bewertungen relativ gute Ergebnisse. Mit einem geringen Anteil an (C)-Bewertungen (25%) wurden in dieser Gruppe signifikante Qualitätsunterschiede zu den restlichen Untersuchungsgruppen herausgestellt. Der dennoch als hoch anzusehende Anteil an Randspaltbildungen im Dentin muß relativ kritisch betrachtet werden. Demnach eignet sich das Kompositmaterial Tetric Ceram in der beschriebenen Applikationsform sehr gut für große Schmelzkavitäten.

Die universelle Verwendung des *mittelviskösen, spritzbaren Komposits* Tetric Flow ist als problematisch anzusehen. Die in der Gesamtbetrachtung mit 27% hohen Anteile an Randspalten weisen deutlich auf die eingeschränkte Indikationsstellung für diese Materialgruppe hin.

Bei der Analyse der mittelgroßen, in Schmelz begrenzten Füllungen wurden 5,3% Randspalten und 82% perfekte Ränder evaluiert. Damit liegen diese Bewertungen in sehr guten Bereichen. Die Randanschraägung schien dabei einen wesentlichen Einfluß auf die Qualität der Ränder zu haben. Denn im

Gegensatz dazu verzeichnen die korrespondierenden Testfüllungen ohne Anchrägung weniger gute Ergebnisse mit einem um 15% deutlich höheren Anteil an Randspaltbildungen. Erwartungsgemäß erzielten die mit Tetric Flow versorgten großen Restaurationen schlechte Ergebnisse aufgrund des in Kapitel 4.4.1 diskutierten ungünstigen Schrumpfungsverhaltens. Mit den geringsten Anteilen an (A)-Bewertungen (ca. 40-50%) und evaluierten Randspaltbildungen von ca. 35% brachte diese Untersuchungsgruppe die schlechtesten Resultate hervor. Die Hauptindikation für die Verwendung des *mittelviskösen und fließfähigen Komposits* Tetric Flow ist demnach bei Klasse-II-Kavitäten mit initial kleinsten Ausdehnungen zu suchen.

Das *Polyglas-Komposit Solitaire* präsentiert sich in der Gesamtbetrachtung mit ähnlichen Untersuchungsergebnissen wie die Gruppe der Tetric Flow Versorgungen. In Lining-Technik gelegte oder mit dem Feinsthybrid Tertric Ceram versorgte Restaurationen wiesen im Vergleich zu den erstgenannten Materialien signifikant bessere Randbewertungen auf. Diese Feststellung gilt sowohl für die Schmelz- als auch für die im Dentin gelegenen Kavitäten. Der Effekt von verstärkt auftretenden Randspalten in Verbindung mit niedrigen Elastizitätsmodulwerten von Kompositen wurde in der vergleichenden Studie von *KREJCI [1992]* über Mikrofüller- und Hybridkomposite diskutiert. Dieser Effekt könnte eine Erklärung für die herausgestellte Randproblematik von Tetric Flow und Solitaire Restaurationen darstellen. Eine klinische Drei-Jahres-Studie von Kompositmaterialien mit stark differierenden Elastizitätsmodulen ergaben dagegen keine signifikanten Unterschiede [*FUKUSHIMA 1988*]. Dabei wurde der besondere Stellenwert der Faktoren *Präparationswinkel* und *Lokalisation der Ränder* hervorgehoben. Im Zusammenhang des Kavitätenranddesignes fallen die relativ guten Ergebnisse von Solitaire bei Vorhandensein von Schmelzrandabschrägung auf. Bei den mittelgroßen Kavitäten wurden 77,5% (A)- und 10,3% (C)-Bewertungen gefunden. Die großen Kavitäten hatten 66,7% Anteile an perfekten Rändern und 15,6% Randspalten. Eine drastische Verschlechterung der Randqualität zeigte sich bei rechtwinkliger Randgestaltung mit 38% Randspalten für mittelgroße und 46,2% Spaltbildungen für große Schmelzkavitäten. Die Studie von *SCHUSTER &*

HALLER [1997] unterstützt mit ihren Ergebnissen ebenfalls nur eine Anwendungsempfehlung von Solitaire in angeschrägten Klasse-II-Kavitäten. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der vorliegenden Studie werden die Randschlußqualitäten bei dentinbegrenzten Kavitäten besser als bei bisherigen Restaurationssystemen beurteilt [*HALLER & SCHUSTER 1997*]. Weitere Randspaltuntersuchungen [*MIRANDA et al. 1999*] erkannten keine Qualitätsunterschiede zwischen Solitaire und herkömmlichen Feinsthybridkompositen. Durch die Verwendung von Solitaire konnte eine Randspaltbildung im Dentin nicht in entscheidendem Maße verhindert werden. Entgegen den Angaben der Hersteller konnte eine Reduktion der Polymerisationsschrumpfung des Füllungswerkstoffs Solitaire im Vergleich zu konventionellen Feinsthybridkompositen nicht festgestellt werden. Nach Untersuchungen von *SOLTÉSZ [1998,1999]* ist dessen Polymerisationsschrumpfung zwischen Tetric Ceram und Tetric Flow einzuordnen.

Die Vorteile einer Injektionsapplikation von niedrig- oder mittelviskösen Kompositmaterialien wurde von *OPDAM et al. [1996]* für Klasse-I-Kompositfüllungen im Vergleich zur kondensierenden Applikationstechnik beschrieben. Die Kombination von spritzbarem Tetric Flow als „Liner“ und dem stopfbaren Tetric Ceram als Kernfüllung (*Lining-Technik*) sollte die jeweiligen positiven Eigenschaften vereinen und dadurch eine Verbesserung der Randqualität gegenüber der ausschließlichen Verwendung eines Materials erzielt werden. In der vorliegenden Studie wurde das mittelvisköse Tetric Flow im Anschluß an das Adhäsivsystem Syntac classic dünn-schichtig auf sämtliche Innenwände der Klasse-II-Kavitäten und den Übergangsbereichen zwischen Kavitätenrand und Matrize appliziert. Die in Relation zur Kavität große Spritzkanüle veranlaßte die zusätzliche Verwendung einer Sonde zur kontrollierten gleichmäßigen Verteilung des Materials. Anschließend folgte die horizontale Schichtungstechnik vom hochviskösen Tetric Ceram in konventioneller Weise. Die erwarteten Verbesserungen durch Applizierung in Lining-Technik traten jedoch nicht ein. Die statistischen Auswertungen zeigten

mit 1,8% Randspalten und 89% perfekten Randbereichen bei mittelgroßen abgeschrägten Schmelzkavitäten für die Gruppe „Lining-Technik“ nach Tetric Ceram die besten Randqualitäten. Bei großen Schmelzfüllungen konnten sogar vergleichbar gute Ergebnisse wie bei den konventionellen hochviskösen Tetric Ceram Restaurationen evaluiert werden. Dagegen wiesen die Dentinkavitäten signifikant mehr Randspalten auf. Andere Studien zu Klasse-II-Kompositrestaurationen in Lining-Technik konnten sowohl in Schmelzbegrenzung [RUSSEL & MAZER 1999], als auch mit zervikalem Füllungsrand im Dentin [MIRANDA et al. 1999], keine Reduktion der Randspalten durch die Lining-Technik im Vergleich zu konventionell in horizontalen Schichten applizierten Hybridkompositen feststellen. Diese Studie konnte somit die erhofften Vorteile durch Kombination der verschiedenen Materialeigenschaften nicht belegen. Allerdings stellt die Lining-Technik eine neuartige Applikationsform dar, welche zumindest keine signifikanten Qualitätseinbußen im Vergleich zur herkömmlichen Anwendung von Kompositmaterialien aufweist. Hinsichtlich unterschiedlicher Indikationsstellungen ist vor allem unter dem klinisch-praktischen Aspekt die in Lining-Technik gelegte Klasse-II-Restauration als durchaus hilfreiche Alternative zur konventionell geschichteten Technik anzusehen.

4.7 Schlußfolgerungen

Zusammenfassend können aus der vorliegenden Studie folgende Aspekte herausgestellt werden:

- Versorgungen mit Kompositmaterialien weisen bei geringem Kavitätenvolumen und Anlegen einer Schmelzrandabschrägung eine höhere Füllungsrandqualität auf. Ein defektbezogenes und substanzschonendes Vorgehen bei der Kavitätenpräparation für adhäsive Versorgungen ist zu empfehlen.
- Die alleinige Anwendung von Tetric Flow als spritzbares Hybridkomposit ist für Versorgungen von Kavitäten bis hin zur mittleren Ausdehnung mit Anschrägung geeignet.
- Kompositrestaurationen großer Klasse-II-Kavitäten mit zervikaler Ausdehnung im Dentin haben unabhängig von verwendetem Material oder Applikationstechnik (Lining-Technik bzw. konventionelle Stopftechnik), nach wie vor einen im Vergleich zu schmelzbegrenzten Restaurationen deutlich reduzierten Verbund. Ihre Randqualitäten sind dennoch unter klinisch relevanten Aspekten als akzeptabel einzustufen.
- Bei Berücksichtigung aller Aspekte weisen unter den getesteten Kompositmaterialien das hochvisköse Feinsthybridkomposit Tetric Ceram und die in Lining-Technik in Kombination mit dem mittelviskösen Tetric Flow gelegten Restaurationen die besten Randqualitäten auf.
- Trotz Ausbleiben der Reduktion von Randspaltbildungen durch Anwendung der Lining-Technik, kann diese Applikationsform aus klinischer Sicht für mittlere bis große Schmelzkavitäten als

Alternative zur Schichttechnik mit hochviskösem Material empfohlen werden.

- Für den Polyglas-Werkstoff Solitaire konnten die positiven Ergebnisse anderer Studien bei zervikaler Dentinbegrenzung nicht bestätigt werden. Nach den Ergebnissen der vorliegenden Studie ist die Anwendung von Solitaire in Kastenkavitäten ohne Anschrägung nicht zu empfehlen. Dagegen zeigen die Restaurationen mittlerer und großer Ausdehnung mit angelegten Randanschrägungen relativ gute Ergebnisse.

5. Zusammenfassung

Die Polymerisationsschrumpfung und die damit verbundene Randspaltbildung von adhäsiven Restaurationen stellt bis zum heutigen Zeitpunkt ein grundlegendes Problem dar. Der Einfluß der Kavitätengestaltung, im Hinblick auf Volumen, Randwinkel und Distanz zur Schmelz-Zement-Grenze, und die eventuelle Bildung von Randspalten bei Verwendung verschiedener aktueller Kompositwerkstoffe wurde in der vorliegenden in-vitro Studie in standardisierten Klasse-II-Restaurationen untersucht.

96 extrahierte unversehrte Molaren wurden randomisiert und in 4 Materialgruppen zu je 8 Zähnen aufgeteilt. An jedem Molaren wurden gegenüberliegend standardisierte Klasse-II-Kavitäten mittels sonoabrasiver Präparationsinstrumente hergestellt (Sonicsys Approx-Ansatz, Kavo). Kavitätenvolumen, -randwinkel und Lokalisation des zervikalen Kavitätenrandes wurden dabei konstant gehalten. Drei verschiedene Kompositwerkstoffe wurden miteinander verglichen: Tetric Flow (Vivadent), Tetric Ceram (Vivadent) und Solitaire (Kulzer). Die sogenannte „Lining-Technik“, mit dem fließfähigen mittelviskösen Tetric Flow als möglicher „Stress-Puffer“ und dem hochviskösen Tetric Ceram als Kernfüllung, wurde als vierte Materialgruppe und alternative Applikationsform zusätzlich untersucht. Die gefüllten Testzähne wurden vor und nach Thermocycling im Rasterelektronenmikroskop analysiert und ausgewertet.

Die besten Füllungsrandqualitäten wurden bei den Testproben mit geringem Kavitätenvolumen und bei zirkulärer Randanschrägung in Schmelz ermittelt. Die ausschließliche Verwendung des fließfähigen, mittelviskösen Tetric Flow (Vivadent) ist für Restaurationen von Kavitäten mit und ohne Randanschrägung bis hin zur mittleren Ausdehnung empfehlenswert. Kompositrestaurationen großer Klasse-II-Kavitäten mit zervikaler Ausdehnung im Dentin haben nach wie vor, unabhängig von verwendetem Material oder Applikationstechnik, im Vergleich zu Restaurationen mit Begrenzung in Schmelz, deutlich schlechtere Randqualitäten. Unter der Berücksichtigung von Kavitätengestaltung,

Kompositwerkstoff und Applikationstechnik stellte sich in der statistischen Auswertung der vorliegenden Studie das hochvisköse Feinsthybridkomposit Tetric Ceram und die in Lining-Technik mit Tetric Flow kombinierte Applikationsanwendung, als diejenigen mit den besten Randqualitäten heraus. Die Annahme einer Qualitätsverbesserung der Füllungsänder durch das Anlegen einer Lining-Schicht als Stress-Puffer, aufgrund der günstigen Elastizitätseigenschaft, konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Für die klinische Anwendung darf die „Lining-Technik“ jedoch für mittlere bis große Schmelzkavitäten als Alternative zur konventionellen Schichttechnik mit hochviskösem Material empfohlen werden. Der Polyglas-Werkstoff Solitaire (Kulzer) wurde mit den herkömmlichen Feinsthybridkompositen Tetric Ceram und Tetric Flow verglichen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung gehen in Bezug auf Restaurationen mit Begrenzung der zervikalen Füllungsänder in Dentin mit den positiv bewerteten Resultaten anderer Studien zu Solitaire nicht konform. Weiterhin wurden bei der Verwendung von Solitaire in Kastenkavitäten ohne Anchrägung relativ hohe Randspaltanteile ermittelt. Dagegen zeigten die Restaurationen mit mittlerer und großer Ausdehnung und angelegten Randanschrägungen von 45° relativ gute Ergebnisse.

6. Literatur

1. *Abdalla, A. I., Davidson, C. L.*: Comparison of the marginal integrity of in vivo and in vitro class II composite restorations. *J. Dent* 21, 158 (1993).
2. *Affleck, M. S., Denehy, G. E., Vargas, M. A., Setien, V. J.*: Microleakage with incremental versus bulk placement utilizing condensable composites. *J Dent Res* 78, 155, Abstract 393 (1999).
3. *Barclay, C. W.*: Thermocycling an unrealistic technique for simulating clinical conditions?
4. *Bayne, S. C., Thompson, J. Y., Swift, E. J., Stamatiades, P., Wilkerson, M.*: A characterization of first-generation flowable composites. *Jada* 129, 567-577 (1998).
5. *Behle, C.*: Flowable composites: properties and applications. *Pract-Periodontics-Aesthet-Dent* 10 (3): 347, 350-1 (4/1998).
6. *Blunck, U., Roulet, J.-F.*: In vitro marginal quality of dentin-bonded composite resins in class V cavities. *Quintessence Int* 20, 407 (1989).
7. *Bowen, R. L.*: Dental filling materials comprising vinyl silane treated fused silica and a binder consisting of the reaction product of bisphenol and glycidyl acrylate. *US Patent* 3066:122 (1962).
8. *Bowen, R. L., Nemoto, K., Rapson, J. E.*: Adhesive bonding of various materials to hard tissues: Forces developing in composite materials during hardening. *J Dent Res Assoc* 106,475-477 (1983).
9. *Brännström, M., Nordenvall, K.-J.*: Bacterial penetration, pulpal reaction and the inner surface of concise enamel bond. Composite fillings in etched and unetched cavities. *J Dent Res* 57, 3 (1978).
10. *Buonocore, M. G.*: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials of enamel surfaces. *J Dent Res* 34, 849 (1955).
11. *Cantuna, M. C.*: A Possible Dentin Application. Preliminary report of an Ultrasonic cutting method. *Ann Den* 12, 100 (1953).
12. *Chen, H. Y., Manhard, J., Hickel, R., Kunzelmann, K. H.*: Polymerization contraction stress in light-cured packable composite resins. *Dent Mater* 17 (3): 253-259 (2001).
13. *Choi, K. K., Ferracane, J. L., Hilton, T. J., Charlton, D.*: Properties of packable dental composites. *J Esthet Dent* 12 (4): 216-226 (2000).

14. *Chuang, S. F., Liu, J. K., Chao, C. C., Liao, F. P., Melody Chen, Y. H.:* Effects of flowable composite lining and operator experience on microleakage and internal voids class II composite restorations. *J Prosthet Dent* 85: 177-183 (2001).
15. *Chuang, S. F., Liu, J. K., Jin, J. T.:* Microleakage and internal voids in class II composite restorations with flowable composite linings. *Oper Dent* (2001).
16. *Ciamponi, A. L., Portillo Lujan, V. A., Ferraira Santos, J. F.:* Effectiveness of reflective wedges on the polymerization of composite resin. *Quint Int* 25, 599-602 (1994).
17. *Cobb, D. S., MacGregor, K. M., Vargas, M. A., Denehy, G. E.:* The physical properties of packable and conventional posterior resin-based composites: a comparison. *J Am Dent Assoc* 131 (11): 1610-1615 (2000).
18. *Davidson, C. L., DeGee, A. J.:* Relaxation of polymerization contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 63, 146-148 (1984).
19. *Davidson, C. L.:* Resisting the curing contraction with adhesive composites. *Prosthet Dent* 55, 446 (1986).
20. *Davidson, C. L., Feilzer, A.J.:* Polymerisation shrinkage and polymerisation shrinkage stress in polymer-based restoratives. *J Dent* 25, 435 (1997).
21. *Davidson-Kaban, S. S., Davidson, C. L., Feilzer, A. J., de Gee, A.J., Erdilek, N.:* The effect of curing light variations on bulk curing and wall-to-wall quality of two types and various shades of resin composites. *Dent Mater* 13, 344 (1997).
22. *Davidson, C. L., Davidson-Kaban, S. S.:* Handling of mechanical stresses in composite restorations. *Dent-Update* 25(7), 274-9 (1998).
23. *De Gee, A. J., Davidson, C. L., Smith, A.:* A modified dialometer for continuous recording of volumetric polymerization shrinkage of composite restorative materials. *J. Dent* 9, 36 (1981).
24. *De Gee, A. J., Raddi, S., Davidson, C. L.:* Setting shrinkage of resin composites, polyacid-modified resin composites, glass-ionomers and resin-modified glass-ionomers determined with the mercury dialometer and the linometer. *J Dent Res*, 77 (5), 1208, Abstract 14 (1998)
25. *De la Maccora, J. C., Gomez-Fernandez, S.:* Quantification of the configuration factor in class I and II cavities and simulated cervical erosions. *Eur J Prosthodont Rest Dent* 1, 29 (1996).

26. *Dietschi, D., Scampa, U., Campanile, G., Holz, J.:* Marginal adaption and seal of direct and indirect class II composite resin restorations: An in vitro evaluation. *Quintessence Int* 26, 127 (1995a).
27. *Dietschi, D., De Siebenthal, G., Neveu-Rosenstand, L., Holz, J.:* Influence of the restorative technique and new adhesives on the dentin marginal seal and adaptation of resin composite class II restorations: An in vitro evaluation. *Quintessence Int* 26, 717 (1995b).
28. *Dietschi, D., Herzfeld, D.:* In vitro evaluation of marginal and internal adaptation of class II resin composite restorations after thermal and occlusal stressing. *Eur J Oral Sci* 106, 1033 (1998).
29. *Douvitsas, G.:* Effect of cavity design on gap formation in class II resin composite restorations. *J Prosthet Dent* 65, 475 (1991).
30. *Eick, J. D., Robinson, S. J., Chappell, R. P., Cobb, C. M., Spencer, P.:* The dental surface: Its influence on dental adhesion. *Quintessence Int* 24, 43 (1992).
31. *Eick, J. D., Robinson, S. J., Byerly, T. J., Chappelow, C. C.:* Adhesives and nonshrinking dental resins of the future. *Quintessence Int* 24, 632-640 (1993).
32. *Ernst, C.-P., Martin, M., Wilerhausen, B.:* Klinische Studie zum Füllungswerkstoff Solitaire. Erste Nachuntersuchungsergebnisse nach sechs Monaten, Teil 2. *Zahnärztliche Welt* 107, 672 (1998).
33. *Ernst, C.-P., Martin, M., Stuff, S., Wilerhausen, B.:* Clinical performance of a packable resin composite for posterior teeth after 3 years. *Clin Oral Investig* 5 (3): 148-155 (2001).
34. *Erickson, R. L.:* Surface interactions of dentin adhesive materials. *Oper Dent (Supple 5)*, 81 (1992).
35. *Feilzer, A. J., DeGee, A. J., Davidson, C. L.:* Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 66, 1636 (1987).
36. *Feilzer, A. J., DeGee, A. J., Davidson, C. L.:* Increased wall-to-wall curing contraction in thin bonded resin layers. *J Dent Res* 68, 48 (1989).
37. *Feilzer, A. J., DeGee, A. J., Davidson, C. L.:* Curing contraction of composites and glass-ionomer cements. *J Prosthet Dent* 59, 297 (1988b).

38. *Feilzer, A. J., DeGee, A. J., Davidson, C. L.*: Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69, 36 (1990).
39. *Ferdianakis, K.*: Microleakage reduction from newer esthetic restorative materials in permanent molars. *J Clin Pediatr Dent* 23:221-9 (1998).
40. *Frankenberger, R., Krämer, N., Pelka, M., Petschelt, A.*: Internal adaption and overhang formation of direct Class II resin composite restorations. *Clin Oral Invest* 3; 4: 208-215 (1999).
41. *Friedl, K.-H., Schmalz, G., Hiller, K.-A.*: Flüssigkeitskulturen zur Prüfung der Wirkung zahnärztlicher Werkstoffe auf das Bakterienwachstum. *Dtsch Zahnärztl Z* 47,826 (1992).
42. *Fröhlich, M., Schneider, H., Merte, K.*: Oberflächeninteraktionen von Dentin und Adhäsiv. *Dtsch Zahnärztl Z* 51, 173 (1996).
43. *Fukushima, M., Setcos, J. C., Phillips, R. W.*: Marginal fracture of posterior composite resins. *J Am Dent Assoc* 117, 577-583 (1988).
44. *Geurtsen, W.*: Klinik der Kompositfüllung. Hanser, München (1989).
45. *Glockner, K., Reich, M. E., Kos, S., Keil, Ebeleseder, K., Städtler, P.*: Randspaltadaption von verschiedenen zahnfarbenen Klasse-II-Restaurationen. *Dtsch Zahnärztl Z* 53, 775 (1998).
46. *Goracci, G., Mori, G., Casa de Martinis, L. L.*: Curing light intensity and marginal leakage of resin composite restorations. *Quintessence Int* 27, 355 (1996).
47. *Hahn, R., Weiger, R., Netuschi, L., Bröch, M.*: Mikrobial Accumalation and Vitality on different restauration materials. *J Dent Res* 71, 599 (Abst 699) (1992).
48. *Haller, B., Klaiber, B., Götze, W., Piatka, E.*: Der Einfluß von Glassionomer-Zementen und Dentinadhäsiven auf die Randständigkeit zervikaler Kompositfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 42, 588 (1987).
49. *Haller, B.*: Untersuchungen zum Mechanismus und zur Wirksamkeit von Komposit-Dentinhaftmitteln. Habilitationsschrift, Würzburg (1992a).
50. *Haller, B.*: Aktueller Stand der Komposit-Dentinhaftung. *Zahnärztl Mitt* 18, 86 (1992b).
51. *Haller, B., Schuster, P.*: Marginal adaption to dentin of a condensable polyglass-based composite. International Association for Dental

Research/Continental European Division (IADR/CED), 34th Annual Meeting, Madrid, September 1997.

52. *Haller, B., Günther, J.:* Randqualität von Klasse-II-Kompositfüllungen. Dtsch Zahnärztl Z 53, 330 (1998).
53. *Haller, B., Hellwig, E.:* Werkstoffeigenschaften und klinische Verarbeitung von Solitaire[®] und Ariston pHc[®]. ZBW 9,26 (1998).
54. *Haller, B., Walter, F.:* Zur Frage der Matrizentechnik bei dentinbegrenzten Klasse-II-Kompositfüllungen. Jahrestagung der DGZ, Bremen 1998.
55. *Haller, B., Blunck, U.:* Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme. ZM 93, Nr.7, (818), 48-58 (1.4.2003)
56. *Hofmann, N., Just, N., Haller, B., Hugo, B., Klaiber, B.:* The effect of glassionomer cement or composite resin bases on restoration of cuspal stiffness of endodontically treated premolars in vitro. Clin Oral Invest 2, 77 (1998).
57. *Hugo, B., Stassinakis, A., Hotz, P., Klaiber, B.:* Reproduzierbare Präparation standardisierter Klasse-II- Kavitäten. Dtsch Zahnärztl Z 51, 746 (1996d).
58. *Hugo, B.:* Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten oszillierender Verfahren in der Präparationstechnik (Teil I, II). Dtsch Zahnärztl Z 52, 637 u. 718 (1997).
59. *Hugo, B., Stassinakis, A., Hofmann, N., Starz, Ch., Klaiber, B.:* Temperaturentwicklung im Dentin bei sonoabrasiver Zahnpräparation in vitro. Acta Med Dent Helv Vol. 4, No. 7, 125-132 (1999).
60. *Huysmans, MCDNJM vd Varst PGT, Lautenschlager, EP., Monaghan, P.:* The influence of simulated clinical handling of the flexural and compressive strength of posterior composite restorative materials. Dent Mater 12: 116-120 (1996).
61. *Jain, P., Belcher, M.:* Microleakage of Class II resin-based composite restorations with flowable composite in the proximal box. American Journal of Dentistry, Vol. 13, No. 5 (10/ 2000).
62. *Janda, R.:* Der Stand der Entwicklung auf dem Gebiet der Zahnfüllungskunststoffe I-III. Quintessenz 39, 1067-1073, 1243-1253, 1393-1398 (1988).
63. *Janda, R.:* Kunststoffverbundsysteme. Grundlagen, Anwendung, Verarbeitung, Prüfung. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim (1990).

64. *Jendresen, M. D., Glantz, P. O., Baier, R. E., Eick, J. D.*: Microtopography and clinical adhesiveness of an acid etched tooth surface. An in-vivo study. *Acta Odontol Scand* 39 (1): 47-53 (1981).
65. *Kelsey, W. P., Latta, M. A., Shaddy, R. S., Stanislav, C. M.*: Physical properties of three packable resin-composite restorative materials. *Oper Dent* 25 (4): 331-335 (2000).
66. *Kemp-Scholte, Ch. M., Davidson, C. L.*: Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite resin restorations. *J Dent Res* 67, 841-845 (1988).
67. *Kemp-Scholte, Ch. M., Davidson, C. L.*: Marginal integrity related to bond strength and strain capacity of composite resin restorative systems. *J Prosthet Dent* 64, 658 (1990a).
68. *Kemp-Scholte, Ch. M., Davidson, C.*: Complete marginal seal of class V resin composite restorations effected by increased flexibility. *J Dent Res* 69, 1240-1243 (1990b).
69. *Krejci, I., Lutz, F., Lüscher, B., Maffioli, E.*: Optimierung der marginalen Adaptation von Seitenzahnkompositfüllungen durch seitlich reflektierende Leuchtkeile. *Swiss Dent* 7, 47-52 (1986b).
70. *Krejci, I., Sparr, D., Lutz, F.*: A three-sided light curing technique for conventional class II composite resin restorations. *Quintessence Int* 18, 125 (1987).
71. *Krejci, I., Lutz, F.*: Marginal adaption of class V restorations using different restorative techniques. *J Dent* 19, 24 (1991).
72. *Krejci, I.*: Zahnfarbene Restaurationen. Hanser, München 1992.
73. *Krejci, I., Lohrer, Ch., Lutz, F.*: Modifizierte Kavitätenformen und Techniken für mittelgroße adhäsive Kompositfüllungen der Klasse II. *Acta Med Dent Helv* 4, 91 (1996).
74. *Labella, R., Lambrechts, P., Van Meerbeek, B., Vanherle, G.*: Polymerization shrinkage and elasticity of flowable composites and filled adhesives. *Dent Mater* 15(2), 128-137 (1999).
75. *Landsee, R., Attin, I.*: Seitenzahnrestaurationen mit Komposit unter besonderer Berücksichtigung der Integration keramischer Inserts. *Quintessenz* 47, 9, 1171-1182 (1996).
76. *Leinfelder, K. F., Roberson, TM.*: Clinical evaluation of posterior composite resins. *Gen Dent* 31: 276-280 (1983).

77. *Leinfelder, K. F., Bayne, S. C., Swift, E. J. Jr.*: Packable composites: overview and technical considerations. *J Esthet Dent* 11(5):234-49 (1999) Review.
78. *Lösche, G. M., Neuerburg, C. M., Roulet, J.-F.*: Die adhäsive Versorgung konservativer Klasse-II-Kavitäten. *Dtsch Zahnärztl Z* 48, 26 (1993a).
79. *Loguercio, A. D., Reis, A., Rodrigues-Filho, L. E., Busato, A. L.*: One-year clinical evaluation of posterior packable resin composite restorations. *Oper Dent* 26 (5): 427-434 (2001).
80. *Lüscher, B., Lutz, F., Ochsenbein, H., Mühlemann, H.*: Microleakage and marginal adaption in conventional and adhesive class II restorations. *J Prosthet Dent* 37, 300 (1977).
81. *Lutz, F., Philips, R. W., Roulet, J. F., Imfeld, Th.*: Komposits-Klassifikation und Wertung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 93, 914 (1983).
82. *Lutz, F., Krejci, I., Oldenburg, T. R.*: Elimination of polymerisation stresses at the margins of posterior composite resin restorations: a new restorative technique. *Quintessence Int* 17, 777-785 (1986a).
83. *Lutz, F., Krejci, I., Schüpbach, P.*: Adhäsivsysteme für Zahnfarbene Restaurationen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 103, 537-549 (1993).
84. *MacGregor, K. M., Cobb, D. S., Vargas, M. A.*: Physical properties of condensable versus conventional composites. *J Dent Res* 78 (Special Issue), 157, Abstr. No. 411 (1999).
85. *McCabe, JF., Ogden, AR.*: The relationship between porosity, compressive fatigue limit wear in the resin composite restorative materials. *Dent Mater* 3: 9-12 (1987).
86. *Medlock, JW. Zinck, JH., Norling, BK., Sisca, RF.*: Resin composite porosity with hand and syringe insertion. *J Prosth Dent* 54: 47-51 (1985).
87. *Mirranda, W. G., Nunes, M. F., Cardoso, P. E. S., Santos, J. F. F.*: Microleakage of condensable composite resins combined with a flowable composite. *J Dent Res* 78, 306 (Abstr. No. 1603) (1999).
88. *Munehika, T., Suszuki, K. Nishiyama, M., Ohashi, M., Horie, K.*: A comparison of the tensile bond strength of composite resin to longitudinal and transverse sections of enamel prisms in human teeth. *J Dent Res* 63, 1079 (1984).
89. *Nakabayashi, N.*: Bonding of restorative materials of dentin: The present status in Japan. *Int Dent J* 35, 145 (1985).

90. Nordbo, N., Leirskar, J., Von der Fehr, F. R.: Saucer-shaped cavity preparations for posterior approximal resin composite restorations: Observations up to 10 years. *Quintessence Int* 29, 5 (1998a).
91. Nordbo, N., Leirskar, J., Von der Fehr, F. R.: Schlüsselförmige Kavitätenpräparation für proximale Kompositrestauration im Seitenzahnbereich – Beobachtungen bis zu 10 Jahren. *Quintessence* 49, 773 (1998b).
92. Oberlander, H., Hiller, K. A., Thonemann, B., Schmalz, G.: Clinical evaluation of composite resins in Class-II restorations. *Clin Oral Investig* 5 (2): 102-107 (2001).
93. O'Brien, WJ., Yee, J.: Microstructure of posterior restorations of resin composite after clinical wear. *Oper Dent* 5: 90-94 (1980).
94. Oman, C. R., Appelbaum, E.: Ultrasonic cavity preparation. Progress report II. *J Am Dent Assoc* 50, 414 (1955).
95. Opdam, J., Roeters, J., Peters, T., Burgersdijk, R., Teunis, M.: Cavity wall adaptation and voids in adhesive class I resin composite restorations. *Dent Mater* 12, 230-235 (1996).
96. Opdam, N. J. M., Roeters, J. J. M., Burgersdijk, R. C. W.: Microleakage of class II box-type composite restorations. *J Dent* 11, 160 (1998a).
97. Opdam, N. J. M., Roeters, F. J. M., Feilzer, A. J., Smale, I.: A radiographic and scanning electron microscopic study of approximal margins of class II resin composite restorations places in vivo. *J Dent* 26, 319 (1998b).
98. Pallesen, U., Qvist, V.: Clinical evaluation of three posterior composite resins: 10-year report. *J Dent Res* 74, 404 (Abstr. No. 30) (1995).
99. Pashley, D. H.: Clinical considerations of microleakage. *J Endodont* 16, 70-77 (1990).
100. Rashid, R., Ricks, J., Monaghan, P.: Strength of condensable composite resins with flowable liners. *J Dent Res* 78, 156 (Abstr. No. 403) (1999).
101. Rossomando, K. J., Wendt, S. L.: Thermocycling and dwell times in microleakage evaluation for bonded restorations. *Dent Mater* 11, 47 (1995).
102. Roulet, J.-F.: Degradation of dental polymers. Karger, Basel (1987).
103. Roulet, J.-F., Reich, T., Blunck, U., Noak, M. J.: Quantitative margin analysis in the scanning electron microscope. *Scanning Microsc* 3, 147 (1989).

104. *Roulet, J.- F.*: Margin of posterior composites. *Dent Mater* 7, 44 (1991).
105. *Russell, R. R., Mazer, R. B.*: Shoud flowable composites be used as liners for class II restorations? *J Dent Res* 78, 389, Abstract 2266 (1999).
106. *Schäffer, H., Höbling, M.*: Vollkeramik-Restaurationen aus Optec Hsp. *Dental Labor* 38, 1593 (1990).
107. *Schäffer, H.*: (Hrsg. H. Schäffer) *Keramikinlays. Materialkundliche und klinische Aspekte – Experimentelle Untersuchungen.* (Habilitationsschriften der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde) Quintessenz Verlag, Berlin 1993.
108. *Schuckar, M., Geuertsen, W.*: Die approximal-zervikale Randdichte von Klasse-II-Kompositfüllungen nach Temperaturwechselbelastung. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 164 (1995).
109. *Schuster, P., Haller, B.*: New composite with reduced polymerisation contraction: Evaluation filling techniques. *J Dent Res* 77(5), 1209, Abstract 16 (1998)
110. *Solltesz, U.*: Polymerisationsschrumpfung einiger neuer Komposit-Füllungswerkstoffe. *Zahnärztl Mitteil* 88, 1404 (1998).
111. *Staininec, M., Mochizuki, A., Tanizaki, K., Fukuda, K., Tsuchitani, Y.*: Interfacial space, marginal leakage, and enamel cracks around composite resins. *Oper Dent* 11, 14 (1986).
112. *Torstenson, B., Brännström, M.*: Contraction gap under composite resin restorations: effect of hygroscopic expansion and thermal stress. *Oper Dent* 13, 24 (1988).
113. *Unterbrink, G. L., Müssner, R.*: Influence of light intensity on two restorative systems. *J Dent* 23, 183 (1995).
114. *Unterbrink, G. L., Liebenberg, W.H.*: Flowable composites as „filled adhesives“: Literature review and clinical recommendations. *Quintessence Int* 30: 249-257 (1999).
115. *Van Meerbeek, B., Inokoshi, S., Braem, M., Lambrechts, P., Vanherle, G.*: Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71 (8), 1530-1540 (1992).
116. *Verluis, A., Tantbirojn, D., Douglas, W. H.*: Do dental composites always shrink towards the light? *J Dent Res*, 1435-1445 (1998).

117. *Wilson, N. H. F., Wilson, M. A., Wastell, D. G., Smith, D. A.:* Performance of occlusion in butt-joint and bevel-edged preparations: Five-year results. *Dent Mater* 7, 92 (1991).
118. *Youngson, C. C., Glyn Jones, J. C., Smith, I. S., Fox, K.:* In vivo temperature changes during a standardised thermal challenge. *J Dent Res, Special Issue, Abstr.* 2585 (1998).

7. Herstellerverzeichnis

Diamantschleifer

mittlerer Körnung 80 µm, Nr.836KR 014, Komet, Gebr. Brasseler GmbH, D-32657 Lemgo

Sonoabrasive Ansätze

Sonicsys Approx-Instrumente, Nr. 3, Nr.4, Diamantbelegung 46 µm mittlere Korngröße; Antrieb: Sonicflex 2000N, KAVO, Kaltenbach & Voigt GmbH, D-88400 Biberach/Riss

Konditionierer

Esticid[®]-20FG, 2.5ml:20% Orthophosphorsäure

Ch-Nr.LOT 99.12,31 21 ce 0123[®] Heraeus Kulzer GmbH, D-38678

Wehrheim/Ts

Email Preparator GS: 37% Phosphorsäure

Ch-Nr.LOT 901330 Exp. 1998-12, Vivadent, FL-9494 Schaan/Lichtenstein

Haftvermittler

Solid Bond, Heraeus Kulzer GmbH, D-38678 Wehrheim/Ts

Syntac Classic, Vivadent, FL-9494 Schaan/Lichtenstein

Primer I (Syntac Primer): Tetraethylenglycoldimethacrylat, Maleinsäure in wässriger Acetonlösung

Ch-Nr.LOT 539329/2, ce 0047

Primer II (Syntac Adhesive): Polyethylenglycoldimethacrylat, Glutaraldehyd 50% in wässriger Lösung

Ch-Nr.LOT 539329/2, ce 0047

Adhesive (Heliobond): Bis-GMA, Triethylenglycol-dimethacrylat

Ch-Nr.LOT 539329/2, ce 0047

Komposite

Tetric Flow, Tetric Ceram, Vivadent Dental GmbH, D-73471 Ellwangen

Solitaire, Heraeus Kulzer GmbH, D-38678 Wehrheim/Ts

Kunststoffzähne

Frasaco, Franz Sachs & co. GmbH, D-88069 Tettnang

Transparentmatritzen

DEL universal matrix strips ,Dental Exports London, 113 Bushley Mill Lane,

Watford WD 24 UD

Holzkeile

Sycamore Interdental Wedges, Hawe Neos Dental, CH-6394 Bioggio

Polymerisationslampe

Translux CL, Heareus-Kulzer GmbH, D-38678 Wehrheim/Ts

Al₂O₂ belegte Gummi-Polierscheiben

Sof-Lex Medium: 12,7mm • 1/2 in Ø85, No. 1982M mit 40µm Körnung,

Sof-Lex Fine- und Superfine: 12,7mm 1/2 in Ø85, No. 1982F mit 12µm und No.

1982SF mit 3µm Körnung, 3M, Medica, D-64304 Borken

Physiologische Kochsalzlösung

NaCl Lösung (0,9%), Fresenius AG, D-61343 Bad Homburg

Kältebad

MGW Lauda RMT 6 Lauda Dr. Wobster GMBH & Co KG, D-97922 Lauda-

Königshofen

Wärmebad

Julambo MWB 1/9, Julambo Labortechnik, D-77960 Seelbach

Silikonabformmasse

President Jet light body, Coltene, CH-9450 Altstätten

Kunstharz

Araldit CW 2215, Ciba Geigy, Net 750 G, Ident. No 0411949, Sales Hem Ident.
No 1389685, Batch No 20173473

korrespondierender Härter

Isopherondiamin/ Benzolalkohol Härter HY 5162, Gößl & Pfaff Kunstharze,
Batch No 52554158, Art. No 6 Hy 516200, Ciba-Geigy, D-79664 Wehr

Rasterelektronenmikroskop

DSM 940, Zeiss, D-73447 Oberkochen

Sputtergerät

Emitech K 550, Röntgenanalytik Messtechnik GmbH, D-65232 Taunusstein

Leitfähiger Kleber

Karbon-Zement Leit C nach Göcke, SEM G., Neubauer Chemikalien, D-65393
Walluf

Signifikanz-Analyse

Quanticap-Software-Paket, S. Küppers, Med. Softwarelsg, D-91054 Erlangen

Danksagung

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen geliebten Eltern, die mir mein Studium der Zahnmedizin ermöglicht haben.

Herrn Priv.-Doz. Dr. B. Hugo danke ich für die Überlassung des Promotionsthemas, die persönliche Betreuung und die Übernahme des Referates.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. B. Klaiber für sein stetes persönliches Interesse an der Promotionsarbeit.

Herrn Prof. Dr. A. Renk danke ich für die Übernahme des Korreferates.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name	Suk-yung Kim
Anschrift	Zellerstraße 17 D-97082 Würzburg Tel: +49931-41 73370
Geburtsdatum	31.8.1971
Geschlecht	männlich
Geburtsort	Seoul / Südkorea
Familienstand	ledig
Konfession	römisch-katholisch
Staatsangehörigkeit	deutsch

Schulbildung

Glennary Elementary School Hong Kong		1976 bis 1978
Grundschule Eversburg	1.-4. Klasse	1978/79 bis 1981/82
Orientierungsstufe Eversburg	5. Klasse	1982/83
Gymnasium Augustinianum	6.-7. Klasse	1983 bis 1985
Gymnasium Carolinum	8.-13. Klasse	1985 bis 1992

Freiwillig Soziales Jahr

Sozialstation Osnabrück	2 Monate	1992
Altenheim Lütjenburg	4 Monate	1993

Studium

Bayerische Julius Maximilians Universität Würzburg

Beginn des Studiums Zahnmedizin	1993 (SS)
Naturwissenschaftliche Vorprüfung	1994
Zahnärztliche Vorprüfung	1996
Staatsexamen und Approbation	1998

Berufliche Tätigkeiten

Wissenschaftlicher Mitarbeiter Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Universität Würzburg (Direktor: Prof. Dr. Bernd Klaiber)	1999-2001
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der Universität Würzburg (Direktor: Prof. Dr. Dipl.-Ing. E.-J. Richter)	2001-2003
Wissenschaftlicher Mitarbeiter Klinik und Poliklinik für Mund-, Kiefer-, Gesichtschirurgie der Universität Würzburg (Direktor: Prof. Dr. Dr. Jürgen Reuther)	seit Okt. 2003

Suk-yung Kim

Würzburg, 6. Juni 2003