

Randqualität von Keramikformkörpern (SONICSYS approx) mit zervikaler Schmelz- oder Dentinbegrenzung

Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde die Randqualität von Kompositfüllungen mit und ohne vorgefertigte Keramikinserts (Sonicys approx) überprüft und mit laborgefertigten Keramikinlays (Empress) verglichen. 64 Klasse-II-Kavitäten wurden an extrahierten menschlichen Molaren präpariert. Jeweils vier Gruppen wiesen zervikale Ränder im Schmelz bzw. im Dentin auf. 48 Kavitäten wurden im Phantommodell sonoabrasiv mittels des Sonicys-Ansatzes in abgeschrägte Normkavitäten umgeformt. Die Kavitäten wurden anschliessend mit dem Feinpartikelhybridkomposit Tetric Ceram in «Mehrschicht-Technik» oder mit Sonicys approx-Inserts in Kombination mit hochviskösem Tetric Ceram oder mit mittelviskösem Tetric Flow gefüllt. 16 konventionell rotierend finierte Kavitäten wurden mit Empress-Inlays versorgt. Die qualitative Randanalyse erfolgte im Rasterelektronenmikroskop vor und nach thermischer und mechanischer Belastung. Der Anteil Randspalten in Bezug auf die Gesamtrandlänge lag nach Belastung bei zervikalen Schmelzrändern zwischen 0% und 10,3%, bei Dentinrändern zwischen 9,1% und 21,3%. Bezüglich der Spaltbildung bei zervikalem Dentinrand unterschieden sich die mit Tetric Flow befestigten Sonicys-Inserts (9,1%) nicht von den Empress-Inlays (9,8%). Die plastischen Kompositfüllungen wiesen in dieser Region 21,3% Spaltbildung auf. Bei Anwendung aktueller Adhäsivtechnik sind nur geringfügige Unterschiede bezüglich der Randqualität von plastischen Kompositfüllungen mit und ohne Insert und indirekt hergestellten Keramikinlays zu finden. Die Indikationsstellung der zeit- und kostenintensiven Laborinlays sollte daher überdacht werden.

Acta Med Dent Helv 4: 153–161 (1999)

Schlüsselwörter:

Oszillierende Präparationstechnik, Füllungstechnik

Zur Veröffentlichung angenommen: 2. Juli 1999

Korrespondenzadresse:

Dr. med. dent. B. Hugo, Universität Würzburg, Klinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Pleicherwall 2, D-97070 Würzburg, Tel. 0049/(0)931/201-7242, Fax 0049/(0)931/201-7240, E-Mail: burkard.hugo@mail.uni-wuerzburg.de

BURKARD HUGO¹, NORBERT HOFMANN¹,
ALEXANDROS STASSINAKIS², SILKE RIEDLINGER¹
und BERND KLAIBER¹

¹ Klinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Universität Würzburg

² Klinik für Zahnerhaltung, Präventiv- und Kinderzahn-
medizin der Universität Bern

Einleitung

Die allgemeine «Negativdiskussion» zum Thema Amalgam sowie die fehlende Ästhetik dieser Füllungen weckt bei vielen Patienten den Wunsch nach einer amalgamfreien Versorgung. Bei Erstversorgungen steht mit der adhäsiven Kompositrestauration eine defektbezogene, zahnfarbene Füllungstechnik zur Verfügung, die heute allgemein anerkannt ist. Beim Ersatz von Amalgam- oder auch von konventionellen Kompositfüllungen müssen in der Regel ausgedehnte kastenförmige Kavitäten versorgt werden. Die Entwicklung von Alternativen zur bewährten Amalgamfüllung gestaltet sich hier deutlich schwieriger als bei Erstversorgungen. Durch die Ausdehnung der ursprünglichen Präparation ist meistens ein grosser Defekt zu restaurieren, es fehlen wichtige Bereiche der Approximalfläche, der Kontakt zum Nachbarzahn ist aufgelöst und die zervikale Stufe weist wenig oder keinen Schmelz mehr auf.

Einfaches Ersetzen von Amalgam durch Komposit – bei gleicher Präparationsgestaltung und Applikationstechnik – ist aufgrund spezifischer Materialeigenschaften und Anforderungen an die adhäsive Verbundtechnik des Komposits zum Scheitern verurteilt. Während heute mit hochgefüllten Feinhybrid-Kompositmaterialien ein zufriedenstellendes Abrasionsverhalten auch im Seitenzahnbereich erzielt werden kann (WILLEMS et al. 1993), stellt deren Randverhalten, bedingt durch die volumetrische Schrumpfung des Komposits (FEILZER et al. 1990) nach wie vor ein Problem dar. Durch unterschiedliche Applikationstechniken kann ein Teil der Schrumpfung kompensiert werden. Die «Nachschrumpfung», die noch bis zu 24 Stunden nach Applikation stattfindet und zwischen 10% und 30% der gesamten Schrumpfung beträgt, kann jedoch nicht kontrolliert werden und schränkt somit die Anwendung der Komposite ein (FEILZER

et al. 1987, UNTERBRINK & MÜSSNER 1995). Die sogenannte intrinsische Schrumpfungsspannung wird im Weiteren von der Elastizität des Kompositmaterials sowie von dessen Monomerzusammensetzung, dem Katalysatorsystem und der Lichtintensität während der Polymerisation beeinflusst (ITOH et al. 1986, FEILZER et al. 1990, UNO & ASMUS 1991). Weitere Einflussfaktoren für die Qualität der Klasse-II-Kompositfüllung sind die Kavitätenform und deren Extension, wobei grosse Kavitäten die zu erwartenden Schwierigkeiten exponentiell ansteigen lassen (FEILZER et al. 1987). Während die Wiederherstellung eines physiologischen Approximalkontaktes bei der Amalgamfüllung durch mechanisches Kondensieren des Materials unproblematisch ist, ist dies mit konventionellen Kompositen nicht in vergleichbarer Weise möglich. Nach dem Legen von Kompositfüllungen gehören schwache oder offene Approximalkontakte zum klinischen Alltag und lassen sich nur zum Teil durch massives «Prewedging» mit interdentalen Holzkeilen oder anderen Hilfsmitteln, wie z.B. Polymerisationsaufsätzen vermeiden (DÖRFER et al. 1996, STASSINAKIS et al. 1998).

Bei dem indirekten Restaurationsverfahren der Komposit- oder Keramikinlays wird der grösste Teil der Kavität durch einen Festkörper ausgefüllt und die polymerisierende Kompositmenge und damit auch das schrumpfende Volumen kleingehalten. Das gleiche Grundprinzip wird bei der Anwendung vorgefertigter Inserts aus Komposit oder Keramik verfolgt (DONLY et al. 1989, BOWEN et al. 1991, TANI et al. 1993, GODDER et al. 1994, LÖSCHE 1996). Neben der Reduktion des in der Mundhöhle zu polymerisierenden Kompositvolumens wird auch die Herstellung des Approximalkontaktes erleichtert (EBERHARD et al. 1996).

Die «Beta-Quartz-Glaskeramik-Inserts» nach BOWEN (BOWEN et al. 1991) sind spezielle Formkörper für Klasse-II-Kastenkavitäten. Bei diesem System wird versucht, durch eine Vielzahl von Formen und Grössen der individuellen klinischen Kavität gerecht zu werden, d.h. eine möglichst gute Formkongruenz und ein geringes Kompositfügevolumen zu erzielen. Passgenau konfektionierte Einlagefüllungen können nur mit gezielter Abstimmung der Kavität auf die Geometrie der Einlage erreicht werden. Rotierende Präparationsverfahren zum Einsatz konfektionierte, kegelstumpfförmiger Inserts aus Keramik wurden bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts (ROBIN 1901) vorgestellt und sind als Cerafil-Kegelstumpfinlays (STACHNISS et al. 1995) bzw. Cerana-Inserts gegenwärtig auf dem Dentalmarkt erhältlich. Für die passgenaue morphologiegerechte Versorgung unterschiedlich grosser, häufig kastenförmig vorpräparierter Approximaldefekte sind drehrunde Einlagekörper aufgrund ihrer rotationssymmetrischen Geometrie ungeeignet. Mit hochfrequent oszillierender Präparationstechnik (RICHARDS 1954, OMAN & APPLEBAUM 1955, POSTLE 1958) können nach konventioneller Vorpräparation, z.B. nach Entfernung einer Amalgamfüllung, reproduzierbar kastenförmige Approximalkavitäten erzeugt werden. Die spezifisch geformten Ansätze bilden sich beim oszillierenden Einsenken in die vorbestehende Kavität als Negativform in der Zahnschubstanz ab. Die so präparierte Kavität eignet sich für die Eingliederung von vorgefertigten Approximalinlays, deren Geometrie auf das Ansatzdesign abgestimmt ist (HUGO et al. 1996).

Basierend auf dem Sonicflex-Airscaler, befindet sich seit 1996 das neu entwickelte Sonicsys approx-Instrumentarium (KaVo, Biberach, Deutschland) auf dem Dentalmarkt. Es besteht aus sechs kastenförmigen Präparationsansätzen, jeweils für den mesialen und distalen Bereich, und liegt in drei Grössen vor. Für die adhäsive Restauration der approximalen «Normkavitäten»

sind relativ passgenaue, vorgefertigte Inlays aus Dentalkeramik (Empress®) vorgesehen (Abb. 1).

Ziel der vorliegenden Untersuchung war die Überprüfung der Passgenauigkeit und Randschlussqualität von Sonicsys approx-Restaurationen im Vergleich mit plastischen Kompositfüllungen bzw. mit konventionellen Keramikinlays. Hierbei sollte mit standardisierten Kavitätenengrössen und zervikalen Randbereichen in Schmelz und Dentin gearbeitet werden.

Material und Methoden

Für die Untersuchung wurden 64 kariesfreie menschliche Molaren verwendet, die in 1%iger Chloramin-T-Lösung aufbewahrt wurden. Nach Reinigung, Präparation und Restauration erfolgte die Lagerung in 0,9%iger physiologischer Kochsalzlösung. Die Probezähne wurden nach Kürzen der Wurzel auf genormte Messingquader mit Palavit G (Heraeus Kulzer, Wehrheim, Deutschland) fixiert und randomisiert in acht Gruppen zu je 8 Zähnen aufgeteilt. Jeweils vier dieser Zähne wurden abwechselnd mit Kunststoffmolaren (Zahn 46, Frasco, Tettang, Deutschland) als Nachbarzähne in eine Phantommodellschiene montiert und mit einer «künstlichen Gingiva» aus Silikonmasse (President Light Body, Coltène, Altstätten, Schweiz) versehen.

Ausserhalb der Modellschienen wurden an den «mesialen» Approximalflächen unter direkter Sicht mittelgrosse Klasse-II-Kavitäten rotierend mit zylinderförmigen Schleifern (ISO-Nr. 806 314 15 6524/010) im roten Winkelstück präpariert. Die approximale «Endpräparation» zur Standardisierung der Kavitäten wurde mittels sonoabrasiver Instrumente im Modell durchgeführt. Hierzu wurde ein pneumatisch angeregter, im Schallbereich oszillierender ($\leq 6,5$ kHz) Airscaler (Sonicflex 2000 N, KaVo Biberach, Deutschland) und der mittlere Präparationsansatz Sonicsys approx Nr. 3 eingesetzt (Abb. 1). Dieser Ansatz hat eine mittlere Höhe von 4,6 mm und eine mittlere Breite von 4,6 mm; die mittlere Tiefe beträgt 1,6 mm und das Volumen 24,8 mm³. Unter Abstützung der nicht diamantierten Rückseite auf den Nachbarzahn wurde das Instrument bis zum Kavitätenboden eingesenkt, wobei die Ansatzoberkante immer tiefer als das Randleistenniveau positioniert war. Die entstehenden kastenförmigen Normkavitäten wiesen eine zirkuläre Randabschrägung mit einem 45°-Kantenwinkel auf und waren zur Aufnahme von vorgefertigten Approximalinlays (Sonicsys approx, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) aus Empress®-Dentalkeramik geeignet. Bei jeweils 24 Kavitäten lag die zervikale Präparationsgrenze 1,0 mm oberhalb, bei weiteren 24 Kavitäten 0,5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze. Weitere 16 sonoabrasiv geformte Kavitäten wurden unter Erhaltung der äusseren Umrissform mittels rotierendem Finierer (Intensiv Nr. 1025, Viganello, Schweiz) in Kastenkavitäten für Keramikinlay-Versorgungen umpräpariert. Der angestrebte Kantenwinkel betrug hierbei ca. 80°–90°, wobei je 8 Kavitäten ihre zervikale Begrenzung im Schmelz bzw. im Dentin hatten. Sämtliche Klasse-II-Kavitäten wurden im Modell mit intakten Nachbarzähnen präpariert. Eine Übersicht der angewendeten Füllungs-techniken gibt Tab. I. Zur Vorbereitung der direkten Füllungs-technik wurden in der Modellschiene bombierte Transparentmatrizen (Contact Molar Bands, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) angelegt und durch Holzkeile (Syxamore Interdental Wedges, Hawe Neos Dental, Bioggio, Schweiz) fixiert. Die selektive Schmelzätzung mit 36%igem Phosphorsäuregel (Email Preparator GS, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) erfolgte für 30 sec, die nachfolgende Applikation des Dentinadhäsivsystems

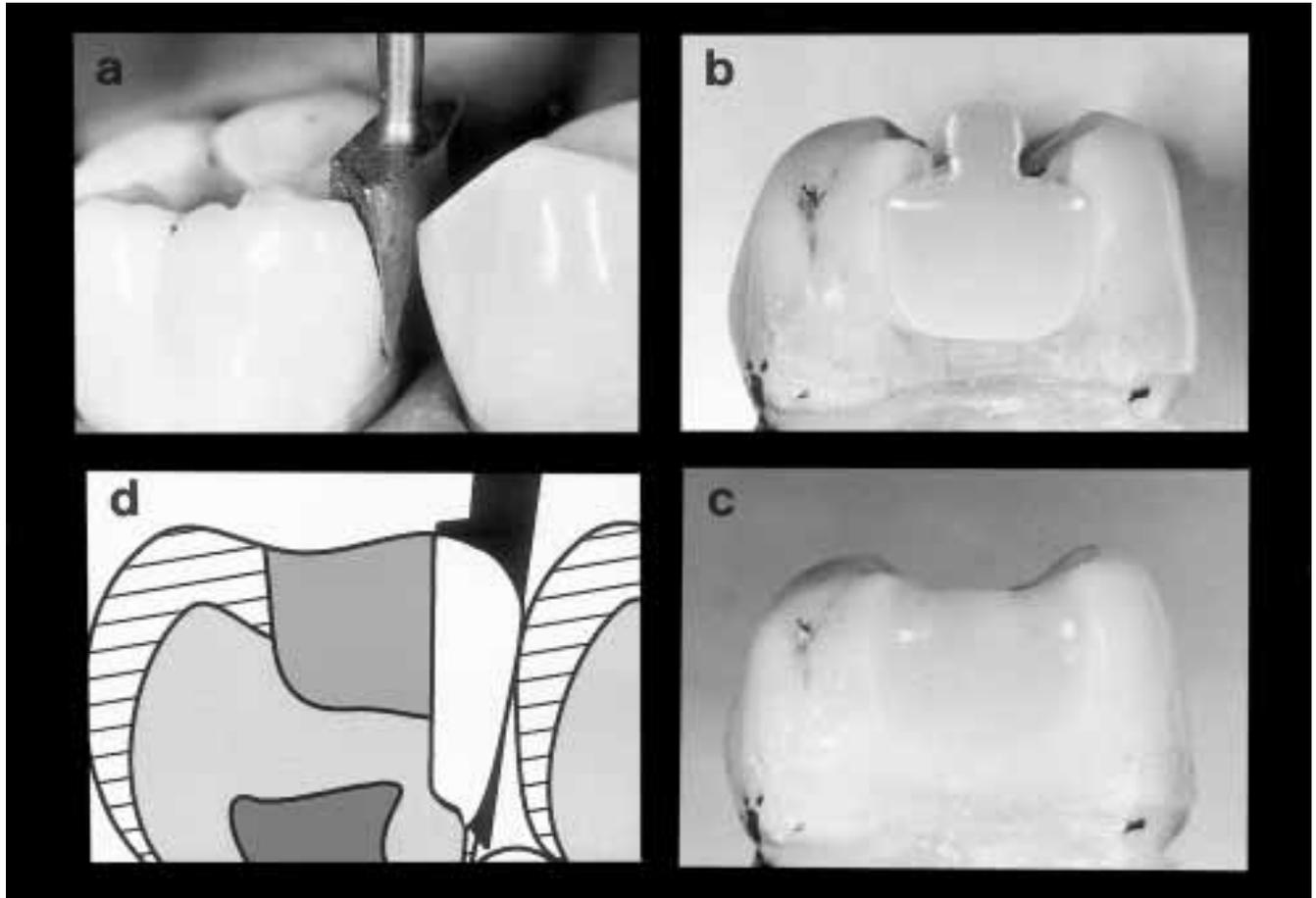


Abb. 1 Versorgung mit SonicSYS approx-Inlays: Standardisierte Sekundärpräparation mit Nr. 3 – Ansatz (a), Inlayposition in der abgeschrägten Kavität (b), nach adhäsiver Befestigung mit Komposit (c). Das Schnittbild zeigt sowohl die Position des Präparationsinstrumentes als auch des Inlays auf (d).

Tab. I Übersicht über die verwendeten Füllungstechniken

Nr.	Füllungsmethode	Präparation SonicSYS Nr. 3	Zervikaler Rand	
			Im Schmelz	Im Dentin
1	Plastische Füllung: Tetric Ceram	X		
2	Plastische Füllung: Tetric Ceram	X		
3	SonicSYS approx-Inlay Tetric Ceram	X		
4	SonicSYS approx-Inlay Tetric Ceram	X		
5	SonicSYS approx-Inlay Tetric Flow	X		
6	SonicSYS approx-Inlay Tetric Flow	X		
7	Empress-Inlay Valirolä	nicht empfehlenswert		
8	Empress-Inlay Valirolä	nicht empfehlenswert		

Syntac (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) gemäss Herstellerangabe (Primer 15 sec, Adhäsiv 15 sec, Heliobond Lichthärtung während 20 sec).

16 Kavitäten wurden plastisch mit dem Feinpartikel-Hybridkomposit Tetric Ceram (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) in drei horizontal/diagonalen (Schmelzkavitäten) bzw. vier Schichten (Dentinkavitäten) gefüllt. Die Lichtpolymerisation für das zervikale Inkrement erfolgte von okklusal, die diagonalen Schichten wurden von lateral und die letzte horizontale Schicht von okklusal für 60 sec gehärtet.

Bei der Versorgung mit keramischen Formteilen SonicSYS approx wurden zwei vom Hersteller empfohlene Kompositmaterialien miteinander verglichen. Die adhäsive Befestigung wurde nach der bereits bei der plastischen Restaurationstechnik beschriebenen Schmelz- und Dentinkonditionierung zum einen mit dem hochviskosen Tetric Ceram und zum anderen mit dem mittelviskosen Tetric Flow (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) durchgeführt. Hierzu wurde die Kavität zur Hälfte mit dem jeweiligen Material aufgefüllt und anschliessend das mit Heliobond bestrichene Approximalinlay bis zum zervikalen Anschlag eingebracht. Die initiale Lichtpolymerisationszeit betrug 60 sec unter Fixation des Inlays sowie jeweils zweimal 40 sec von lateral und nach Auffüllen der Okklusalkavität weitere 60 sec von okklusal.

Die 16 Empress-Inlays wurden nach Herstellerangabe individuell über Abdrucknahme mittels Impregum (Espe, Seefeld,

Deutschland) und Meistermodell hergestellt und nach zwei-minütiger Ätzdauer mit 5%iger Flusssäure (Ceramic Etching Gel, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) mit Silanlösung (Monobond S, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) und Heliobond konditioniert und wie allgemein üblich mit einem dualhärtenden Befestigungskomposit (Variolink Ultra, High Viscosity, Vivadent, Schaan, Liechtenstein) eingesetzt. Die Befestigung erfolgte ohne Matrize. Nach Überschussentfernung und Auftragen von Airblock-Gel (DeTrey Dentsply, Konstanz, Deutschland) wurde von okklusal 60 sec und von lateral zweimal 40 sec belichtet. In Tabelle I sind die verwendeten Füllungstechniken zusammengefasst.

Nach Entfernung aus der Schiene wurden die Zähne unter Lupe vergrössert mittels Proxoshape-Feilen (Proxo 2/3, Intensiv, Viganello, Schweiz) und flexibler Scheiben abnehmender Korngrösse (Sof-Lex Pop-on, 3 M, Borken, Deutschland) ausgearbeitet.

Die nachfolgende künstliche Alterung der Proben im computer-gesteuerten Kausimulator umfasste Kaudruckbelastungen (240000 Zyklen bei 49 N) und Temperatur- bzw. Chemocycling-Wechselbelastungen (600 Zyklen, 5° bis 55°) (KREJCI et al. 1990, KREJCI & LUTZ 1990). Die Methode der Replikherstellung bzw. der quantitativen Randbeurteilung im Rasterelektronenmikroskop bei 100facher Vergrösserung ist bereits früher beschrieben worden (ROULET et al. 1989, ROULET 1991) (Abb. 2). Die angewendeten Evaluationskriterien sind nachfolgend zusammengefasst:

- A: Perfekter Rand: kontinuierlicher Übergang zwischen Komposit und Zahn
- B: Randunregelmässigkeiten: kontinuierlicher Übergang mit kleinen Unregelmässigkeiten
- C: Randspalt: Spalt zwischen Komposit und Zahn
- D: Überschuss: Komposit liegt der Zahnoberfläche auf

Bei allen drei Restaurationsverfahren wurden die Randbereiche am Übergang zur Zahnschmelz und für die Inlay-Verfahren zusätzlich der Grenzbereich zwischen Sonicsys-Formteil bzw. Empress-Inlay und Befestigungskomposit überprüft. Die Daten der quantitativen Randanalyse wurden anhand des Chi-Quadrat- und des Mann-Whitney-U-Tests unter Verwendung der Bonferroni-Korrektur auf dem Signifikanzniveau von $p \leq 0,05$ ausgewertet.

Resultate

In den Abbildungen 3 und 4 sind die Mittelwerte der Untersuchungsgruppen vor und nach Belastung im Kausimulator für die vier Restaurationsrandkriterien an der Grenze zur Zahnschmelz angegeben. Der Vergleich der verschiedenen Füllungstechniken, d.h. der plastischen Kompositfüllungen, Sonicsys-Inlays bzw. Laborinlays, ergab vor Stressung im Kausimulator (Abb. 3a und Abb. 4a) sowohl für die zervikal schmelzbegrenzten als auch für die dentinbegrenzten Kavitäten nur geringfügige Unterschiede. Generell waren hohe Werte (zwischen 77,1% und 97,5%) bezüglich des Anteils an perfektem Rand zu verzeichnen. Randspalten wurden zwischen 0% und 7,9% der Randlänge gefunden und traten signifikant häufiger bei zervikalem Dentinrand auf. Nach Belastung im Kausimulator (Abb. 3b und Abb. 4b) kam es bei allen Füllungstechniken zu einer deutlichen Abnahme der perfekten Randanteile und gleichzeitig zur Zunahme an Rändern mit kleinen Ungenauigkeiten. Insbesondere war diese Umverlagerung bei zervikalen Dentinrändern zu beobachten. Betrachtet man die einzelnen Füllungsgruppen getrennt, so werden die schmelzbegrenzten Restaurationen tendenziell oder signifikant (nur plastische Füllungen)

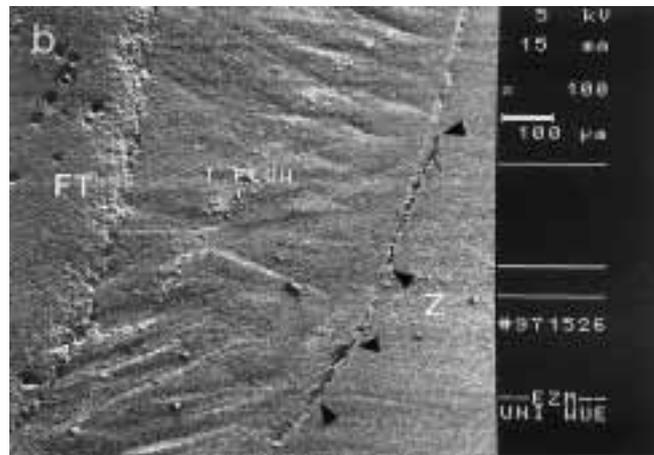
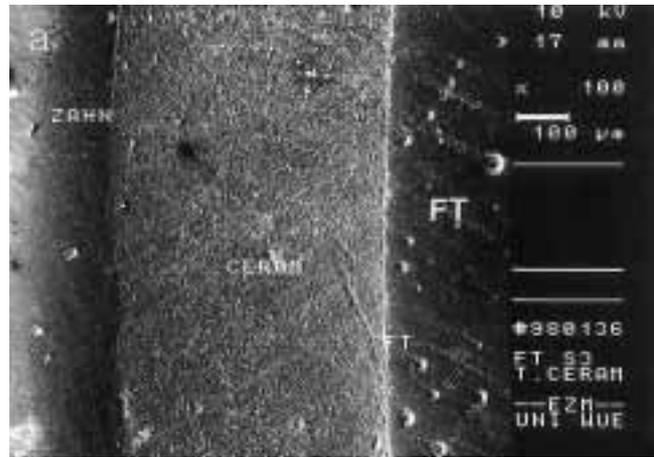


Abb. 2a) REM-Darstellung der Kompositfuge (Tetric Ceram) eines Sonicsys approx-Inlays Nr. 3 nach Belastung. Der Ausschnitt ist im Bereich der lateralen Kastenwand lokalisiert. Sowohl die Verbundzone zwischen Komposit und Zahnschmelz als auch zwischen Inlay und Komposit wurden mit Score A («perfekter Rand») bewertet.

b) REM Darstellung der Kompositfuge (Tetric flow) eines Sonicsys approx-Inlays Nr. 3 nach Belastung. Der Ausschnitt ist im Bereich der Kurvatur lokalisiert. Die Verbundzone zwischen Komposit und Zahndentin wurde mit Score C (Pfeile: «Randspalt»), der Verbund zwischen Inlay und Komposit mit Score B (Randunregelmässigkeit) bewertet.

besser bewertet als diejenigen mit zervikalem Dentinrand. Die Anteile zervikaler Randspalten bei schmelzbegrenzten Füllungen lagen zwischen 0% und 10,3%, bei Dentinbegrenzung zwischen 9,1% und 21,3%. Signifikante Unterschiede wurden nicht ermittelt. Die «plastische Füllung im Dentin» und «Sonicsys/Ceram im Dentin» mit 21,3% und 14,7% verzeichneten die höchsten Werte beim Kriterium Randspalten.

Die axialen Randbereiche wiesen bei den Dentinkavitäten der Sonicsys-Inlays vor allem nach Befestigung mit Tetric-Ceram tendenziell und teilweise signifikant mehr Spalten auf als bei den anderen Gruppen. Mit Tetric Flow befestigte Sonicsys-Inlays zeigten ein tendenziell und zum Teil signifikant besseres Randverhalten als nach Befestigung mit Tetric Ceram.

In Tabelle II und III sind die Randauswertungen der Empress-Laborinlays bzw. der Sonicsys-Inlays an der Grenze zum Befestigungskomposit zusammengefasst. Bei den Empress-Versorgungen traten signifikant häufiger Randspalten zwischen Inlay und

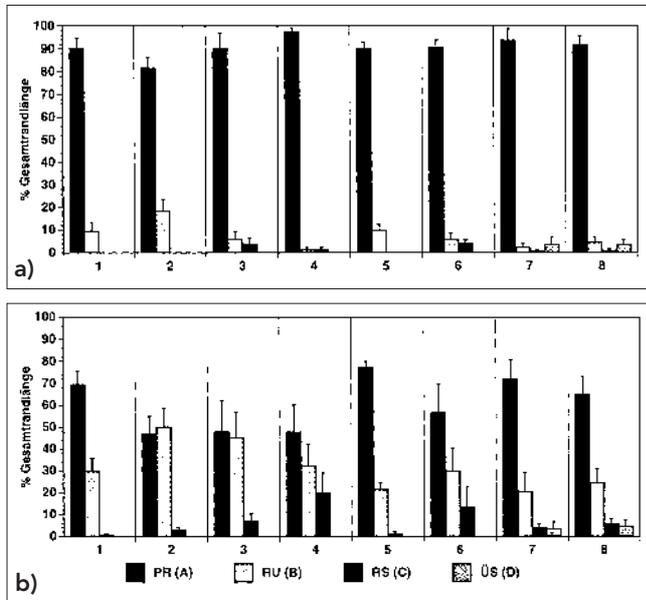


Abb. 3 Vergleich der verschiedenen Restaurationstechniken bezüglich des axialen Füllungsrandes a) vor Belastung und b) nach Belastung. Füllungstechniken (1-8) siehe Tabelle I. PR (Perfekter Rand); RU (Randunregelmässigkeiten); RS (Randspalt); ÜS (Überschuss)

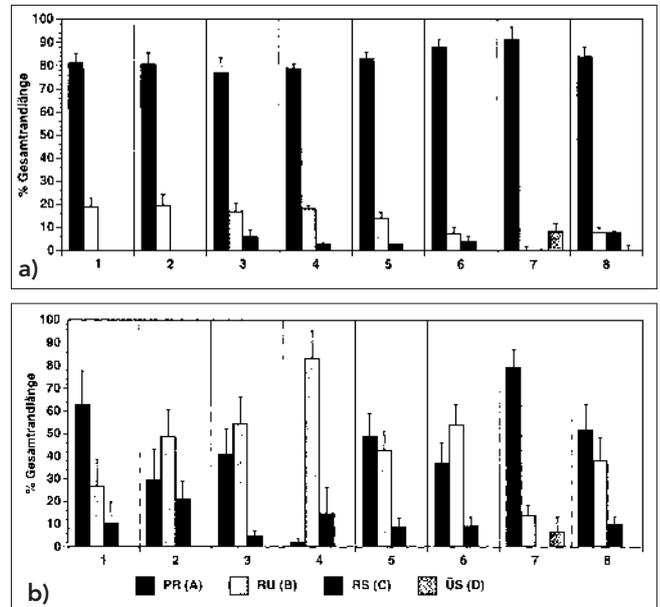


Abb. 4 Vergleich der verschiedenen Restaurationstechniken bezüglich des zervikalen Füllungsrandes a) vor Belastung und b) nach Belastung

Tab. II Vergleich der axialen Inlayränder am Übergang zum Befestigungskomposit vor und nach Belastung: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s.d.) der bewerteten Randanteile an der Gesamtrandlänge

			Perfekter Rand (A)		Kleine Imperfektionen (B)		Randspalt (C)		Überschuss (D)	
			vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung
SonicSYS approx Nr. 3	Schmelz	\bar{x}	83.30	38.38	8.50	51.01	0.00	2.30	8.30	8.30
		s.d.	4.50	7.92	3.20	10.85	0.00	1.83	4.60	4.66
Tetric Ceram	Dentin	\bar{x}	88.80	87.69	2.30	2.95	1.10	1.46	7.80	7.90
		s.d.	6.80	8.10	2.30	2.95	1.10	0.96	4.70	4.87
SonicSYS approx Nr. 3	Schmelz	\bar{x}	85.60	70.89	4.60	17.77	0.00	0.00	9.80	11.33
		s.d.	4.00	5.18	2.50	5.46	0.00	0.00	4.80	5.77
Tetric Flow	Dentin	\bar{x}	94.10	67.90	0.70	24.78	0.00	2.26	5.20	5.06
		s.d.	2.30	7.67	0.70	7.89	0.00	2.26	2.40	2.50
Empress-Inlay	Schmelz	\bar{x}	85.10	66.42	12.90	28.61	1.30	4.98	0.00	0.00
		s.d.	7.30	6.39	6.80	5.89	0.80	1.85	0.00	0.00
Variolink	Dentin	\bar{x}	91.10	55.82	6.20	32.19	1.60	10.24	1.10	1.75
		s.d.	2.90	5.74	2.80	3.83	1.60	4.59	1.10	1.75

Befestigungskomposit auf als bei den anderen Verfahren. Im zervikalen Bereich zeichneten sich tendenziell mehr Randspalten bei der Empress-Gruppe im Dentin (10,2%) und den SonicSYS-Inlays Ceram/Schmelz (6,6%) ab.

Die Breitenwerte der Kompositfugen sind in Tabelle IV dargestellt und ergaben lateral wie zervikal signifikant geringere Werte bei den Empress-Inlays (Em/Schmelz: lateral 66,42 μ m, zervikal 55,25 μ m; Em/Dentin: lateral 76,17 μ m, zervikal 56,0 μ m) als bei den SonicSYS-Inlays. Deren Fugenbreite lag zwischen 170,8 μ m und 400,1 μ m. Im zervikalen Bereich der SonicSYS-Inlays ergaben sich tendenziell niedrigere Werte nach Befestigung mit dem mittelviskosen Tetric Flow (Schmelz: 195,04 μ m, Dentin 170,79 μ m) als bei Anwendung des hochviskosen Tetric Ceram (Schmelz 242,54 μ m, Dentin 266,11 μ m).

Diskussion

Die vorliegende Untersuchung befasste sich mit adhäsiven Kompositversorgungen ohne und mit keramischen Einlagekörpern. Hierbei wurden mittlere bis grosse Approximalkavitäten mit zervikalem Präparationsrand im Schmelz Kavitäten mit zervikalem Dentinrand gegenübergestellt. In der Literatur werden sowohl bei In-vitro- als auch bei In-vivo-Untersuchungen schmelzbegrenzter Kavitäten, bei plastischen Füllungen, Füllungen mit Inserts wie auch bei adhäsiven Inlays klinisch gute Ergebnisse gefunden (CHEUNG 1990, HÜRZELER et al. 1990, JÄGER et al. 1990, LÖSCHE et al. 1993, NORDBO et al. 1998). Bei Kavitäten mit zervikalen Rändern im Dentin werden vergleichsweise mehr Randspalten gefunden, wobei die Randqualität in dieser

Tab. III Vergleich der zervikalen Inlayränder am Übergang zum Befestigungskomposit vor und nach Belastung: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s.d.) der bewerteten Randanteile an der Gesamtrandlänge

			Perfekter Rand (A)		Kleine Imperfektionen (B)		Randspalt (C)		Überschuss (D)	
			vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung	vor Belastung	nach Belastung
SonicSYS approx Nr. 3 Tetric Ceram	Schmelz	\bar{x}	92.20	44.22	7.20	49.16	0.60	6.62	0.00	0.00
		s.d.	4.80	15.00	4.90	13.26	0.60	5.87	0.00	0.00
	Dentin	\bar{x}	97.50	59.96	0.00	37.39	2.60	2.65	0.00	0.00
		s.d.	2.50	18.57	0.00	17.65	2.50	2.65	0.00	0.00
SonicSYS approx Nr. 3 Tetric Flow	Schmelz	\bar{x}	94.40	73.03	3.90	25.22	1.60	1.76	0.00	0.00
		s.d.	2.90	7.24	1.90	7.87	1.60	1.76	0.00	0.00
	Dentin	\bar{x}	100.00	75.33	0.00	24.67	0.00	0.00	0.00	0.00
		s.d.	0.00	6.29	0.00	6.29	0.00	0.00	0.00	0.00
Empressinlay Variolink	Schmelz	\bar{x}	91.40	86.86	8.60	12.32	0.00	0.83	0.00	0.00
		s.d.	5.30	5.83	5.30	5.98	0.00	0.83	0.00	0.00
	Dentin	\bar{x}	92.40	65.81	0.00	28.07	7.60	6.13	0.00	0.00
		s.d.	5.40	13.14	0.00	12.01	5.40	3.92	0.00	0.00

Tab. IV Durchschnittliche axiale und zervikale Fugenbreite des Befestigungskomposits bei Empress-Inlays und SonicSYS approx: Mittelwerte (\bar{x}) und Standardabweichungen (s.d.)

Zervikaler Rand im		SonicSYS approx / Tetric Ceram		SonicSYS approx / Tetric Flow		Empress-Inlay	
		Schmelz	Dentin	Schmelz	Dentin	Schmelz	Dentin
Axiale Fuge (μm)	\bar{x}	304.96	400.14	341.52	337.17	66.42	76.17
	s.d.	71.04	187.61	127.03	157.12	59.90	37.01
Zervikale Fuge (μm)	\bar{x}	242.54	266.11	195.04	170.79	55.25	56.00
	s.d.	90.47	164.86	142.20	138.81	43.06	38.14

Region in den Untersuchungen unterschiedlich bewertet wird (GLOCKNER et al. 1998, MEHL et al. 1996, SCHUCKAR & GEURTSSEN 1995). Die Beurteilung der Güte eines Restaurationsverfahrens anhand der Qualität des Randschlusses, d.h. des Fehlens von Randspalten, entspricht dem in der Literatur üblichen Vorgehen. Die Entstehung von Randspalten und somit der Verlust des adhäsiven Verbundes wird mitverursacht durch unterschiedliche physikalische Eigenschaften der Zahnschmelz, des Befestigungskomposits und des Keramikmaterials, wie z.B. dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten und dem E-Modul. Eine wesentliche Rolle spielt auch die Polymerisationsschrumpfung des Komposits und die Form der Applikationstechnik (FEILZER et al. 1987, 1990).

Über die Spalträume können Flüssigkeiten und Bakterien zwischen Füllung und Zahnschmelz eindringen und zu Sensibilitäten, Randverfärbungen und schlussendlich zu Sekundärkaries führen. Die bakterielle Spaltbesiedelung ist besonders kritisch zu bewerten, da sich Bakterien auf Kompositen gut vermehren und ein kariesschutzförderndes Spaltmilieu wie bei Amalgamfüllungen fehlt (FRIEDL et al. 1992). Die statistische Auswertung der vorgestellten Ergebnisse ergab nur wenig signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Füllungsgruppen und liess häufig nur eine Interpretation als Tendenz zu. Die Beurteilung des Randschlussverhaltens von Füllungen mittels Replikatechnik und quantitativer Randanalyse kann heute als bewährtes reproduzierbares Testverfahren eingestuft werden (ROULET et al. 1989, LÖSCHE et al. 1993). Die Vielzahl der üblicherweise angewendeten Beurteilungskriterien wurden in dieser Untersuchung auf klinisch bedeutsame Kriterien reduziert. «Füllungsüberschüsse» (D) wurden bedingt durch die gründliche Ausarbeitung bei direkter Sicht unter Mikroskopkontrolle

sehr selten gefunden. Der Anteil an «kontinuierlichen Randbereichen», d.h. an «perfekten Rändern» (A) bzw. «Rändern mit geringgradigen Imperfektionen» (B), war vor und nach thermischer Belastung und Kausimulation bei allen Gruppen sehr hoch. Durch die Stressung der Proben kam es im Wesentlichen zur Zunahme der «kleinen Randimperfektionen» und Reduktion der «perfekten Ränder». Bei den Füllungsgruppen wurden vor der Belastung zwischen 77,1% und 97,5% «perfekte Ränder» sowie «kleine Randimperfektionen» zwischen 0% und 19,4% gefunden. Nach Belastung wurden zwischen 2% und 79,3% «perfekte» Randanteile und zwischen 20,5% und 83,3% «kleine Imperfektionen» gefunden. Tendenziell höhere Anteile «perfekter Ränder» wurden innerhalb der jeweiligen Restaurationsgruppen bei den vollständig schmelzbegrenzten Kavitäten dokumentiert. Die Kavitäten mit zervikalem Dentinrand wiesen vermehrt Imperfektionen auf. Die Einordnung der Kriterien A und B kann, da beide einen kontinuierlichen Randübergang beschreiben, als klinisch akzeptabel eingestuft werden. In der Zervikalregion lag der kontinuierliche Randbereich (Kriterium A+B) zwischen 95% und 80% und im axialen Bereich zwischen 98% und 80%. Spaltbildungen der Füllungsgruppen (C), die als Indikator für mögliches klinisches Versagen gelten müssen, traten zwischen 0% und 7,9% vor der Belastung auf. Während die Empress®-Inlay-Gruppe mit der zervikalen Dentinstufe den Höchstwert verursachte, konnten sonst keine weiteren signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen bestimmt werden. Die Randauswertung nach Belastung ergab Randspalten zwischen 1% und 20% im axialen Bereich und zwischen 0% und 21% im zervikalen Bereich. Während die Zunahme der Spaltbildungen nach okklusaler Kaubelastung im Wesentlichen auf unterschiedliche E-Module von Zahn und

Füllung zurückzuführen sind, wirkt sich die Thermowechselbelastung vor allem durch eine unterschiedliche Expansion von Zahn und Füllung beim Erwärmen negativ auf den adhäsiven Verbund aus (LÖSCHE et al. 1993). Signifikant erhöhte Werte ergaben sich im axialen Bereich für die Sonicsys-Gruppe mit zervikaler Dentinstufe nach Befestigung mit Tetric Ceram (19,6%). Die axiale Spaltbildung nach Formteilbefestigung mit dem mittelviskösen Tetric Flow lag bei 13,2% (dentinbegrenzte Kavität) und war nur zum niedrigsten Wert der schmelzbegrenzten, plastisch gefüllten Kavität (0,6%) signifikant verschieden. Als Erklärung für das Verhalten dieser Versorgungen könnte eine präparationsbedingte Auflockerung der Schmelzrandbereiche, bedingt durch die laterale Schwingungskomponente der Präparationsansätze, diskutiert werden. Die geringe axiale Spaltbildung der Gruppe 3 (plastische Füllung mit zervikalem Dentinrand) von 2,8% sowie die ebenfalls geringen Randspalten der Gruppen 7 und 9, deren Kavitäten ebenfalls oszillierend mit demselben Sonicsys approx-Instrument präpariert wurden, stehen dieser Vermutung entgegen. Folglich ist die Ursache eher bei der Restaurationstechnik bezogen auf das verwendete Material oder die Applikationstechnik zu suchen.

Bei den Füllungen mit Schmelzbegrenzung schneidet die Empress®-Inlay-Gruppe ohne zervikale Randspalten am günstigsten mit signifikanten Unterschieden zu sämtlichen anderen Gruppen ab. Keine signifikanten Unterschiede bestehen unter den anderen Versorgungsarten mit Formteil/Tetric Flow (Randspalt 4,7%), Formteil/Tetric Ceram (Randspalt 8,4%) und plastische Füllung mit Tetric Ceram (Randspalt 10,2%). Bei zervikaler Randposition im Dentin liegen die Randspalten zwischen 9,1% beim Formteil mit Tetric Flow und der plastischen Füllung mit 21,3%. Die zervikalen Randspalten der Empress-Inlay-Gruppe mit 9,8% entsprechen der Bewertung der Formteil-Restaurationen und liegen im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte (LÖSCHE et al. 1993, MEHL et al. 1996, UNO & ASMUS 1991). Die von THONEMANN et al. (1994) und MEHL et al. (1996) angegebenen Randspalten von 2,2% bzw. 4% für Empress-Inlays, die mit Syntac/Variolink (Vivadent) befestigt wurden, werden nicht ganz erreicht. Die von KIRCHBERG (1990) bei der quantitativen REM-Analyse beschriebene Reduktion des adhäsiven Verbundes im zervikalen Dentin mit einem Anteil Randspalten von 54% ist deutlich höher als in der vorliegenden Untersuchung.

Die axialen Randspalten an der Grenze des Befestigungskomposits zur Keramik sind bei den Empress-Inlays nach Belastung mit Werten zwischen 4,9% und 10,2% signifikant höher als bei den Sonicsys-Formteilen mit Werten zwischen 0% und 2,2%. Möglicherweise erklärt der stabile Verbund zwischen Formteil und Befestigungskomposit die erhöhten Randspalten zwischen hochviskösem Komposit und Zahnschmelz.

Im zervikalen Bereich erreichen die Randspalten maximal 6,6% der Randlänge und ergeben keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen. Insgesamt entsprechen die Werte unserer Untersuchung den von HOFMANN et al. (1993) für Keramikinlays dokumentierten Spalten von 6,6%.

Die Haftung des Befestigungskomposits an den Inlays bzw. keramischen Formkörpern wird beeinflusst durch deren Oberflächenkonditionierung und den verwendeten Haftvermittler. Während die Empress-Inlays unmittelbar vor dem Befestigen geätzt und silanisiert wurden, wurden die vorbehandelten Sonicsys-Formteile der Verpackung entnommen und nach Applikation des Haftvermittlers eingesetzt. Dieses Vorgehen spart Zeit und macht den Umgang mit toxischer Flusssäure am Behandlungsstuhl unnötig.

Die Krümmung der natürlichen Approximallfläche weicht, bedingt durch die Individualität der Zahnmorphologie, von dem Konturverlauf des Sonicsys-Inserts häufig ab. Die Kompositfuge der Sonicsys-Inserts war mit Durchschnittswerten zwischen 170 µm und 400 µm deutlich breiter als die untersuchten Empress-Inlays (Fugenbreite zwischen 55 µm bis 76 µm). In einer von uns durchgeführten Untersuchung zur Reproduzierbarkeit der Präparation mit den Sonicsys-Ansätzen konnten im Randbereich Abstände von weniger als 21 µm zwischen dem Ansatz und der Kavitätenwand ermittelt werden. Hierbei wurde durch Horizontal- bzw. Sagittalschnitte die innere Passgenauigkeit der Präparationsinstrumente bestimmt. Bei der vorliegenden Untersuchung wurde die Fugenbreite auf der approximalen Ausenfläche vermessen. Eine Aussage über die interne Passgenauigkeit kann hierbei nicht getroffen werden. FISCHER et al. (1998) untersuchten die Passform und Randsichtigkeit von Sonicsys approx-Inserts Nr. 2 und Nr. 3 nach Befestigung mit Tetric Flow an mesiodistalen Schliffpräparaten. Bei 18 Präparaten (90%) lag die maximale Breite der Kompositfuge unter 60 µm und bei 2 (10%) Schliffen unter maximal 120 µm. Eine Einschätzung der «internen Passgenauigkeit» wird hierdurch möglich.

Die Kontur des keramischen Inserts entspricht im Randbereich nicht exakt dem Präparationsinstrument, sondern ist kürzer gestaltet und abgerundet, um Keramiküberschüsse im approximalen Randbereich zu vermeiden. Eine Anpassung der idealisierten Insetrückfläche an die individuellen Krümmungen natürlicher Approximallflächen resultiert in unterschiedlich breiten Kompositfugen auf der Restoraussenseite. Trotz der relativ breiten äusseren Kompositfuge kann bei der beschriebenen Technik mit standardisierter Vorpräparation und Inkorporation von formkongruenten Keramikinserts von Füllungen mit einem ähnlich hohen approximalen Keramikvolumen wie bei laborgefertigten Inlays ausgegangen werden.

In einer Untersuchung von SCHÜNEMANN (1997) zum «Einfluss unterschiedlicher Präparationsmethoden auf die Randqualität schmelzbegrenzter Kavitäten» wurden bei der quantitativen Randanalyse im REM nach Belastung im axialen Bereich für die direkten Füllungen 1,4% Randspalten, für Sonicsys approx 6,3% und für Keramikinlays 4,6% Randspalten gefunden. Der zervikale Füllungsrand wies nach Temperaturwechselbelastung für die direkten Füllungen 3,2%, Sonicsys approx 7,9% und die Inlays 13,5% Randspalten auf. Während die direkten Füllungen hier besser abschnitten, wurden im Vergleich zu den vorliegenden Ergebnissen die Inlayränder schlechter eingestuft.

Restaurationen mit dem Sonicsys approx-System haben WINDELER et al. (1998) als ungenügend beurteilt. Nach langfristiger Belastung im Kausimulator sank der Wert von anfangs 79% «kontinuierlicher Rand» auf lediglich 52%, wobei «Nr. 2» mit Schmelz- und «Nr. 4» mit Dentinbegrenzung untersucht wurden. Als «handelsüblich» bezeichneten die Autoren die Verwendung von Metallmatrize, Syntac Single Component (Vivadent, Schaan, Liechtenstein) bei vollständiger Ätz- und Bonding-Technik und die kombinierte Anwendung von Tetric Flow und Tetric Ceram. Bei Modifikation der Applikationstechnik, d. h. Anwendung des Hybridkomposits Tetric (Vivadent), Unterfüllung bei selektiver Ätz- und Bonding-Technik mit Syntac Classic und ähnlichem Vorgehen wie bei der sogenannten Umhärtungstechnik, wurden mit 84% «kontinuierlicher Rand» sehr gute Adaptationswerte nach Stressung erreicht. Die erzielten Resultate dieser Untersuchung lägen, so die Autoren, in der gleichen Grössenordnung wie nach Anwendung der Umhärtungstechnik oder bei Kompositinlays. Eine direkte Kontroll-

gruppe mit einer der genannten Vergleichstechniken wurde in der Untersuchung jedoch nicht mitgeführt.

Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen dieser In-vitro-Studie können folgende Schlüsse gezogen werden:

- Es bestehen nur geringfügige Unterschiede in der Randqualität zwischen direkter Kompositfüllungstechnik, Füllungen mit Sonicsys-Inserts oder Keramikinlays.
- Die adhäsive Füllungstechnik mit zirkulärer Schmelzbegrenzung ermöglicht auch bei grösseren Kavitäten mit jeder der drei Techniken zufriedenstellende Randqualitäten.
- Eine sichere Lösung des Problems «zervikaler Füllungsrand im Dentin» ist derzeit weder mittels der neuentwickelten Sonicsys-Insert-Technik noch mittels passgenauer Keramikinlays zu erreichen. Somit besteht nach wie vor Bedarf für verbesserte Materialien und Applikationstechniken.

Summary

HUGO B, HOFMANN N, STASSINAKIS A, RIEDLINGER S, KLAIBER B: **Comparison of the marginal quality between composite fillings with and without Sonicsys ceramic inserts and with Empress inlays** (in German). *Acta Med Dent Helv* 4: 153–161 (1999)

The aim of this in-vitro study was to examine the marginal quality of composite fillings with and without Sonicsys-Ceramic-Inserts (No. 3), and to compare the results with Empress-ceramic-inlays (control). 64 Class II cavities were prepared in extracted molars and randomly assigned into eight groups (n = 8). Four groups had cervical margins in enamel and four had cervical margins in dentin. 48 cavities (Group 1–6) were completed with oscillating, partially diamond-coated working tips (Sonicsys approx Nr. 3, KaVo). Either a total bonding approach (Syntac classic) was used and the cavities were filled with a small particle hybrid composite Tetric Ceram or Sonicsys ceramic inserts were used in combination with Tetric Ceram or Tetric Flow. 16 conventionally finished cavities were restored with Empress-Inlays. The quality of the margin adaptation was examined using SEM before and after long-term occlusal and thermal loading in the mastication simulator.

The mean value of «marginal openings» after loading in % of total cervical margin length was 10.3% for Tetric Ceram, 4.8% for Sonicsys-Inserts in combination with Tetric Ceram, and 8.5% in combination with Tetric Flow and 0% for Empress Inlays in enamel respectively. In dentin the «marginal openings» were 21.3% for Tetric Ceram, 14.7% for Sonicsys in combination with Tetric Ceram, 9.1% for Sonicsys in combination with Tetric Flow and 9.8% for Empress Inlays. The group Empress Inlay/Enamel only showed significant lower percentages of marginal gaps before/after loading. Sonic inserts in combination with Tetric Flow achieved marginal adaptations in dentin comparable to the good results of Empress inlays. Directly applied composites showed an insignificant increase of marginal gap formation.

Résumé

Le but de l'étude présente était d'examiner in vitro la qualité marginale d'obturations en composite réalisées avec et sans inserts Sonicsys céramiques préfabriqués. En plus, les résultats ont été comparés à ceux obtenus avec des inlays céramiques

Empress. 64 cavités de classe II ont été préparées sur des molaires extraites, puis réparties au hasard dans huit groupes (n = 8). Les marges cervicales de quatre groupes étaient situées dans l'émail, tandis que les quatre autres groupes avaient des marges au niveau de la dentine. 48 cavités (groupes 1–6) ont subi une finition à l'aide d'embouts partiellement diamantés et oscillants (Sonicsys approx n° 3, KaVo). Deux approches ont été utilisées: celle de «total bonding» (Syntac classic) avec les cavités obturées à l'aide d'un composite hybride à petites particules (Tetric Ceram), puis celle des inserts Sonicsys céramiques en combinaison avec Tetric Ceram ou Tetric Flow. 16 cavités avec une finition conventionnelle ont été obturées avec des inlays Empress. La qualité de l'adaptation marginale a été examinée au microscope électronique à balayage (MEB) avant et après charge occlusale et thermique à long terme dans un simulateur de mastication.

La valeur moyenne «d'ouvertures marginales» au niveau de l'émail, après mise en charge exprimée en pour cents de la longueur totale de la marge cervicale, était de 10,3% pour Tetric Ceram, de 4,8% pour les inserts Sonicsys en combinaison avec Tetric Ceram, de 8,5% en association avec Tetric Flow, et de 0% pour les inlays Empress. Pour ce qui est des marges localisées dans la dentine, les «ouvertures marginales» étaient de 21,3% pour Tetric Ceram, de 14,7% pour Sonicsys en combinaison avec Tetric Ceram, de 9,1% pour Sonicsys en combinaison avec Tetric Flow et de 9,8% pour les inlays Empress. Seulement les inlays du groupe Empress/émail montraient un pourcentage d'ouverture marginale significativement inférieur après la mise en charge. Les inserts Sonicsys en combinaison avec Tetric Flow atteignaient un niveau d'adaptation marginale dans la dentine comparable à celui, satisfaisant, des inlays Empress. En revanche, les obturations en composite en technique directe ne révélaient pas une augmentation significative «d'ouverture marginale».

Literaturverzeichnis

- BOWEN R L, EICHMILLER F C, MARJENHOFF W A: Glass-ceramic inserts anticipated for «megafilled» composite restorations. *J Am Dent Ass* 122: 71–75 (1991)
- CHEUNG G S P: A scanning electron microscope investigation on the acid-etched cervical margin of class II cavities. *Quintess Int* 21: 299–302 (1990)
- DONLY K J, WILD T W, BOWEN R L, JENSEN M E: An in vitro investigation of the effects of glass inserts on the effective composite resin polymerization shrinkage. *J Dent Res* 68: 1234–1237 (1989)
- DÖRFER C, STEINHAUSEN J, STAEHLE H J: Messung approximaler Kontaktstärken von Komposit- und Amalgamfüllungen im Seitenzahnbereich in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 51: 335–338 (1996)
- EBERHARD J, DÖRFER C, STAEHLE H J: Einfluss der Insertertechnik auf approximale Kontaktstärken bei Kompositrestaurationen in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 51: 184–186 (1996)
- FEILZER A J, DE GEE A J, DAVIDSON C L: Relaxation of polymerization contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 69: 36–39 (1990)
- FEILZER A J, DE GEE A J, DAVIDSON C L: Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration. *J Dent Res* 66: 1636–1639 (1987)
- FISCHER J, GRÄBER H-G, LAMPERT F: Die Randschlussqualität von zahnfarbenen Klasse-II-Versorgungen. Anwendung von hochfrequent oszillierenden Präparationsinstrumenten und

- vorgefertigten Keramikinserts. Zahnärztl Welt 107: 92–96 (1998)
- FRIEDL K-H, SCHMALZ G, HILLER K-A: Flüssigkeitskulturen zur Prüfung der Wirkung zahnärztlicher Werkstoffe auf das Bakterienwachstum. Dtsch Zahnärztl Z 47: 826–831 (1992)
- GLOCKNER K, REICH M E, KOS S, KEIL C, EBELSEDER K, STÄDTLER P: Randadaptation von verschiedenen zahnfarbenen Klasse-II-Restaurationen. Dtsch Zahnärztl Z 53: 775–780 (1998)
- GODDER B, ZHUKOVSKY L, TRUSHKOWSKY R, EPELBOYM D: Microleakage reduction using glass-ceramic inserts. Am J Dent 7: 74–76 (1994)
- HOFMANN N, HALLER B, KLAIBER B, MÜNSCHENBERG K: Randqualität gesinterter und gepresster Keramikinlays nach Belastung im Kausimulator. Dtsch Zahnärztl Z 48: 713–716 (1993)
- HUGO B, STASSINAKIS A, HOTZ P, KLAIBER B: Reproduzierbare Präparation standardisierter Klasse-II-Kavitäten. Dtsch Zahnärztl Z 51: 746–750 (1996)
- HÜRZELER M B, ZIMMERMANN E, MÖRMANN W H: Marginale Adaptation von maschinell hergestellten Onlays in vitro. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 715–720 (1990)
- ITOH K, YANAGAWA T, WAKUMOTO S: Effect of composition and curing type of composite on adaptation to dentin cavity wall. Dent Mater J 5: 260–265 (1986)
- JÄGER K, HENZ B, WIRZ J, GRABER G: Marginale Passgenauigkeit befestigter adhäsiver Keramik-Inlays. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 1304–1309 (1990)
- KIRCHBERG F L: Der Einfluss von Dentinhaftmitteln auf die marginale Adaptation adhäsiv befestigter Keramikinlays in vitro. Zahnmed Diss, Berlin 1990
- KREJCI I, REICH T, LUTZ F, ALBERTONI M: In-vitro-Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssysteme. 1. Computergesteuerter Kausimulator. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 953–956 (1990)
- KREJCI I, LUTZ F: In-vitro-Testverfahren zur Evaluation dentaler Restaurationssysteme. 3. Korrelation mit In-vivo-Resultaten. Schweiz Monatsschr Zahnmed 100: 1445–1449 (1990)
- LÖSCHE G M, NEUERBURG C M, ROULET J-F: Die adhäsive Versorgung konservativer Klasse-II-Kavitäten. Dtsch Zahnärztl Z 48: 26–30 (1993)
- LÖSCHE G M: Klasse-II-Kompositfüllungen mit und ohne konfektionierte Glaskeramik-Inserts. Dtsch Zahnärztl Z 51: 389–394 (1996)
- MEHL A, GODESCHA P, KUNZELMANN K-H, HICKEL R: Randspaltverhalten von Komposit- und Keramikinlays bei ausgedehnten Kavitäten. Dtsch Zahnärztl Z 51: 701–704 (1996)
- NORDBO H, LEIRSKAR J, VON DER FEHR F R: Schüsselförmige Kavitätenpräparation für proximale Kompositrestaurationen im Seitenzahnbereich – Beobachtungen bis zu 10 Jahren. Quintessenz 49: 773–779 (1998)
- OMAN C R, APPLEBAUM E: Ultrasonic cavity preparation II. Progress report. J Am Dent Assoc 50: 414–417 (1955)
- POSTLE H H: Ultrasonic cavity preparation. J Prosth Dent 3: 153–160 (1958)
- RICHARDS J R: High frequency dental tool and process of high frequency dental work. United States Patent, Application May 1954, Serial # 433.310; Patented Feb. 1959 # 2.874.470
- ROBIN P: Instrumentation pour la technique des obturations coniques en porcelaine. Le progrès dentaire 28: 257–260 (1901)
- ROULET J F, REICH T, BLUNCK U, NOACK M J: Quantitative margin analysis in the scanning electron microscope. Scanning Microsc 3: 147–151 (1989)
- ROULET J F: Margins of posterior composites. Dent Mater 7: 44–49 (1991)
- SCHUCKAR M, GEURTSSEN W: Die approximal-zervikale Randdicke von Klasse-II-Kompositfüllungen nach Temperaturwechselbelastung. Dtsch Zahnärztl Z 50: 164–166 (1995)
- SCHÜNEMANN T H: Der Einfluss unterschiedlicher Präparationsmethoden auf die Randqualität verschiedener adhäsiver Restaurationen zur substanzschonenden Versorgung kleiner Klasse-II-Kavitäten. Med Diss, Berlin 1997
- STACHNISS V, STOLL R, WANG Z, PUST M: Vorgefertigte kegelförmige keramische Einlagefüllungen als Amalgam-Alternative. Zahnärztl Welt 104: 90–97 (1995)
- STASSINAKIS A, COLLA E, HUGO B, HOTZ P: Einfluss der Abschrägungstechnik und des Matrizensystems auf die Qualität von Klasse-II-Minikavitäten in vitro. Acta Med Dent Helv 3: 178–186 (1998)
- TANI Y, NAMBU T, ISHIKAWA A A, KATSUYAMA S: Polymerization shrinkage and contraction force of composite resin restorative inserted with megafiller. Dent Mater 12: 182–186 (1993)
- THONEMANN B, SCHMALZ G, BRANDENSTEIN S, HILLER K A: Randspaltverhalten von Keramikinlays in vitro. Dtsch Zahnärztl Z 49: 840–844 (1994)
- UNO S, ASMUS E: Marginal adaptation of a restorative resin polymerized at a reduced rate. Scand J Dent Res 99: 440–444 (1991)
- UNTERBRINK G L, MÜSSNER R: Influence of light intensity on two restorative systems. J Dent 23: 183–189 (1995)
- WINDELER T, LUTZ F, KREJCI I: Marginale Adaptation handelsüblicher und modifizierter Klasse-II-Restaurationen mit dem Sonicsys-approx-System. Acta Med Dent Helv 3: 211–217 (1998)
- WILLEMS G, LAMBRECHTS P, BRAEM M, VANHERLE G: Composite resins in the 21st century. Quintessence Int 24: 641–645 (1993)