

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Universität München
Direktor: Prof. Dr. R. Hickel

**Optimierung des Dentinverbundes von
Kompomerfüllungen in gemischten Klasse-V-
Kavitäten.
Eine in-vitro Studie.**

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

Vorgelegt von
Martin William Bauer
aus
München

1998

Mit der Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Priv. Doz. Dr. med. dent. K-H. Kunzelmann

Mitberichterstatter: Prof. Dr. Dr. J. Kleinschmidt

Mitbetreuung durch den
promovierten Mitarbeiter:

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. K. Peter

Tag der mündl. Prüfung: 27.10.98

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Problemübersicht.....	5
2	Literaturübersicht	7
2.1	Methoden zur Randspaltanalyse.....	7
2.1.1	Luftdruck.....	7
2.1.2	Bakterienpenetration	8
2.1.3	Isotopentechnik.....	8
2.1.4	Neutronenaktivierungsanalyse	9
2.1.5	Elektrochemische Leitfähigkeit	9
2.1.6	Rasterelektronenmikroskop.....	9
2.1.7	Farbstoffpenetration.....	10
2.1.8	Demineralisation von Randbereichen	11
2.2	Thermische Wechselbelastung.....	11
2.3	Übersicht über In-vitro-Untersuchungen zur Randspaltbildung in Klasse-V-Kavitäten.....	12
2.4	Mechanismen des adhäsiven Dentinverbundes	15
2.4.1	Entwicklung der Dentinadhäsive	15
2.4.2	Aktuelle Dentinadhäsive.....	16
2.4.2.1	Erhalt der Schmierschicht	17
2.4.2.2	Entfernung der Schmierschicht	17
2.4.2.3	Ein-Flaschen-Systeme	20
3	Material und Methode	21
3.1	Probenherstellung.....	21
3.2	Verwendete Materialien.....	27
3.3	Thermocycling.....	28
3.4	Gruppeneinteilung nach Vorbehandlung und Lagerung	28
3.5	Voruntersuchungen zur Farbstoffpenetration	30
3.6	Farbstoffpenetration nach dem „Münchner Modell“.....	31
3.7	Qualitative Randspaltanalyse.....	33
4	Ergebnisse.....	37
4.1	Dichtigkeit im Schmelzbereich.....	37

4.2 Dichtigkeit im Dentinbereich.....	38
4.3 Verlustrate.....	43
4.4 Statistische Auswertung.....	43
5 Diskussion.....	45
5.1 Dichtigkeit der Dentinadhäsive.....	45
5.1.1 Einfluß der Anwendung von Säure-Ätz-Technik.....	49
5.1.2 Einfluß der Wasserlagerung.....	51
5.1.3 Qualitative Randanalyse durch Farbstoffpenetration.....	53
5.1.4 Quantitative Auswertung.....	55
5.2 Klinische Relevanz, Vergleich in-vivo / in-vitro	56
5.3 Schlußfolgerung.....	57
6 Zusammenfassung	59
7 Literaturverzeichnis.....	61
8 Anhang.....	72
8.1 Statistik.....	72
8.2 Anwendungsvorschriften der Hersteller	78
Lebenslauf.....	87
Danksagung.....	88

1 Einleitung und Problemübersicht

Seit der in den fünfziger Jahren beschriebenen Methode der Schmelzkonditionierung zur Verbesserung der Haftung von Komposit am Zahnschmelz (23) und damit der Einführung der Adhäsivtechnik in der Zahnheilkunde, stellt sich die Forderung nach einem gleichermaßen zuverlässigen und dichten Verbund (14, 34, 47, 55, 81, 106) in nicht rein schmelzbegrenzten Defekten, wie etwa bei gemischten Klasse-V-Kavitäten.

Die Notwendigkeit einer ästhetisch sowie funktionell befriedigenden Versorgung dieser Defekte (44, 85) steht heutzutage immer mehr im Vordergrund.

Die höhere Lebenserwartung, in Verbindung mit den Erfolgen moderner Zahnerhaltung und Parodontologie (90) führt zu einer ansteigenden Zahl an Restbeziehung, die neben keilförmigen Defekten die Zahl freiliegender, kariesanfälliger Wurzeloberflächen erhöht (20, 93, 103, 109).

Als Entstehungsmechanismen für die Klasse V werden neben Zahnbürstdefekten elastische Verformungen der Zahnhartsubstanz durch beispielsweise Bruxismus diskutiert (20). Klinische Untersuchungen haben gezeigt, daß ein hohes Elastizitätsmodul der Verbindungssysteme und Füllungswerkstoffe zu einer ebenfalls hohen Verlustrate von Klasse V Restaurationen führt.

Durch die Entwicklung von Dentinhaftvermittlern ist der Komposit-Dentin Verbund verbessert worden (19, 45, 59, 85), jedoch stellt die Morphologie und Topographie dieser Läsionen (14, 20, 104, 124, 119) immer noch eine problematische Situation in der konservierenden Zahnheilkunde dar (44, 80, 86, 90, 134). Trockenlegung mit Kofferdam ist oft schwierig während in diesem Bereich eine besonders hohe Feuchtigkeit herrscht. Neuerungen unter diesen Werkstoffen mit dem Ziel einer weiteren Verbesserung der Haftung durch ein niedrigeres E-Modul, verstärkter Hydrophilie und einer einfachen Applikation sind deshalb auch einer kritischen und vergleichenden Untersuchung zu unterziehen.

Die zum Zeitpunkt der Untersuchung neue Materialgruppe der Dentinadhäsive für Kompomere erfüllt theoretisch die gewünschten Eigenschaften.

Es sollen daher methodisch offene Fragestellungen wie der Einfluß der Wasseraufnahme und der Effekt verschiedener Schichtstärken von Dentinadhäsiv auf die Randständigkeit von Komposeren erörtert werden.

Da klinische Studien über neue Materialien wegen der fehlenden Erfahrung immer ein gewisses Risiko für den Patienten beinhalten (126) und in ihrer Aussage meistens erst nach einem längeren Zeitraum zu beurteilen sind (14), werden In-vitro Tests zur schnelleren Abklärung spezifischer Fragestellungen herangezogen (74, 108, 115, 122, 136). Weiter muß betont werden, daß Vergleiche wie in dieser Dichtigkeitsstudie bezüglich verschiedener Applikationsformen, mit der, bei In-vivo Tests nur beschränkt möglichen Standardisierung nicht adäquat erfaßt werden können. Als sehr schnelles „screening“ zur Beurteilung von Randschlußqualitäten eignen sich daher Penetrationstests (14, 36, 101). Eine Weiterentwicklung der bisher angewandten Farbstoffpenetrationsmethoden scheint durch die neuen Materialeigenschaften erforderlich.

2 Literaturübersicht

2.1 Methoden zur Randspaltanalyse

Die Bedeutung eines dichten Randschlusses bei einer zahnärztlichen Restauration ist durch viele Studien belegt worden (14, 15, 34, 55, 75, 98, 119). Die Abdichtung gegenüber den in der Mundhöhle vorkommenden Bakterien, und dadurch Schutz des Zahnes gegen deren Stoffwechselprodukte und pathogenen Wirkungen (4, 7, 15, 34, 59, 73, 84, 113), stellt eine der Hauptforderungen an zahnärztliche Werkstoffe dar. Dieser Forderung entsprechend wurde bereits 1861 von Tomes eine mikroskopische Randuntersuchung von Amalgamfüllungen sowie die Anwendung von Farbindikatoren zur Spaltüberprüfung von amalgamgefüllten Glasröhrchen durchgeführt (144).

Immer genauer werdende Untersuchungsmethoden und Analysen von Randspalten sowie die einhergehende Verbesserung dentaler Füllungsmaterialien führten zur Bildung des Begriffes „microleakage“.

Taylor und Lynch definieren Microleakage als die Passage von Bakterien, Flüssigkeiten, Molekülen oder Ionen zwischen einem Kavitätenrand und dem daran adaptierten Füllungsmaterial (144). Den Nachweis bzw. die Wahrscheinlichkeit dieser Passage versuchten unzählige Autoren durch verschiedene Verfahren zur Randspaltanalyse zu erbringen.

Studien der jüngeren Zeit haben sogar einen Effekt beschrieben welcher als „nanoleakage“ bezeichnet wurde. Es handelt dabei um eine nachgewiesene Farbstoffpenetration bei intaktem Randschluß. Diskutiert wird dabei eine Penetration des Farbstoffes in die Dentinverbundschicht (120, 138).

2.1.1 Luftdruck

Luftdruck zum Nachweis von Randundichtigkeiten kam bereits 1912 bei der Untersuchung von Amalgamfüllungen in Stahlformen durch Harper (144) zur

Anwendung. Menschliche Zähne für Randspaltanalysen bei Acrylat- und Amalgamfüllungen wurden jedoch erst ab Anfang der fünfziger Jahre verwendet (144). Dazu wird Luft durch das foramen apicale unter Druck eingebracht und die ausströmende Luftmenge gemessen. Unterscheidungen in verschiedene Randbereiche sowie der Ausschluß der Diffusion durch anatomische Strukturen, wie etwa Dentintubuli, können hierbei nicht stattfinden (144). Allgemein sind die Schwächen dieser Methode jedoch in der ungenügenden Qualifizierbarkeit der Ergebnisse sowie des fehlenden klinischen Bezugs zu sehen (144).

2.1.2 Bakterienpenetration

Die Randspaltanalyse mit Hilfe von Bakterienpenetration (14) wurde erstmalig 1929 von Fraser durchgeführt und bis in die heutige Zeit in weiteren modifizierten Untersuchungen angewandt (95, 99, 144). Die Bewertung von Bakterienpenetrationstests beruht in der Regel auf einer rein quantitativen Aussage. Die Spalten müssen jedoch eine Größenordnung von circa 0,5-1 µm und größer aufweisen, um die Diffusion und Etablierung von Bakterien zuzulassen (95, 99). Kleinere Spalten, welche jedoch das Eindringen von Bakterientoxinen und anderen den Zahn schädigenden Substanzen nicht verhindern, können mit dieser Methodik nicht nachgewiesen werden. Trotz des klinischen Bezugs wird daher zum Teil eine sensiblere Methode zur Analyse empfohlen (95, 144).

2.1.3 Isotopentechnik

Die Anwendung von Radioisotopen (14, 36, 63) wurde als Verbesserung gegenüber der Färbetechnik gewertet, da die Teilchengröße des kleinsten Radioisotopen etwa ein Drittel der Größe der kleinsten Farbstoffmoleküle beträgt und eine Diffusion von Radioisotopen in Randspalten leichter stattfindet (30, 144). Der Nachweis dieser Radioisotopen erfolgt mit Autoradiographie (114). Probleme dieser Auswertung liegen in der subjektiven Bewertung des Penetrationsgrades, dem Winkel des auftreffenden Röntgenstrahles und den entsprechenden Abbildungsvariationen, der

Wahl des Isotopes und der korrelierenden Energie, der Dauer der Exposition, sowie dem Abstand von der Strahlungsquelle mit der entsprechenden Auflösung (144).

Die Isotopentechnik ist aus diesen Gründen eine sehr techniksensitive und schwer quantifizierbare Methode zur Ermittlung von Randspalten.

2.1.4 Neutronenaktivierungsanalyse

Das Prinzip dieser Methode liegt in der Diffusion von Mangan als Marker in Randspalten und dessen Nachweisbarkeit unter Neutronenbeschuß in einem nuklearen Reaktor als Strahlung. Daraus resultiert eine rein quantitative Aussage ohne Berücksichtigung der Diffusionsstellen (144). Zudem ist die technische Durchführbarkeit dieses Verfahrens sehr aufwendig. Der Vorteil dieses Systems liegt in der Möglichkeit der Markierung von Zähnen In-vivo und deren Auswertung In-vitro. Direkte Vergleiche beider Verfahren sind dadurch möglich.

2.1.5 Elektrochemische Leitfähigkeit

Abgeleitet von dem System der elektrochemischen Analyse von endodontischen Füllungen (144) wird der Grad der elektrischen Leitfähigkeit des Zahninneren gegenüber eines äußeren Mediums bestimmt. Diese Methode ist ungeeignet für Restaurationen mit elektrischer Leitfähigkeit und läßt keine Rückschlüsse auf die marginale Lokalisation der Undichtigkeit zu.

2.1.6 Rasterelektronenmikroskop

Durch die Anwendung dieser Technologie (14, 43) wird die zweidimensionale hochauflösende Abbildung der Randstruktur unter mikrometergenauer Vergrößerung ermöglicht. Diese Methode bietet verschiedene Vorteile. Zum einen kann eine Auswertung unter der Zuhilfenahme von Replikaten erfolgen (87), was eine vergleichende Auswertung beispielsweise von verschiedenen Phasen der Probenbehandlung zuläßt (101), oder zum anderen die direkte Vergrößerung von

Morphologie und Mikrostrukturen stattfinden (46, 51). Problematisch bleibt auch bei diesem Verfahren, trotz der, je nach Kontrastverfahren, plastischen Darstellung, die Interpretation durch den Untersucher, wodurch eine fehlerfreie Auswertung nicht immer gewährleistet ist (95). In der Auflösungsgenauigkeit ist die Rasterelektronenmikroskopie jedoch den anderen Verfahren überlegen und aus der zahnmedizinischen Grundlagenforschung nicht mehr wegzudenken (85). Zahlreiche Erkenntnisse über Dentinadhäsive sind zweifelsohne der rasterelektronenmikroskopischen Darstellung zu verdanken (29, 69, 73, 78, 129, 146, 148, 158).

2.1.7 Farbstoffpenetration

Die Anwendung der Farbstoffpenetration stellt eines der geläufigsten Verfahren zur Beurteilung von Randdichtigkeiten dar und wird von vielen Untersuchern angewendet (2, 3, 12, 14, 22, 27, 32, 36, 39, 37, 38, 45, 48). Diese Methode hat eine große Sensibilität gegenüber minimalen Randundichtigkeiten (87), erlaubt die Anfertigung von Schnitten und ermöglicht eine kontrastreiche Darstellung ohne weitere chemische Reaktionen oder Bestrahlung. Zumeist erfolgt eine lichtmikroskopische Auswertung. Nachteile dieses Verfahrens sind selbst bei der Skalierung in unterschiedliche Penetrationstiefen eine untersuchereigene Subjektivität der Ergebnisse. Die Anfertigung von Schnitten ermöglicht lediglich die Auswertung einer beschränkten Anzahl an Meßpunkten, d.h. eine Erfassung des gesamten Füllungsrandes ist dann nicht möglich (70). Bei runden Klasse-V-Kavitäten wird die einfache diametrale Schnittführung durch den Füllungsmittelpunkt entlang der Zahnachse sowie deren Auswertung (in ihrer Aussage) als stellvertretend für den Rest der Ränder betrachtet (80, 101).

Die häufigsten Farbstoffe sind Silbernitrat, Erythrosin, Fuchsin, Eosin sowie Methyleneblau in verschiedenen Konzentrationen.

Durch die Wahl unterschiedlicher Farbstoffe ergeben sich Schwierigkeiten bei dem Vergleich der Ergebnisse einzelner Arbeitsgruppen zueinander.

2.1.8 Demineralisation von Randbereichen

Bei dieser Methode werden die Proben in einem sauren Gel gelagert (49). Im Anschluß daran werden durch Mikroradiographie oder die mikroskopische Untersuchung mit polarisiertem Licht die Randbereiche untersucht (47, 55, 72). Dadurch kann die Tiefe oder das Ausmaß der Entmineralisation von Zahnhartsubstanzen am Füllungsrand bestimmt werden (49). Der Vorteil dieser Methode liegt in der klinischen Relevanz des Versuchsaufbaus, eine genauere Quantifizierung der Ergebnisse ist jedoch schwer.

2.2 Thermische Wechselbelastung

Im Mund sind sowohl Zähne als auch Restaurationsmaterialien bei dem Verzehr von Getränken und Speisen kurzzeitigen thermischen Schwankungen ausgesetzt. Diese Temperaturunterschiede werden gemäß den Untersuchungen und Messungen verschiedener Autoren zwischen 29,6° C und 67° C (112, 118, 35) bei mehreren tausend Zyklen pro Jahr (35) angegeben.

Die Wärmeexpansionskoeffizienten der Zahnhartsubstanzen zeigen beispielsweise im Verhältnis zu Kompositfüllungsmaterialien Unterschiede, etwa um den Faktor 3 pro Grad Celsius (95, 134).

Durch die Resultate verschiedener Studien wurde die Beeinflussung der marginalen Randqualität von Füllungen nach einer thermischen Wechselbelastung In-vitro ausreichend dargelegt (3, 14, 36). Es konnte gezeigt werden, daß nach einer wechselweisen Exposition der restaurierten Zahnproben in unterschiedlich temperierten Bädern deutlich verstärkt Randimperfectionen auftraten (3, 14, 35, 36, 39, 37, 61, 161).

Versuchsaufbauten, welche eine Analyse der Randbeschaffenheit bei konstanter Temperatur vorsehen, berücksichtigen diese Umstände nicht. Verschiedene Autoren vertreten daher die Auffassung, daß die thermische Wechselbelastung

(Thermocycling) einen erheblichen Einfluß auf die Entstehung von „microleakage“ hat (14, 24, 35). In den meisten Versuchen kamen Temperaturunterschiede in den Bereichen zwischen 55° C und 5° C bei Eintauchzeiten von 15s-120s zur Anwendung (12, 14, 17, 27, 48, 156).

Obwohl eine direkte Korrelation zu den In-vivo-Verhältnissen letztendlich nicht gegeben scheint (14, 35, 112, 140), sollte Thermocycling von gefüllten Zähnen oder auch Proben von Werkstoffen zur künstlichen Alterung und Simulation enoraler Verhältnisse daher heute zum Standard bei der Durchführung praxisrelevanter In-vitro-Tests gehören (35, 95, 140).

2.3 Übersicht über In-vitro-Untersuchungen zur Randspaltbildung in Klasse-V-Kavitäten

Da die Kompomere sowie One-Bottle-Dentinadhäsive erst seit relativ kurzer Zeit auf dem Markt sind, liegen bisher noch verhältnismäßig wenige vergleichende Studien über in-vitro-Randspaltanalysen in Klasse-V-Kavitäten zu diesen spezifischen Materialgruppen vor.

Zur besseren Übersicht sind die Untersuchungen in Tabelle 1 dargestellt.

Autor	Versuchsmaterial Kavitätsdesign	Dentinverbundsystem	Füllungsmaterial	Vorbehandlung	Lagerung	Auswertung
Al Obaidi, F.F., et al 1996	Menschliche Zähne Klasse V	Conditioner Vitremer, 3M Primer Vitremer, 3M	Vitremer, 3M Vitremer, 3M Vitremer, 3M			4 h in 5% Methylenblau 1 Schnitt Lichtmikroskop
Min, T., et al 1996	Menschliche Zähne Klasse V, Keilförmige Defekte	PSA-Liquid, De Trey Prisma Universal Bond 3, De Trey Chem Fil Tooth Cleanser, De Trey Vitremer Primer, 3M GC Dentin Conditioner, GC Superbond, DMG Prisma Universal Bond 3, De Trey	Dyract, De Trey blend-a-lux, Blendax Chem Fil Superior, De Trey Photac Fil, Espe Vitremer, 3M Fuji II LC, GC Ivoclar Fil, DMG Van Glass VLC, De Trey	SÄT	6 Wochen in aqua dest. 1000 Zyklen, 5-55 Grad	48h in 0, 5% Fuchsinlösung 3 Schnitte Lichtmikroskop
Brackett, W., et al 1997	Rinder Zähne Klasse V	Scotchbond Multipurpose, 3 M Optibond, Kerr	Z100, 3M Prodigy, Kerr	SÄT	1 Woche in Wasser, 200 Zyklen 5-55 Grad	4h in 10% Methylenblau 1 Schnitt Lichtmikroskop
Camps, J., et al 1996	Menschliche Zähne Klasse V	Scotchbond Multipurpose, 3M Gluma 2000, Bayer	Z 100, 3M Petakfil, Bayer		24 h in NaCl 100 Zyklen a 30s 4-55 Grad	2h 50% Silbernitratlösung 3 Schnitte a 3 mm Lichtmikroskop
Doerr, Cl., et al 1996	Menschliche Zähne Klasse V	Ketac Conditioner, Espe Ketac Conditioner, Espe	Ketac Fil, Espe Photac Fil, Espe	SÄT	1 Woche in aqua dest. Hälfte der Proben 2500 Zyklen a 5 s, 5-55 Grad	5h 5% Methylenblau 1 Schnitt Lichtmikroskop
Erdilek, N., et al 1997	Menschliche Zähne Klasse V	Vitrebond, 3 M Vitrebond, 3 M	Prisma TPH, De Trey Fuji II, GC Dyract, De Trey		1 Woche in Chloraminog, 650 Zyklen 5-55 Grad	4h in 50% Silbernitratlösung 1 Schnitt Lichtmikroskop
Ferrari, M., et al 1997	Menschliche Zähne Klasse V	Clearfil Liner Bond 2, Kuraray	Dyract, De Trey AP-X hybrid resin, Kuraray		24 h in 2% Methylenblau 1 Schnitt	24 h in 2% Methylenblau 1 Schnitt Lichtmikroskop
Grobler, SR., et al 1996	Menschliche Zähne Klasse V	AElitebond single Primer, Bisco	Bis-Fil, Bisco	SÄT	1 Woche in 2% Fuchsinlösung 3 Schnitte Lichtmikroskop	4h in 50% Silbernitratlösung 1 Schnitt Lichtmikroskop
Hallett, K.B., et al 1993	menschliche Molaren Klasse V	GC Dentin Conditioner, GC GC Dentin Conditioner, GC Ketac Conditioner, Espe Ketac Conditioner, Espe	Fuji II LC, GC Fuji II, GC Photac Fil, Espe Ketac Fil, Espe		24h, Ausarbeitung 500 Zyklen in 2% Methylenblau 8-15 Grad	Schnitte 6mm dick Lösung des Farbstoffes und Intensitätsmessung
Hildebrand, H.C., et al 1995	menschliche Milchmolaren und Permanentes Klasse V im Schmelz	PSA Liquid, De Trey Ketac Conditioner, Espe	Dyract, De Trey Ketac Fil, Espe		30d 5000 Zyklen, 5-55 Grad	24h in 2% Fuchsinlösung 3 Schnitte Lichtmikroskop
Reich, E., et al 1994	Rinderzähne Klasse V Sandwichttechnik	Ketac Conditioner, Espe Vitrebond Primer, 3M Ketac Conditioner, Espe GC Dentin Conditioner, GC Pea Epryl, De Trey	Ketac Bond, Espe Vitrebond, 3M Fuji Lining LC, GC XR Ionomer, Kerr Photac Bond, Espe Ketac Fil, Espe Fuji II LC, GC Dyract epryl, De Trey Stux Plus, 3M		1 Woche 5000 Zyklen, 5-55 Grad	16 h in 0,5% Fuchsinlösung 1 Schnitt Lichtmikroskop Replikate vor und nach TWL im REM



Abbildung 1: Schmierschicht auf Dentin mit angeschnittenem Dentintubulus und Schmierschichtpropfen (127)

2.4.2 Aktuelle Dentinadhäsive

Die weiteren Entwicklungsstufen der Dentinadhäsive unterscheiden sich von ihren Vorgängern durch die Einführung eines oder mehrerer Zwischenschritte, zum Teil auch einer Konditionierung, vor der Applikation des eigentlichen Adhäsives (43, 73).

Unter der Konditionierung versteht man die Veränderung der nach der Bearbeitung der Kavität zurückbleibenden Oberfläche durch Säuren oder Chelatbildner.

Als sogenannte Primer kommen in Wasser, Äthanol oder Aceton gelöste Monomere und Monomergemische zur Anwendung, welche nach der Verdunstung des Lösungsmittels zurückbleiben. Daraus resultiert eine verbesserte Benetzbarkeit der Dentinoberfläche für das hydrophobe Bond und letztendlich die mikromechanische Verankerung moderner Dentinadhäsive (85).

In Ihrer Methodik lassen sich aufgrund elektronenmikroskopischer Untersuchungen bezüglich der Bearbeitung der Schmierschicht, nämlich Erhalt, teilweiser Erhalt oder

Entfernung, und der resultierenden Adhäsionsmechanismen drei Gruppen unterscheiden (153).

Eine weitere Möglichkeit besteht in der Unterscheidung aufgrund der Dentinvorbehandlungssystematik in Priming ohne Konditionierung, Konditionierung mit anschließendem Priming und selbstkonditionierende Primer (53, 85, 159).

2.4.2.1 Erhalt der Schmierschicht

Das Prinzip der Haftsyste unter Erhalt der Schmierschicht lehnt sich an die chemische Dentinhaftung an. Dabei wird die schwach anhaftende Schmierschicht durch die Bestandteile des Dentinverbundsystemes infiltriert und modifiziert. Ziel ist eine mechanische Verstärkung der Schmierschicht, Imprägnierung durch bifunktionelle Monomere sowie chemische und mikromechanische Verankerung (85, 125, 151).

Trotz der guten Biokompatibilität dieses Prinzips bei dem Verschluss der Dentintubuli durch die "smearlayer"-Propfen wird die unzureichende Beständigkeit dieses Verbundes in verschiedenen Studien kritisiert (83, 121).

Durch Hydrolyse kommt es nach kurzer Zeit zu einer zumindest partiellen Auflösung der Schmierschicht (42, 83, 100). Das Dentinbonding an der Schmierschicht gilt heute als Methode mit sehr geringer Effektivität und starker Potenz zur Randspaltbildung (7, 5, 42, 53, 70, 123, 150, 160).

2.4.2.2 Entfernung der Schmierschicht

Durch die Konditionierung mit Säuren oder Kalzium Chelat Bildnern (EDTA) wird die Schmierschicht sowohl vom intertubulären Dentin als auch aus den angeschnittenen Dentinkanälchen entfernt und die Dentinoberfläche je nach Ätzkraft und Einwirkdauer bis in eine Tiefe von ca. 1 - 10 µm entkalkt. Die Auflösung des Hydroxylapatit bewirkt darüber hinaus die Freilegung von Kollagenfaserstrukturen des Dentins (117, 125, 137, 147). Es entsteht ein kollagenes Netzwerk mit

interfibrillären, tunnelähnlichen Hohlräumen (29, 50, 115, 125, 148) (Abbildung 2, Abbildung 3).

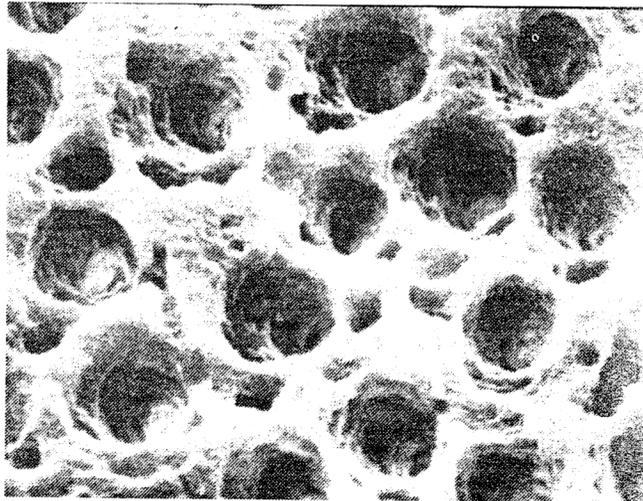


Abbildung 2: Kollagenfasergeflecht in Aufsicht (77)



Abbildung 3: Kollagenfasergeflecht im Schnittbild mit demineralisierten Dentintubuli (127)

Durch die Applikation von hydrophilen Primern soll nun eine Diffusion derselben in dieses kollagene Netzwerk und die eröffneten Dentintubuli stattfinden und die Penetration der im Anschluß daran aufgetragenen Adhäsivmonomere ermöglichen (151).

Die ultramikroskopische Darstellung dieser Strukturen zeigt die Ausbildung einer Hybridschicht (73, 78, 115, 120, 148) aus polymerisierten Monomeren und Dentinbestandteilen und von Kunststoffzotten, sogenannter „tags“, innerhalb der Dentinkanälchen (7, 69, 85, 116, 158) (Abbildung 4). Die Qualität und retentive Kraft dieser Hybridschicht hängt sowohl vom Zustand der Kollagenfaserstrukturen als auch der ausreichenden Penetration und Polymerisation des Kunststoffwerkes ab (6, 50, 115).

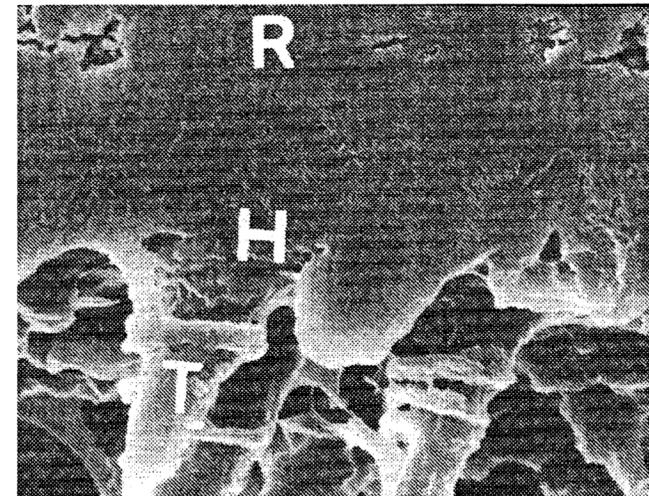


Abbildung 4: „Resin-Dentin-Interface“ R = „resin“-schicht, H = Hybridschicht, T = „tags“ (116)

Es konnte gezeigt werden, daß das konditionierte Dentin nach der Entfernung des Konditioniers und anschließender Trocknung eine Volumenschrumpfung erfährt

(120). Diese Tatsache ist darauf zurückzuführen, daß die Hohlräume zwischen den Kollagenfasern durch die Einlagerung von Wasser aufrechterhalten werden. Bei zu starker Trocknung kollabiert das Kollagengerüst wodurch die rasche und sichere Penetration des Adhäsives beeinträchtigt wird (120, 146). Dieses Problem kann mit Hilfe hydrophiler Primer, welche eine Potenz zur Reexpansion des kollabierten Kollagengeflechts besitzen (117), oder der Methode des "wet bonding" verringert werden. Unter "wet bonding" versteht man die erneute Befeuchtung der konditionierten Dentschicht mit Wasser oder wässrig verdünnten Desinfektionsmitteln (120, 139). Bei bestimmten Adhäsivsystemen läßt sich die Haftfestigkeit durch diese Methode um 30-40% steigern (77, 117).

Die Beobachtung, daß die Adhäsion an pulpanahem Dentin mit einer höheren Anzahl von Dentinkanälchen trotz der Ausbildung langer „tags“ teilweise zu einer Verschlechterung der Haftungswerte führt zeigt, daß die bei unterschiedlichen Adhäsiven verschiedene hohe Eigenhaftung der „tags“ am Dentin eine wesentliche Rolle spielt (7, 69, 70, 142). Einflüsse wie die Oberfläche der Zahnhartsubstanz, Verdünnungseffekte durch Dentinliquor etc. müssen daher berücksichtigt werden

Durch elektronenmikroskopische Untersuchungen der Diffusionszonen verschiedener Dentinadhäsivsysteme konnte der Nachweis sogenannter intertubulärer Anastomosen im Dentin erbracht werden (29). Die Ausbildung seitlicher Ausläufer der „tags“ innerhalb dieser Verzweigungen wird für die Erhöhung der Haftfestigkeit als wesentlich erachtet (29).

2.4.2.3 Ein-Flaschen-Systeme

Die jüngste Evolutionsstufe in dem Bereich der Dentinadhäsive ist die Entwicklung sogenannter Ein-Flaschen- oder One-bottle-Systeme. Diese versuchen alle bisher genannten Vorteile unter der weitgehenden Vermeidung der Nachteile zu vereinen. Das Prinzip der „aufwendigeren“ Mehrflaschensysteme sollte der Applikation einer Lösung weichen.

Durch saure Bestandteile und den entsprechend niedrigen ph-Wert wird eine mehr oder minder vollständige Entfernung des "smearlayers" erzielt und eine Demineralisation des oberflächlichen und intertubulären Dentins bewirkt.

Die Monomere des Dentinadhäsivsystems dringen in die geschaffenen Hohlräume in der Dentinmatrix ein und binden, nach der Verdunstung bzw. Verdrängung des Lösungsmittels wie Aceton oder Wasser, je nach System, chemisch oder / und mikromechanisch an die freigelegten Kollagenfasergeflechte und das Dentin (69, 120). Da in dieser Phase auch bereits Photoinitiatoren und stabilere Bondingharze vorhanden sind, werden bei der folgenden ersten Belichtung bereits freie Radikale in einer infiltrierten Kollagenschicht ausgebildet.

Bei einer zweiten Applikation erhöht sich der Benetzungsgrad der Oberflächen durch Monomere und es bleibt nach der Belichtung und Polymerisation eine mit freien Radikalen versehene Dentschicht, bereit zum Verbund mit dem Füllungsmaterial, zurück.

3 Material und Methode

3.1 Probenherstellung

Als Versuchsobjekte wurden 200 kariesfreie menschliche Molaren gewählt, bei welchen der Zeitpunkt der Extraktion innerhalb von 4 Wochen vor Versuchsbeginn lag. Die Zähne wurden sofort nach ihrer Entfernung in Ringerlösung mit einem Natriumazidzusatz bei Zimmertemperatur gelagert. Vor der Präparation wurden alle Zähne mechanisch von Belägen oder Desmodontalresten befreit.

Zur Herstellung standardisierter Kavitäten wurde ein zahnärztliches Rotring-Winkelstück mit einem Abstandhalter (Abbildung 5) versehen.



Abbildung 5: Distanzhalter am Rotring Winkelstück mit Finierdiamant zur Standardisierung der Kavitätentiefe bei der Präparation

Mit Hilfe eines kugelförmigen Diamanten mittlerer Körnung, (80 - 100 μ) (Nr. Fg 201, Fa. Intensiv, CH.) wurde unter Wasserkühlung im Bereich der Schmelz-Dentin-Grenze je Zahn eine in der Aufsicht runde Klasse-V-Kavität mit einer Tiefe von 1.5 mm präpariert. Jede Präparation wurde darauf zusätzlich mit einem konischen Feinstkorndiamanten von 2 mm Durchmesser, 25 μ , (Nr. 3113 S, Fa. Intensiv, CH) finiert (Abbildung 6).

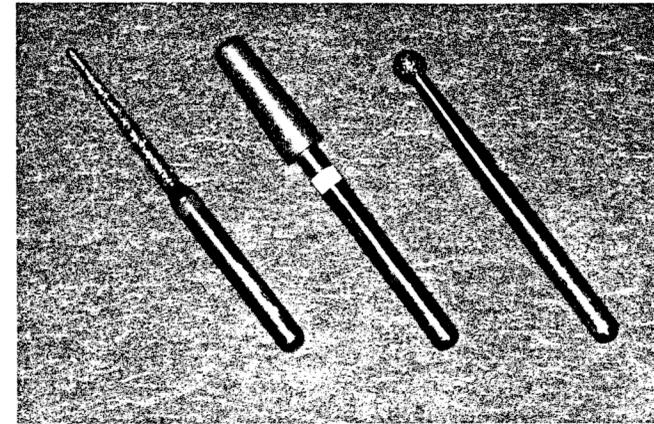


Abbildung 6: verwendete diamantierte Schleifkörper

Daraus resultierten kreisrunde, jeweils zur Hälfte im Schmelz und Dentin gelegene, leicht konische Standardkavitäten (Abbildung 7).



Abbildung 7: Fertige Klasse-V-Kavität

Im Anschluß daran erfolgte eine zufällige Verteilung der so vorbehandelten Proben auf Gruppen zu je 10 Stück. Gemäß der Gruppeneinteilung war anschließend eine, mittels eines flammenförmigen Diamanten, (Nr. 852-011 C, Fa. Iso Diamant, München) eingeschleifene numerische Kodierung im Wurzelbereich erfolgt.

Bei Zähnen die unter Anwendung der Säure-Ätz-Technik zu füllen waren, fand eine Abschrägung der Schmelzbegrenzung mit einem Feinkorndiamanten (Nr.255 GS, Fa. Intensiv, CH) statt (Abbildung 8). Diese 0,5 mm breite Schmelzabschrägung wurde einheitlich 60 s lang mit Phosphorsäuregel (Esticid Gel, Fa. Kulzer) konditioniert

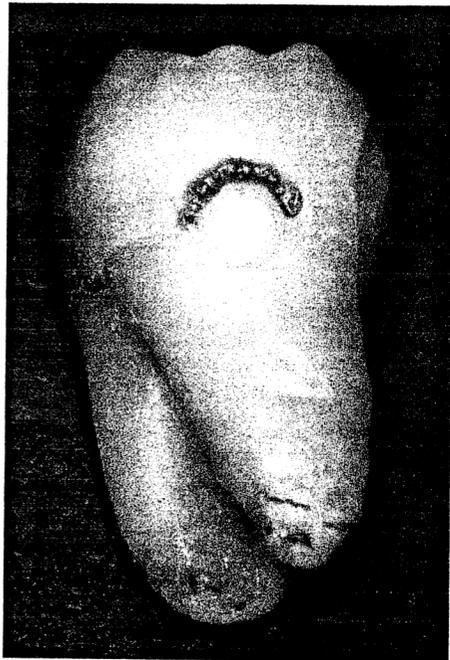


Abbildung 8: Abgeschrägter Bereich für die Anwendung der Säure-Ätz-Technik mit Phosphor Gel beschickt

Die Dentinvorbehandlung aller Gruppen erfolgte entsprechend den jeweiligen Angaben des Herstellers.

Die verschiedenen Füllungsmaterialien konnten, durch die geringe Kavitätentiefe bedingt, den Verarbeitungshinweisen zufolge jeweils in einem Inkrement in die Kavität appliziert und nach grobem Entfernen der Überschüsse mit einer Polymerisationslampe (Kulzer, Translux CL) ausgehärtet werden (Abbildung 9). Durch die einmalige Applikation sollte auch der ungünstigste Fall der Polymerisationsspannungen simuliert werden.

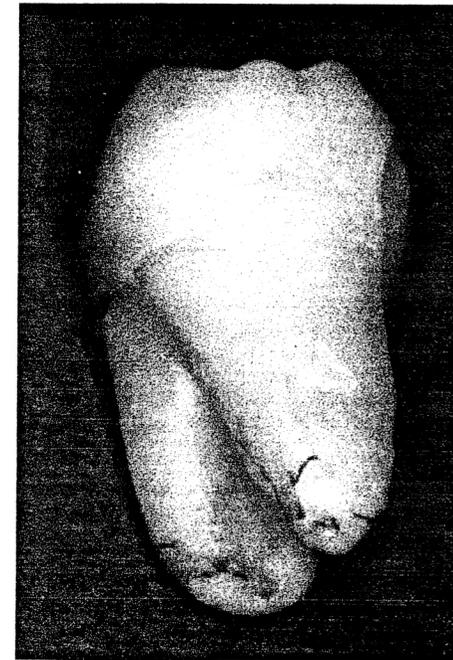


Abbildung 9: Fertig gefüllter Zahn vor der Ausarbeitung

Im Anschluß daran wurden alle Füllungen mit Aluminiumoxid beschichteten Scheibchen mittlerer, feiner und superfeiner Körnung (So Flex Nr. 1982 C, M, F, SF, Fa. 3M, USA) bei 14000U/min in einem grünen Winkelstück unter Wasserkühlung fertig ausgearbeitet und hochglanzpoliert (Abbildung 10). Durch eine weitere Kontrolle der Ausarbeitung mit dem unbewaffneten Auge wurde eine überschußfreie und möglichst perfekte Randgestaltung gewährleistet.



Abbildung 10: Fertig ausgearbeitete und polierte Füllung

Während der gesamten Verarbeitung waren die Proben, bis auf entsprechende Einzelschritte, entweder in Wasser gelagert oder zumindest feucht gehalten worden, um ein Austrocknen der Zähne zu verhindern. Darauf folgend wurden alle Proben erneut für einen der Aufgabenstellung entsprechenden Zeitraum in Ringerlösung bei 37 Grad Celsius gelagert.

3.2 Verwendete Materialien

Die verwendeten Dentinadhäsive wurden mit verschiedenen Füllungsmaterialien kombiniert. Zur besseren Übersichtlichkeit werden alle verwendeten Dentinadhäsive sowie Füllungsmaterialien in Tabelle 2 und Tabelle 3 dargestellt.

Typ	Dentinhaftmittel	Hersteller	batch No.
One-Bottle-System	PSA® exp Primer I	De Trey, Dentsply, Konstanz	K15601
One-Bottle-System	PSA® exp Primer III	De Trey, Dentsply, Konstanz	K16991
One-Bottle-System	SCA Liquid®	Vivadent	
One-Bottle-System	Syntac Single Component®	Vivadent	80 8658
One-Bottle-System	Prime & Bond 2.0®	De Trey, Dentsply, Konstanz	9505131-8705
One-Bottle-System	Tri cure® EXM 156 Primer	3M, St. Paul, USA	155 PR
Conditioner	Ketac Conditioner®	Espe	0006X035
Conditioner	GC Dentin Conditioner®	GC Corp., Tokio, Japan	-
Primer, Adhäsiv	Prisma Universal Bond 3®	De Trey, Dentsply, Konstanz	920708 Primer 920817 Adhesive
Primer, Adhäsiv	Syntac®	Vivadent	560387 Primer 560346 Adhesive 560423 Bond
Schmelzkonditionierung	Esticid Gel®	Kulzer	959 12.31 073

Tabelle 2: Verwendete Dentinadhäsive

Typ	Füllungsmaterial	Hersteller	batch no.
Kompomer	Dyract® exp.	De Trey, Dentsply, Konstanz	9209136 expiry
Kompomer	Compoglass®	Vivadent	701 308
Hybridglasionomer	Photac-Fil®	Espe, Seefeld	0006
Hybridglasionomer	Fuji II LC®	GC corp., Tokio, Japan	22 06 21
Hybridglasionomer	Tri cure EXM 156 GIZ®	3M, St Paul, USA	155 L
Hybridglasionomer	Vari Glass VLC®	Caulk, Dentsply, USA	920924
Komposit	TPH®	De Trey, Dentsply, Konstanz	930211
Komposit	TPH spectrum®	De Trey, Dentsply, Konstanz	AJ Exp. 9901/228
Komposit	Tetric®	Vivadent	560672

Tabelle 3: Verwendete Füllungsmaterialien

3.3 Thermocycling

Alle Gruppen wurden nach 24 Stunden bzw. bei Gruppe 4 und 13 nach 3 Monaten Wasserlagerung einer Thermowechselast unterzogen. Dazu wurden die Zähne mittels einer computergesteuerten Maschine zwischen zwei Wasserbädern mit 5 beziehungsweise 55 Grad Celsius in 500 Zyklen jeweils 30 Sekunden wechselweise thermisch belastet. Gruppe 3 und 18 wurden nach der Thermowechselast vor der Weiterbehandlung zusätzlich 3 Monate in Wasser gelagert.

3.4 Gruppeneinteilung nach Vorbehandlung und Lagerung

Zur besseren Übersicht folgt eine tabellarische Darstellung aller Applikations-Kombinations- und Lagerungsvarianten (Tabelle 4).

Es sollten bei der Untersuchung verschieden Fragestellungen erörtert werden:

- Einfluß einer zweimaligen Applikation eines Dentinverbundsystems auf den Randschluß einer Restauration in einer gemischten Klasse-V-Kavität (Vergleich von Gruppe 2 zu Gruppe 5)
- Einfluß der Anwendung der Säure-Ätz-Technik auf den Randschluß einer Restauration in einer gemischten Klasse-V-Kavität (Vergleich von Gruppen 2,6,10,11,19 und 20 mit den Gruppen 1,7,9, und 17)
- Einfluß einer 3 monatigen Lagerung in Ringerlösung auf den Randschluß einer Restauration in einer gemischten Klasse-V-Kavität (Vergleich der Gruppen 1,12 und 17 zu den Gruppen 3,13 und 18)
- Einfluß des Zeitpunktes einer Thermowechselast auf den Randschluß einer Restauration in einer gemischten Klasse-V-Kavität (Vergleich der Gruppe 3 zur Gruppe 4)

Gruppe	Dentinverbundsystem	Applikation	Füllungsmaterial	Lagerung 1	TWL	Lagerung2
1	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	24h	x	0
2	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl. SÄT	TPH®	24h	x	0
3	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	24h	x	3 Mon.
4	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	3 Mon.	x	0
5	PSA® Primer I exp, OBS	2x10s, härten, 2x appl.	Dyract® exp.	24h	x	0
6	PSA® Primer III 496 exp., OBS	2x10s härten, 2x appl. SÄT	TPH®	24h	x	0
7	PSA® Primer III 496 exp., OBS	2x10s härten, 2x appl.	Dyract® exp.	24h	x	0
8	SCA Liquid, OBS	Lt. Herst.	Compoglass®	24h	x	0
9	Syntac® Single Component, OBS	Lt. Herst.	Compoglass®	24h	x	0
10	Syntac® Single Component, OBS	lt. Herst. SÄT	Compoglass®	24h	x	0
11	Prime & Bond 2.0®, OBS	lt. Herst. SÄT	TPH spectrum®	24h	x	0
12	Tri cure® EXM 156 Primer, OBS	Lt. Herst.	Tri Cure EXM 156 Glass Ionomer	24h	x	0
13	Tri cure® EXM 156 Primer, OBS	Lt. Herst.	Tri Cure EXM 156 Glass Ionomer	3 Monate	x	0
14	GC Dentin Cond.®, KOND	Lt. Herst.	Fuji II LC	24h	x	0
15	Ketac Conditioner®, KOND	Lt. Herst.	Photac Fil Aplicap®	24h	x	0
16	PUB3®, Primer, KOND	Lt. Herst.	Vari Glass®	24h	x	0
17	PUB 3®, MS	Lt. Herst.	Dyract® exp.	24h	x	0
18	PUB 3®, MS	Lt. Herst.	Dyract® exp.	24h	x	3 Mon.
19	PUB 3®, MS	lt. Herst. SÄT	TPH®	24h	x	0
20	Syntac®, MS	lt. Herst. SÄT	Tetric®	24h	x	0

Tabelle 4: Übersicht der Dentinvorbehandlung, Füllungsmaterialien und Lagerungsvarianten

3.5 Voruntersuchungen zur Farbstoffpenetration

Voruntersuchungen zeigten, daß mit zunehmender Lagerungsdauer sowohl eine Diffusion des Farbstoffes durch während der Bearbeitung angeschnittene Dentinkanälchen als auch durch das nicht immer sicher zu verschließenden Foramen apikale stattfindet (Abbildung 11). Dieses Problem trat häufig, besonders bei Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum und einem entsprechen großen Lumen, welche einen erheblichen Anteil an dem Versuchsmaterial hatten, auf.

Selbst eine zweimalige Applikation des Nagellackes und ein vorheriger Verschuß mittels Füllungsmaterial konnten diese Probleme nicht beseitigen.

Zudem war, bedingt durch die Hydrophilie der verschiedenen Dentinvorbehandlungskomponenten sowie einiger Füllungswerkstoffe, teilweise eine tiefe Farbstoffpenetration in die Materialien festzustellen (Abbildung 12). Eine klare Beurteilung des Randschlusses war in diesem Fall nur eingeschränkt oder nicht möglich.

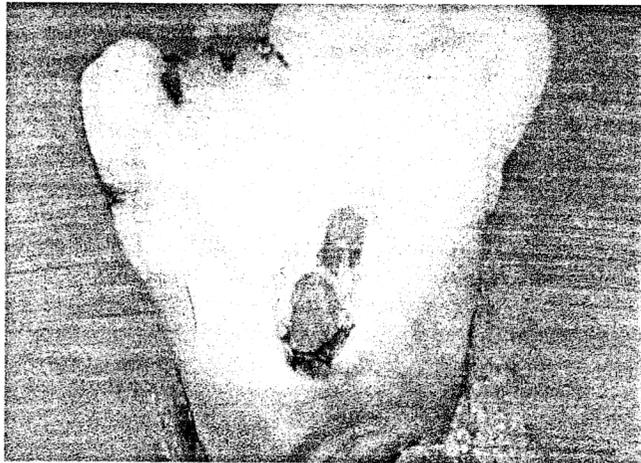


Abbildung 11: Durch das Foramen eingedrungene Farbstofflösung unterhalb der Füllung



Abbildung 12: Komplett eingefärbtes Füllungsmaterial

Da die Fragestellung nur eine dichotome Aussage erforderte, konnte mit Hilfe von Vorversuchen eine Zeitspanne von 5 min zur Diffusion der Färbelösung in vorhandene Randspalten als ausreichend ermittelt werden.

3.6 Farbstoffpenetration nach dem „Münchner Modell“

Anschließend erfolgte sofort die Dichtigkeitsprüfung der Füllungen mit Hilfe eines modifizierten Farbstoffpenetrationsverfahrens.

Dabei wurden die Zähne zur Vorbereitung kreisförmig mit rotem Nagellack bis auf ca. 1-2 mm zirkulär um den Füllungsrand versiegelt. Die Applikation von Nagellack wird allgemein als ausreichender Schutz vor einer Diffusion des Farbstoffes durch benachbarte Strukturen erachtet (14).

Während der Trocknungsphase des Nagellackes wurden die Restaurationen mit einem Tropfen Wasser abgedeckt, um ein Austrocknen der Füllungen zu verhindern (Abbildung 13).

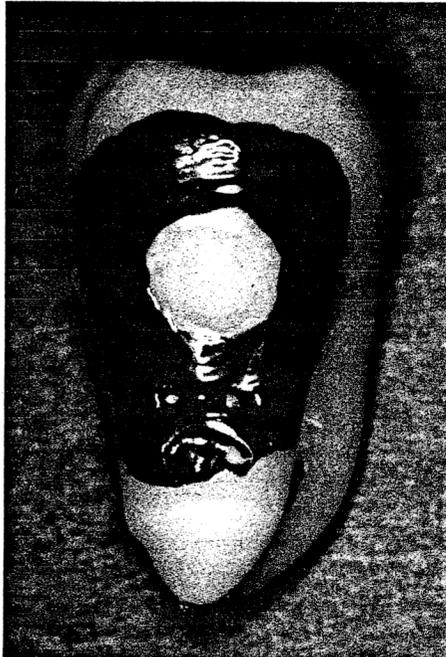


Abbildung 13: Mit Wassertropfen bedeckte und zirkulär versiegelte Füllung

Nach dem Trocknen des Lackes wurde das Wasser abgetupft und ein Tropfen 5%iger wässriger Methylenblau-Lösung auf die Füllung und die umgebenden Zahnhartsubstanzen appliziert (Abbildung 14).

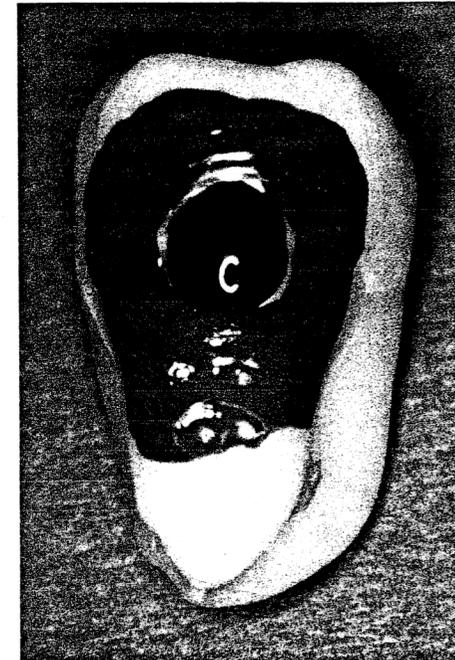


Abbildung 14: Färbeprozess mit Farbstofftropfen in situ

Nach 5 min Einwirkzeit wurde die Farblösung Richtung koronal abgespült, um einem Eindringen der Farbstofflösung durch das foramen apicale vorzubeugen.

3.7 Qualitative Randspaltanalyse

Die Zähne wurden anschließend in das klare Kaltpolymerisat Technovit 4004® (Kulzer, Wehrheim) eingebettet. Als Form für den Einbettvorgang diente eine quaderförmige Hohlform aus Silikon. Um eine einheitliche Orientierung der Zähne zu gewährleisten, wurde zuerst eine dünne Schicht des Kaltpolymerisates eingebracht und die Proben mit der Okklusalfäche im zähplastischen Zustand dieser Schicht fixiert. In einem zweiten Arbeitsschritt wurden die Zähne dann komplett eingegossen und die gesamte Form im Drucktopf bei 3,5 bar und 55 Grad Celsius auspolymerisiert. Hierdurch war die gute Sichtbarkeit der Füllung durch das

Polymerisat gewährleistet, was für die exakte Justierung der Probe beim Schneidevorgang von großer Bedeutung ist.

Die so eingebetteten Zähne wurden dann mit einem Diamantsägeblatt (Dicke: 0,4 mm) in einer automatischen Säge (Vari Cut Saw VC-50, Fa. Leco, USA) in Richtung der Zahnängsachse durch die Füllungsmite getrennt. Als Kühlmittel wurde Wasser eingesetzt.

Zur Auswertung lagen so pro Zahn 4 Meßpunkte zur Beurteilung vor. Auf jeder Seite des Schnittes waren je ein Schmelzrand und ein Dentinrand zu beurteilen (Abbildung 15, Abbildung 16).

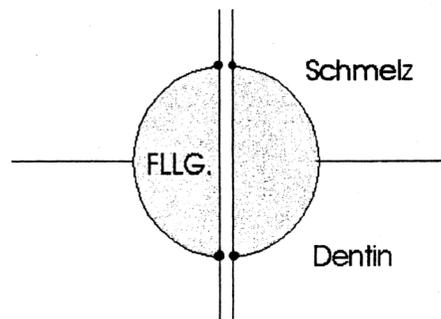


Abbildung 15: Schematische Darstellung der Lage der Meßpunkte in Aufsicht

Die Meßpunkte wurden im Aufrichtstereomikroskop (Zeiss Stemi SV 12, Fa Zeiss) bei 50facher Vergrößerung beurteilt.

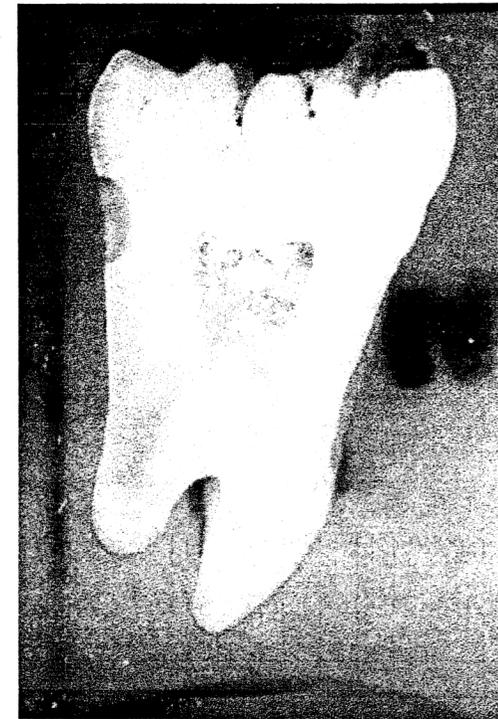


Abbildung 16: Schnittbild eines Zahnes mit zervikaler Füllung

Beim Beurteilungskriterium hinsichtlich der Randdichtigkeit wurden zwei Ausprägungen unterschieden:

- 1 sichtbare Farbstoffpenetration ($> 0,5$ mm) im Spalt zwischen Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz entsprach der Bewertung "undicht".
- 2 keine sichtbare Farbstoffpenetration entsprach der Bewertung "dicht".



Abbildung 17: Beispiel für Dentin, undicht; Schmelz, dicht

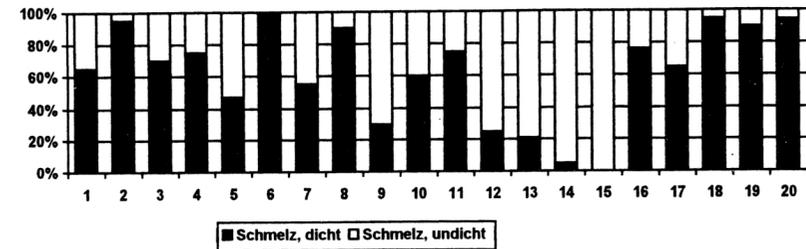


Abbildung 18: Beispiel für Dentin, dicht; Schmelz, undicht

4 Ergebnisse

4.1 Dichtigkeit im Schmelzbereich

Ergebnisse Dichtigkeit im Schmelzbereich



- | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 PSA® Primer I exp. | 2 PSA® Primer I exp. | 3 PSA® Primer I exp. | 4 PSA® Primer I exp. |
| 5 PSA® Primer I exp. | 6 PSA® Primer III 4/96 exp. | 7 PSA® Primer III 4/96 exp. | 8 SCA Liquid |
| 9 Syntac® Single Component | 10 Syntac® Single Component | 11 Prime & Bond 2.0® | 12 Tri cure® EXM 156 |
| 13 Tri cure® EXM 156 | 14 GC Dentin Cond.® | 15 Ketac Conditioner® | 16 PUB3®, Primer |
| 17 PUB 3® | 18 PUB 3® | 19 PUB 3® | 20 Syntac® |

Abbildung 19: Dichtigkeit im Schmelzbereich

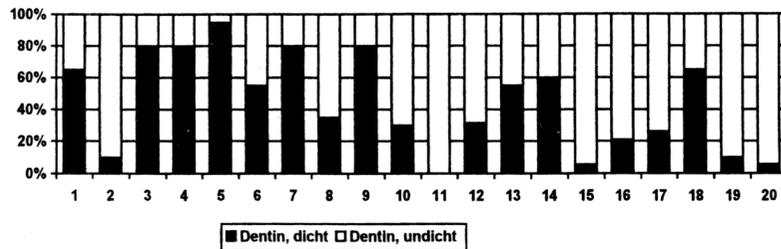
Den besten Randschluß im Schmelzbereich mit 100% dichten Meßpunkten erzielte die Gruppe 6 mit PSA® Primer III 4/96 exp. in Säure-Ätz-Technik.

Das zweitbeste Ergebnis zeigten PSA® Primer I exp und PUB 3® in Gruppe 2 und 18 mit 95% dichter Meßpunkte. Gruppe 20 mit Syntac® zeigte mit 94,4% dichter Meßpunkte im Schmelzbereich ein gutes Ergebnis. Die Gruppen 8 und 19 entsprechend den Materialien SCA Liquid® und PUB 3® konnten in 90% der Fälle einen dichten Schmelzrand aufweisen. Gruppe 16 erreicht mit dem Primer und Conditioner des PUB 3® Systems in 76,5% einen dichten Randschluß. Die Gruppen 11 und 4 konnten den Schmelzrand in 75% an den Meßpunkten abdichten. PSA® Primer I exp erzielte in der Gruppe 3 zu 70% Dichtigkeit im Schmelzbereich. PSA® Primer I exp und PUB 3® erreichte an den schmelzbegrenzten Kavitätenrändern der Gruppe 1 und 17 noch 65% Abdichtung. Gruppe 10 mit dem Dentinadhäsiv Syntac® Single Component dichtete 60% der Meßpunkte im Schmelzbereich ab. In der Gruppe 7 mit PSA® Primer III 4/96 exp. zeigten 55% der Fälle keine Farbstoffpenetration im Schmelz. Der PSA® Primer I exp der Gruppe 5 verhinderte

die Färbung des Randes an noch 47,4% aller Meßpunkte. In Gruppe 9 bei der Anwendung von Syntac® Single Component konnten 30% dichte Randmeßpunkte erreicht werden. Gruppe 12 und 13 mit Tri Cure EXM 156 Primer dichtet nur in 25% bzw. 21,1% den Schmelzrand erfolgreich gegen Farbstoffpenetration ab. Gruppe 14 unter Anwendung von GC Dentin Conditioner® zeigt nur noch in 5% am Schmelzrand eine erfolgreiche Abdichtung. In Gruppe 14 mit der Vorbehandlung durch Ketac Conditioner® war kein dichter Rand festzustellen.

4.2 Dichtigkeit im Dentinbereich

Ergebnisse Dichtigkeit im Dentinbereich



- | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 PSA® Primer I exp. | 2 PSA® Primer I exp. | 3 PSA® Primer I exp. | 4 PSA® Primer I exp. |
| 5 PSA® Primer I exp. | 6 PSA® Primer III 4/96 exp. | 7 PSA® Primer III 4/96 exp. | 8 SCA Liquid |
| 9 Syntac® Single Component | 10 Syntac® Single Component | 11 Prime & Bond 2.0® | 12 Tri cure® EXM 156 |
| 13 Tri cure® EXM 156 | 14 GC Dentin Cond.® | 15 Ketac Conditioner® | 16 PUB3® Primer |
| 17 PUB 3® | 18 PUB 3® | 19 PUB 3® | 20 Syntac® |

Abbildung 20: Dichtigkeit im Dentinbereich

Im Dentinbereich zeigte Gruppe 5 und PSA® Primer I exp das beste Ergebnis mit 94,7% farbstoffdichter Meßpunkte. Die Gruppen 3, 4, 7 und 9 entsprechend PSA® Primer I exp, PSA® Primer III 4/96 exp. und Syntac® Single Component erreichten 80% dichten Randschluß im Dentin. Gruppe 18 und 1, PUB 3® und PSA® Primer I exp konnten 65% der Meßpunkte erfolgreich abdichten. Die Gruppe 14 mit GC Dentin Conditioner® erzielte 60% dichten Randschluß. Die Gruppen 13 und 6 unter Anwendung der Materialien Tri Cure EXM 156 Primer und PSA® Primer III 4/96 exp. erreichten 55% farbstoffdichter Meßpunkte im Dentin. Gruppe 8, SCA Liquid® war in

35% der Fälle erfolgreich. Gruppe 12 mit Tri Cure EXM 156 Primer erlangte noch 31,6% dichte Meßpunkte an den Dentinrändern. Gruppe 10 und Syntac® Single Component dichtete 30% der im Dentin gelegenen Ränder ab. Gruppe 17 verhinderte in 26,3% der Fälle die Farbstoffpenetration. Der Primer des Adhäsivsystems PUB 3® in Gruppe 16 zeigte in noch 21,1% eine Abdichtung im Dentin. Das komplette Adhäsivsystem PUB 3® der Gruppe 19 dichtete wie der PSA® Primer I exp der Gruppe 2 in nur noch 10% der Fälle im Dentin ab. Die Gruppen 20 und 15 erlangten in 5,6% eine Abdichtung gegen den Farbstoff. Gruppe 11 mit Prime & Bond 2.0® konnte in keinem Fall eine erfolgreiche Abdichtung der dentinbegrenzten Kavitätenränder zeigen.

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstests, unterteilt in die Ergebnisse für Schmelz und Dentin jeweils in dicht, undicht und nicht auswertbar sowie der Summe aus Schmelz und Dentin. In einer weiteren tabellarischen Übersicht werden die Ergebnisse in Prozenten der dichten Meßpunkte sowie der Summe aus Schmelz und Dentin gezeigt (Tabelle 6).

Gruppe	Dentinverbundsystem	Applikation	Füllungsmaterial	Lagerung 1	TWL	Lagerung2	Schmelz			Dentin			Summe dicht
							dicht	un- dicht	nicht aus wertb.	dicht	un- dicht	nicht aus wertb.	
1	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	24h	x	-	13	7		13	7		20
2	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl. SÄT	TPH®	24h	x	-	19	1		2	18		21
3	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	24h	x	3 Mon.	14	6		19	4		23
4	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	3 Mon.	x	-	15	5		16	4		21
5	PSA® Primer I exp, OBS	2x10s, härten, 2x appl.	Dyract® exp.	24h	x	-	9	10	1	18	1	1	21
6	PSA® Primer III 4/96 exp., OBS	2x10s härten, 2x appl. SÄT	TPH®	24h	x	-	20	0		11	9		21
7	PSA® Primer III 4/96 exp., OBS	2x10s härten, 2x appl.	Dyract® exp.	24h	x	-	11	9		10	4		24
8	SCA Liquid, OBS	lt. Herst.	Compoglass®	24h	x	-	18	2		7	13		25
9	Syntac® Single Component, OBS	lt. Herst.	Compoglass®	24h	x	-	6	14		16	4		21
10	Syntac® Single Component, OBS	lt. Herst. SÄT	Compoglass®	24h	x	-	12	8		6	14		21
11	Prime & Bond 2.0®, OBS	lt. Herst. SÄT	TPH spectrum®	24h	x	-	15	5		6	20		21
12	Tri cure® EXM 156 Primer, OBS	lt. Herst.	Tri Cure EXM 156 Glass Ionomer	24h	x	-	4	12	4	6	13	1	20
13	Tri cure® EXM 156 Primer, OBS	lt. Herst.	Tri Cure EXM 156 Glass Ionomer	3 Mon.	x	-	4	15	1	11	9		25
14	GC Dentin Conditioner®, KOND	lt. Herst.	Fuji II LC	24h	x	-	1	19		12	8		21
15	Ketac Conditioner®, KOND	lt. Herst.	Photac Fil Aplicap®	24h	x	-	0	18	2	1	17	2	21
16	PUB3®, Primer, KOND	lt. Herst.	Vari Glass®	24h	x	-	13	4	3	4	16	1	21
17	PUB 3®, MS	lt. Herst.	Dyract® exp.	24h	x	-	13	7		5	14	1	21
18	PUB 3®, MS	lt. Herst.	Dyract® exp.	24h	x	3 Mon.	19	1		13	7		27
19	PUB 3®, MS	lt. Herst. SÄT	TPH®	24h	x	-	18	2		2	18		25
20	Syntac®, MS	lt. Herst. SÄT	Tetric®	24h	x	-	17	1	2	1	17	2	21

Tabelle 5: Ergebnisse der Farbstoffpenetration

Gruppe	Dentinverbundsystem	Applikation	Füllungsmaterial	Lagerung 1	TWL	Lagerung2	Schmelz Dicht	Dentin dicht	Summe
1	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	24h	x	-	65	65	65
2	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl. SÄT	TPH®	24h	x	-	95	10	62,5
3	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	24h	x	3 Mon.	70	80	75
4	PSA® Primer I exp, OBS	20s, härten 1xappl.	Dyract® exp.	3 Mon.	x	-	75	80	77,5
5	PSA® Primer I exp, OBS	2x10s, härten, 2x appl.	Dyract® exp.	24h	x	-	47,36	94,73	71,04
6	PSA® Primer III 4/96 exp., OBS	2x10s härten, 2x appl. SÄT	TPH®	24h	x	-	100	55	77,5
7	PSA® Primer III 4/96 exp., OBS	2x10s härten, 2x appl.	Dyract® exp.	24h	x	-	55	80	67,5
8	SCA Liquid, OBS	lt. Herst.	Compoglass®	24h	x	-	90	35	62,5
9	Syntac® Single Component, OBS	lt. Herst.	Compoglass®	24h	x	-	30	80	55
10	Syntac® Single Component, OBS	lt. Herst. SÄT	Compoglass®	24h	x	-	60	30	45
11	Prime & Bond 2.0®, OBS	lt. Herst. SÄT	TPH spectrum®	24h	x	-	75	0	37,5
12	Tri cure® EXM 156 Primer, OBS	lt. Herst.	Tri Cure EXM 156 Glass Ionomer	24h	x	-	25	31,57	28,37
13	Tri cure® EXM 156 Primer, OBS	lt. Herst.	Tri Cure EXM 156 Glass Ionomer	3 Mon.	x	-	21,05	55	38,03
14	GC Dentin Conditioner® KOND	lt. Herst.	Fuji II LC	24h	x	-	5	60	32,5
15	Ketac Conditioner®, KOND	lt. Herst.	Photac Fil Aplicap®	24h	x	-	0	5,55	2,77
16	PUB3®, Primer, KOND	lt. Herst.	Vari Glass®	24h	x	-	76,47	21,05	48,76
17	PUB 3®, MS	lt. Herst.	Dyract® exp.	24h	x	-	65	26,31	45,63
18	PUB 3®, MS	lt. Herst.	Dyract® exp.	24h	x	3 Mon.	95	65	80
19	PUB 3®, MS	lt. Herst. SÄT	TPH®	24h	x	-	90	10	60
20	Syntac®, MS	lt. Herst. SÄT	Tetric®	24h	x	-	94,44	5,55	49,99

Tabelle 6: Ergebnisse der Farbstoffpenetration in Prozent der bewertbaren Meßpunkte

Zur besseren Verdeutlichung erfolgt die Darstellung der Gesamtergebnisse in Form eines Balkendiagrammes (Abbildung 21)

4.3 Verlustrate

Von insgesamt 200 Proben und 800 Meßpunkten kamen 779 zur Auswertung. Der Anteil nicht auswertbarer Meßpunkte im Schmelzbereich lag bei 13, im Dentin bei 8. In der Gruppe 5 kamen im Schmelz und im Dentin je ein Meßpunkt nicht zur Auswertung. In der Gruppe 12 war die Gesamtzahl von 5 nicht auszuwertenden Punkten davon vier im Schmelz und einem im Dentin am höchsten.

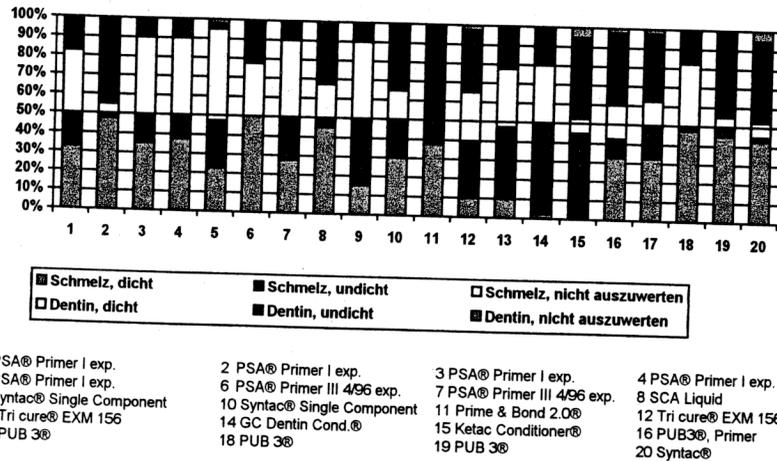
In der Gruppe 13 war im Schmelz, bei Gruppe 17 im Dentin ein Punkt, nicht zu bewerten.

In Gruppe 15 und 20 waren an beiden Randbereichen je zwei nicht bewertbare Meßpunkte.

Bei der Gruppe 16 traten im Schmelz 3, im Dentin 1 fehlerhafte Meßpunkte auf.

Gründe für die eingeschränkte Verwertbarkeit einzelner Meßpunkte waren Blasenbildungen am Füllungsrand, starke Farbstoffpenetrationen in das Füllungsmaterial oder exzentrisch gelegene Schnittstellen durch die Kavität.

Ergebnisse der Farbstoffpenetration in Prozent



- | | | | |
|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------|
| 1 PSA® Primer I exp. | 2 PSA® Primer I exp. | 3 PSA® Primer I exp. | 4 PSA® Primer I exp. |
| 5 PSA® Primer I exp. | 6 PSA® Primer III 4/96 exp. | 7 PSA® Primer III 4/96 exp. | 8 SCA Liquid |
| 9 Syntac® Single Component | 10 Syntac® Single Component | 11 Prime & Bond 2.0® | 12 Tri cure® EXM 156 |
| 13 Tri cure® EXM 156 | 14 GC Dentin Cond.® | 15 Ketac Conditioner® | 16 PUB3®, Primer |
| 17 PUB 3® | 18 PUB 3® | 19 PUB 3® | 20 Syntac® |

Abbildung 21: Ergebnisse der Farbstoffpenetration in Prozent

Um eine Gesamtbeurteilung der Proben zu gestatten folgt eine grafische Darstellung der Prozent an farbstoffdichter Meßpunkte der einzelnen Gruppen (Abbildung 22).

4.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte, entsprechend dem experimentellen Charakter der Studie, mit der Vierfeldertafel nach Fisher. Das Signifikanzniveau wurde bei $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Bei der statistischen Auswertung zeigten sich signifikante Unterschiede zwischen dem Randschluß in Schmelz und Dentin. Bei den Gruppen 2, 6, 8, 11, 16, 17, 18, 19 und 20 war der Anteil dichten Randes im Schmelz signifikant höher. Die Resultate der Gruppen 5, 9, 13 und 14 zeigten einen signifikant besseren Abschluß im Dentin. Bei den restlichen Gruppen 1, 3, 4, 7, 10, 12 und 15 konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

Summe farbstoffdichter Messpunkte in Prozent

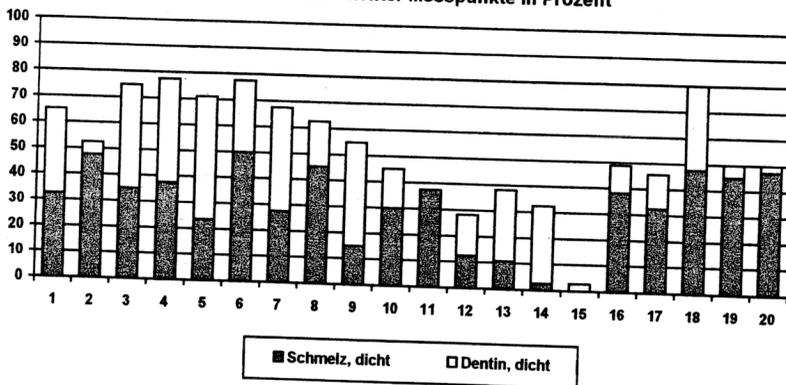


Abbildung 22: Summe farbstoffdichter Meßpunkte in Prozenten

Im direkten Vergleich der 3 Monate gelagerten Proben zeigte sich zwischen den Gruppen 3 und 4 kein signifikanter Unterschied im Schmelz oder Dentin. Die Gruppe 3 im Vergleich zur Gruppe 18 zeigte ebenfalls keine signifikant unterschiedlichen Werte.

Die Gruppe 4, verglichen mit der Gruppe 13, zeigte im Schmelz jedoch statistisch signifikante Unterschiede mit der Tendenz, im Schmelzbereich besser abzuschneiden.

Nahezu alle unter Anwendung der Säure-Ätz-Technik gefüllten Gruppen zeigten einen signifikanten Unterschied zwischen Schmelz und Dentin mit der Tendenz, eine besseren Abdichtung im Schmelzbereich zu erlangen.

Die genauen Vergleiche der Gruppen zueinander, unterteilt in Schmelz und Dentin, sind der jeweiligen Tabelle im Anhang zu entnehmen.

5 Diskussion

Die Hauptaufgabe eines Dentinadhäsivsystems muß der dauerhafte Verbund und bakteriendichte Verschluss des Spaltes zwischen Kavitätenwand und Füllungsmaterial sein. Durch diese In-vitro-Untersuchung mit dem Ziel, eine Mikroleckage am Füllungsrand durch Farbstoffpenetration zu zeigen, soll versucht werden, Tendenzen in der Randspaltbildung verschiedener Materialien nachzuweisen.

Ziele dieser Untersuchung waren den Einfluß verschiedener Faktoren wie, der Anwendung der Säure-Ätz-Technik oder der Wasserlagerung zur evaluieren, sowie eine den Materialeigenschaften entsprechende Untersuchungsmethode zu entwickeln.

Als Vergleichsgruppen wurden ein etabliertes Komposit-Dentinadhäsivsystem sowie alternative neue Systeme gewählt.

5.1 Dichtigkeit der Dentinadhäsive

In verschiedenen Studien konnte gezeigt werden, daß ein Verbund von Füllungsmaterialien am Dentin mit Hilfe von Dentinadhäsivsystemen möglich ist (71, 131).

Durch den in allen der getesteten Füllungsmaterialien enthaltenen Monomeranteil kommt es bei der Polymerisation zur Polymerisationsschrumpfung (7, 91, 20, 102, 134). Durch den "flow" der Füllungsmaterialien während der Aushärtungsphase wird initial der Verbund zu den Zahnoberflächen aufrechterhalten. Sobald dieser Ausgleich durch die zunehmende Verfestigung zwischen den Polymerketten nicht mehr möglich ist kommt es, auch in Abhängigkeit zu den gebundenen Füllungsoberflächen (56), zu einem steilen Anstieg der Kontraktionsspannungen (21, 40).

Dentinhaftsysteme müssen daher den Verbund zum Schmelz und zum Dentin gegen die Kräfte der Polymerisationsschrumpfung des zugehörigen Werkstoffes

aufrechterhalten um einen randdichten Verschluss der Kavität zu gewährleisten (40, 66, 97, 102).

Als Kompensationsmechanismen haben Einfluß:

- E-Modul der Verbundschicht
- E-Modul des Füllungswerkstoffes
- Dehngrenze des Füllungswerkstoffes
- Dehngrenze der Verbundschicht

Reichen diese Mechanismen nicht aus, ist der Abriß des Verbundes zur Zahnhartsubstanz zu erwarten. Es kommt zur Randspaltbildung. Die Leistungsfähigkeit eines Dentinverbundsystemes zeigt sich also in der Verhinderung einer Spaltbildung am dentinbegrenzten Füllungsrand (134).

Bei der Betrachtung der Summe der farbstoffdichten Meßpunkte (Tabelle 6, Abbildung 22) wird deutlich, daß, wie auch in anderen Studien (9, 12, 27, 62, 131, 132, 134, 82), kein Adhäsivsystem eine völlige Abdichtung des gesamten Kavitätenrandes am Interface zwischen Füllungsmaterial und Zahnhartsubstanz erreichen konnte.

Offensichtlich überschreitet bei allen Systemen das Ausmaß der Polymerisationsschrumpfung zumindest an einzelnen Bereichen die Kompensationsmechanismen bzw. war die Adaptation / Benetzung mangelhaft.

Das Ausmaß dieser Schrumpfung ist in den Bereichen ohne Haftung an den begrenzenden Strukturen am höchsten und es kommt zur Ausbildung eines Randspaltes (9). Bereiche mit sehr guter Haftung zeigen also nur geringe Randundichtigkeiten, Bereiche mit schlechter Haftung zeigen maximale Randundichtigkeiten.

Die einzelnen Systeme zeigen meist eine deutliche Tendenz der Randspaltbildung entweder am Schmelz oder Dentin, ein gleichmäßig gutes Ergebnis im Schmelz und Dentin konnte selten erreicht werden.

So ist zu erkennen, daß die reinen Kompositmaterialien der Gruppen 2, 6, 11, 19 und 20, unabhängig vom verwendeten Dentinhaftsystem, einen deutlich besseren

Verbund zum Schmelz als zum Dentinbereich aufwiesen (siehe 5.1.1 Einfluß der Anwendung von Säure-Ätz-Technik).

In der Klasse der One-Bottle-Systeme der Gruppen 1-12 kann man feststellen, daß im allgemeinen die Vorbehandlung mit den PSA® Primer I exp. und PSA® Primer III 4/96 exp. Adhäsiven ohne Säure-Ätz-Technik zu der gleichmäßigsten Verteilung dichter Randbereiche im Schmelz und Dentin, sowie der höchsten Anzahl an dichten Meßpunkten insgesamt führte. Dieses Ergebnis stimmt mit vergleichbaren Studien überein (9).

Die Unterschiede zwischen den beiden Zahnhartsubstanzen fielen in den Gruppen 1, 3, 4 und 7 am geringsten aus. Die doch erhebliche Differenz zu der Gruppe 5 könnte als Resultat der Auswertungssystematik interpretiert werden. Da die Summe der randdichten Meßpunkte dieser Gruppen zueinander keine starke Schwankung erkennen läßt kann man folgern das bei der Gruppe 5 die Kompensation der Schrumpfung ähnlich gleichmäßig wie in den Gruppen 1,3,4 und 7 war.

Die Verbesserung der Abdichtung zwischen den Gruppen 1 und 5 könnte auf eine höhere Resilienz der Verbundschicht durch die zweimalige Applikation zurückzuführen sein. Diese Interpretation ergab sich auch aus den Resultaten einer Untersuchung über die Veränderung der Scherfestigkeit nach zweimaliger Adhäsivaufbringung (16) sowie einer Studie zur marginalen Randadaptation (102).

Durch die Polymerisationsschrumpfung ergibt sich eine konstante Neigung zur Randspaltbildung. Die Variationen der Gruppen 1, 3, 4, 5 und 7 konnten zu keiner überzeugenden Verbesserung dieser Situation führen. Lediglich die Wasserlagerung steigerte die Summe dichter Meßpunkte (siehe 5.1.2 Einfluß der Wasserlagerung).

Derzeit scheinen die Primer PSA® Primer I exp. und PSA® Primer III 4/96 exp., wie auch in anderen Untersuchungen nachgewiesen (9, 92, 149), tendenziell im Dentin besser abzuschneiden.

Die Vorbehandlung mit dem Syntac® Single Component System scheint im Vergleich zur Vorbehandlung mit SCA Liquid® zu einer Verbesserung der Haftung im Dentin zu führen. Auch hier geht dieser verbesserte Verbund jedoch mit einer

Verschlechterung am Schmelzrand einher. Man kann daher vermuten, daß die Formulierung des Syntac® Single Component Systems primär die Haftung am Dentin begünstigt. Dadurch ließe sich auch die deutliche Umkehr des Ergebnisses bei der Anwendung der Säure-Ätz-Technik erklären. Tendenziell scheinen die beiden Systeme SCA Liquid® und Syntac® Single Component bei dieser Art der Untersuchung mittels Farbstoffpenetration einen etwas schlechteren Dentinverbund als die PSA Systeme zu erreichen.

Dieses Resultat stimmt mit den Ergebnissen einer qualitativen Studie zur Schichtdicke von Adhäsivsystemen überein (69). Hierbei zeigte sich, daß SCA Liquid® nur eine relativ dünne Adhäsivschicht auf der Dentinoberfläche bildet. Im Sinne der Kompensationsmechanismen kann von einer dünnen Schicht keine so große Elastizität erwartet werden (155).

Das schlechte Resultat der mit Tri Cure® EXM 156 Primer vorbehandelten Gruppen kann möglicherweise durch eine besonders ausgeprägte Hydrophilie des Systems schon in der initialen Phase des Abbindevorgangs erklärt werden (siehe 5.1.3 Qualitative Randanalyse durch Farbstoffpenetration). Nach den Angaben des Herstellers, liegen hier drei verschiedene Abbindereaktionen zugrunde. Möglicherweise ist eine starke Schrumpfung und eine verringerte Dehngrenze der Materialien für dieses Resultat mitverantwortlich. Auch die Lagerung für drei Monate in Wasser vor Thermocycling führte zu keiner signifikanten Veränderung der Randabdichtung gegenüber dem Farbstoff.

Die Gruppen der mit Dentinkonditionierern vorbehandelten Kavitäten zeigten kein völlig einheitliches Ergebnis. Die Applikation lichthärtender Glasionomerzemente nach der Dentinkonditionierung mit dem entsprechenden Conditioner erlangte nur mäßige Ergebnisse. Bei der Gruppe 14 zeigte sich jedoch eine deutlich bessere Abdichtung im Dentinbereich in der Summe etwa den Resultaten der Gruppe 12 und 13 entsprechend. Dieses Resultat von Fuji II LC® wurde auch in einer Untersuchung bezüglich der Tiefenpenetration von Farbstoff entlang einer Klasse-V-Kavität gezeigt (9).

Dies könnte ein weiterer Hinweis auf eine Problematik von stark hydrophilen Materialien bei der Beurteilung mittels Farbstoffpenetration sein (siehe 5.1.3 Qualitative Randanalyse durch Farbstoffpenetration).

Auffällig war jedoch das relativ gute Ergebnis der Gruppe 16 mit der alleinigen Applikation des Primers von PUB 3®. Hier zeigt sich, welchen Einfluß die Applikation von Haftvermittlern bzw. Primern der Klasse der Multi-step-Dentinhaftsyste me allein auf die Randabdichtung von kunststoffmodifizierten Glasionomerzementen haben könnte. Offensichtlich bewirkt die Imprägnierung der Dentinschicht bereits eine deutlich bessere Anhaftung der Kunststoffanteile des Füllungsmaterials.

Das Dentinadhäsiv PUB 3® in Verbindung mit dem Kompomer Dyract® in der Gruppe 17 bestätigt diese Annahme. Auch hier zeigt die Applikation eines Adhäsives eine wirksame Abdichtung in etwa der Hälfte aller Fälle mit einer ähnlichen Verteilung auf Schmelz und Dentin.

Der Vergleich des PUB 3® Systems mit dem PSA® Primer I exp in der Gruppe 1 konnte jedoch keine wesentlichen Unterschiede in der Verhinderung der Farbstoffpenetration im Schmelzanteil zeigen. Im Dentinanteil war das Resultat des PUB 3® wesentlich schlechter, was der Tendenz zu einer guten Randständigkeit des PSA® Primer I exp. im Dentin entspricht.

5.1.1 Einfluß der Anwendung von Säure-Ätz-Technik

Bei Beurteilung der Gruppen mit Säure-Ätz-Technik (Gruppen 2, 6, 10, 11, 19 und 20) ist in Relation zu den vergleichbaren ohne zusätzliche Schmelzkonditionierung versorgten Kavitäten der Gruppen 1, 7, 9 und 17 ein deutlicher Trend zu einer wesentlich besseren Abdichtung im Schmelzbereich gegenüber dem Dentinbereich zu erkennen.

Diese Verbesserung der Schmelzhaftung durch die Säure-Ätz-Technik im Vergleich zur Dentinhaftung bei gemischten Klasse-V-Kavitäten stimmt mit den Ergebnissen

anderer Untersucher überein (3, 10, 27, 72, 91, 111, 134, 163). Es konnte mehrfach nachgewiesen werden, daß die Ausbildung von Mikroleckage, an konditionierten Schmelzrändern deutlich reduziert (9, 62, 95) oder sogar eliminiert war (38, 55, 81, 87, 88, 105).

Grund für diese Beobachtung ist, gemäß der Interpretation eines dichten Randes als den erfolgreichen Verbund gegenüber der Kontraktionsspannung, eine wesentlich bessere Haftung des Füllungsmaterials am Schmelz.

Dadurch läßt sich ebenfalls erklären, weshalb in den genannten Gruppen die Farbstoffpenetration am Dentinrand deutlich erhöht wurde. Die gute Bindung des Füllungsmaterials an den Schmelz durch die Mikroretention des Verbundsystems bei der Säure-Ätz-Technik, führt, da die Schrumpfung des Füllungswerkstoffes gleich bleibt, zu der Schrumpfung des Materials in Richtung Schmelzpol (Abbildung 23). Es resultiert der eindeutige Verbundverlust am Dentinrand.

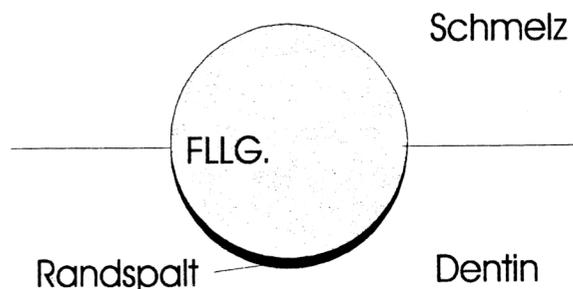


Abbildung 23: Ausrichtung der Kontraktionsschrumpfung bei Säure-Ätz-Technik

Dieses Resultat war nicht nur, wie vielfach bestätigt, bei der Anwendung von Kompositen (3, 9, 134), sondern auch bei der Verwendung des PSA® Primer I exp., sowie bei der Applikation von Syntac® Single Component in Verbindung mit einem Füllungsmaterial der Klasse der Kompomere zu erkennen. Dieses Resultat korreliert mit anderen Untersuchungen ähnlicher Zielsetzung (9, 10, 33, 133, 162).

Zu klären bleibt deshalb, wie auch schon in anderen Studien angeregt (33, 133, 162), ob die Empfehlung für Kompomere und Ihre Dentinverbundsysteme in rein schmelzbegrenzten Kavitäten, routinemäßig mit der Säure-Ätz-Technik zu arbeiten, zu einer generellen Verbesserung der Randständigkeit bei diesen Defekten führen kann.

Im Umkehrschluß sollte erörtert werden, ob bei der Applikation von Füllungen in dentinbegrenzten Kavitäten nicht auch bei Kompositmaterialien im Sinne einer ausgeglichenen bzw. verringerten Polbildung bei Verzicht auf die Säure-Ätz-Technik der Dentinverbund verbessert werden könnte.

5.1.2 Einfluß der Wasserlagerung

Den Gruppen 1, 12 und 17 wurden in Dentinvorbehandlung und Füllungsart identische Gruppen, welche jedoch vor der Auswertung zusätzlich drei Monate in Ringerlösung gelagert wurden, gegenübergestellt.

Die Gruppen 3 und 4 sollten zusätzlich klären, ob der Zeitpunkt der thermischen Wechselbelastung einen Einfluß auf die Ausbildung eines Randspaltes hat.

Beim Vergleich der, mit dem Dentinadhäsiv PSA® Primer I exp vorbehandelten, Gruppen 1 gegen 4, ist zu erkennen, daß eine dreimonatige Lagerung in Ringerlösung mit einer Verbesserung der Randschlüssigkeit einhergeht. Ein eindeutiger Unterschied zwischen der Wasserlagerung vor oder nach der thermischen Wechselbelastung ist nicht festzustellen.

Auch bei den mit Tri Cure® EXM 156 Primer vorbehandelten Gruppen 12 und 13 zeigt sich eine Zunahme an farbstoffdichten Meßpunkten nach drei Monaten.

Die Gruppe 18 läßt nach drei Monaten Lagerung ebenfalls eine bessere Abdichtung als die vergleichbare Gruppe 17 erkennen.

Diese Ergebnisse können entweder durch das applizierte Dentinverbundsystem oder auch das verwendete Füllungsmaterial zu erklären sein. In verschiedenen Studien konnte bereits belegt werden, daß unterschiedliche Füllungsmaterialien bei einer längeren Wasserlagerung eine Volumenzunahme erfahren (134, 25). Dadurch

wird die bei der Polymerisation auftretende Schrumpfung der Füllungswerkstoffe zum Teil kompensiert (91, 134). Andererseits wurde auch nachgewiesen, daß nach der Volumenzunahme auf lange Frist auch eine hydrolytische Zersetzung der Verbundschicht mit einer Verringerung der Randqualität auftreten kann (79, 111, 145).

Es ist denkbar, daß der in den Dentinverbundsystemen vorhandene Kunststoffanteil bei der Lagerung in Wasser einer Expansion im Sinne der Volumenzunahme bei Kompositen (57) unterliegt. Dies könnte zu einer verminderten Farbstoffpenetration im Randbereich führen. Da verschiedene Systeme eine zweimalige Applikation des Dentinadhäsives vorschreiben, wäre es möglich, daß insbesondere hierbei dieser Effekt zu tragen kommt.

Weiter ist daran zu denken, wie bereits in anderen Untersuchungen gezeigt (11, 25, 58), daß auch die kunststoffmodifizierten Glasionomere und Komomere durch ihren Kunststoffanteil eine relevante Wasseraufnahme erfahren.

Ergebnisse anderer Studien zeigen, daß nicht nur dem Dentinhaftsystem sondern auch dem Füllungswerkstoff eine große Wertigkeit bei der Vermeidung von Randspalten zuzuordnen ist (68, 130).

Nach In-vitro-Studien von Proben, welche bis zu einem Jahr gelagert waren, zeigten sich an der Schmelzgrenze keinerlei Ausquellungen von Kunststoffen. Im Dentinbereich dagegen traten deutliche Ausquellungen auf (145).

Aufgrund dieser Beobachtungen und der Feststellung, daß bei allen untersuchten Gruppen auch eine Verbesserung der Schmelzrandabdichtung auftrat läßt sich schlußfolgern, daß der Effekt einer Quellung des Füllungsmaterials für eine verbesserte Abdichtung lokalisiert großen Einfluß haben kann.

Zusammenfassend läßt sich daher sagen, daß die Quellung des Dentinadhäsiv-Füllungssystems wie das hier untersuchte System PSA® Primer-Dyract® einen zweistufigen Abdichteffekt zeigt.

Durch eine schnelle Quellung des Primers kommt es zu einer schnellen Abdichtung des Kavitätenrandes. Die etwas langsamer einsetzende Quellung des Füllmaterials verstärkt zusätzlich die Abdichtung nach einem weiteren Zeitraum.

Denkbar ist bei dieser Konzeption eines Füllmaterials jedoch die Problematik, wo durch eine starke Quellung bei größeren Füllungen beispielsweise im Klasse 2 Bereich, Frakturen in stark geschwächten Zahnbereichen auftreten könnten.

5.1.3 Qualitative Randanalyse durch Farbstoffpenetration

Ein großes Problem bei der Bewertung dieser Untersuchungsergebnisse liegt in der Hydrophilie der zu evaluierenden Dentinverbundsysteme und Füllungsmaterialien (92, 42).

In einer Untersuchung über den Wassergehalt verschiedener Füllungsmaterialien (11) konnte gezeigt werden, daß die Materialien Photac Fil®, Fuji II LC® und Vari Glass® VLC einen eindeutig höheren Wasseranteil als Dyract beinhalten. Es ist möglich, daß bei dem gewählten Procedere eine Diffusion des Farbstoffes in das Füllungsmaterial selbst stattfindet und eine eindeutige Differenzierung zu einer Randspaltdiffusion nicht stattfinden kann (92) (Abbildung 24).



Abbildung 24: Gleichmäßig eingefärbte Füllungs Oberfläche bei hydrophilem Füllungsmaterial

Dadurch könnte zwar das besonders schlechte Ergebnis der mit Photac Fil® restaurierten Gruppe hinterfragt werden, nicht aber das im Dentin durchaus akzeptable Resultat der mit Fuji II LC® versorgten Kavitäten.

In einer Untersuchung über die Scherfestigkeit von Dyract®, Fuji II LC® und Compoglass® konnte im Gegensatz zu zahlreichen anderen Studien kein signifikanter Unterschied in der Festigkeit der Dentinhaftung aller Materialien festgestellt werden (71). Diese Studie würde deshalb die These einer Farbstoffpenetration in die hydrophilen Materialien und Haftvermittler und nicht per Randspalt stützen.

Die gute Abdichtung im Schmelzbereich der Gruppe 16 mit dem Primer des Prisma Universal Bond 3® kann dann die Wirkung eines Primers als Schmelzconditionierer bestätigen. Zusätzlich muß beachtet werden, daß in dieser Untersuchung ebenfalls hydrophile Dentinhaftvermittler angewandt wurden. Eine Reaktion des Farbstoffes

mit diesen Dentinhaftvermittlern ist durchaus denkbar und möglich. Auf diese Problematik wurde auch in vergleichbaren Untersuchungen bereits hingewiesen (9).

Farbstoffpenetrationsversuche wurden jedoch auch an Goldgußrestorationen durchgeführt und obwohl diese seit Jahrzehnten zu bewährten und zuverlässigen Füllungswerkstoffen gehören, konnten auch hierbei stets marginale Imperfektionen gezeigt werden (92, 141).

Durch Untersuchungen der letzten Zeit wurde zudem ein Effekt beobachtet, welcher als „nanoleakage“ bezeichnet wurde. Es konnte gezeigt werden, daß selbst bei intakten Randverhältnissen oder sehr geringer Randspaltbildung eine Penetration von Farbstoffen in den Dentinverbund stattfindet (138, 120). Inwiefern dieser Effekt bei den hier verwendeten Materialien zu tragen kommen kann, muß noch geklärt werden. Es ist jedoch durchaus vorstellbar, daß ein ähnliches Prinzip in der vorliegenden Studie zu falsch-positiven Aussagen führt.

5.1.4 Quantitative Auswertung

In dieser Studie wurde die Randqualität der Restaurationen mit Hilfe eines Farbstoffpenetrationstestes geprüft. Mit der durchgeführten Bestimmung der Häufigkeit von angefärbten Füllungsrandern wird eine Bewertung hinsichtlich des Vorliegens von Randimperfektionen, in welche Farbstoff eindringen kann, erfaßt (9, 141). Die Breite und Länge eines möglichen Randspaltes werden jedoch nicht bewertet, was aber für die Beurteilung eines Füllungsmaterials von Bedeutung ist (70, 91). Aussagen über die graduellen Ausprägungen der Randspalten sollten deshalb durch eine genauere qualitative Untersuchung unterstützt werden (70).

Da bei der in der vorliegenden Studie gewählten Auswertung nur jeweils 4 Meßpunkte pro Füllung erfaßt wurden, ist eine Beurteilung der Randverhältnisse nur eingeschränkt möglich. Faktoren wie Luftporen im Füllungsrandbereich oder Imperfektionen an nur wenigen Stellen des Restaurationsrandes (143, 158) können zu einer schlechten Bewertung des Materials führen. Manche Autoren fordern daher auch bei einer derartigen Studie die Analyse des gesamten Randbereiches (17, 70).

Diese Form der Klasse-V-Kavitäten zeigen als Besonderheit die Begrenzung jeweils zur Hälfte im Schmelz und Dentin, die aber stets getrennt ausgewertet werden sollten.

5.2 Klinische Relevanz, Vergleich in-vivo / in-vitro

In verschiedenen Untersuchungen wurde auf die Problematik der Übertragung von in-vitro Resultaten auf klinische Situationen hingewiesen (61, 122, 140). Einige Studien versuchten durch eine direkte Gegenüberstellung von Versuchsreihen beider Arten die Relationen der Ergebnisse zu klären und die Aussagekraft zu bewerten (1, 74).

Eine direkte Übereinstimmung zwischen einer Farbstoffpenetration bei In-vitro-Untersuchungen zu In-vivo-Resultaten konnte nicht festgestellt werden (54, 122, 108). Im Gegensatz dazu konnte beispielsweise die Übereinstimmung der Mikromorphologie von Adhäsivschichten mehrfach nachgewiesen werden (60, 78, 74, 94, 110, 116, 157). Generell zeigte sich dabei jedoch eine wesentlich stärkere Ausbildung von Randimperfectionen bei In-vitro-Proben (54, 122, 108).

Die Ergebnisse an exkavierten Dentin können nicht ohne weiteres auch auf die Versorgung keilförmiger Defekte oder sklerotisch verändertem Dentin übertragen werden. Es konnte bereits gezeigt werden, daß hier ein Unterschied in der Effizienz der Dentinhaftvermittler vorliegt (152). Dentin-Bonding-Agents zeigen bei sklerotischem Dentin schlechtere Resultate, während Glasionomerzemente eher bessere Haftwerte aufwiesen.

Der unter 5.1.2 diskutierte Effekt der Quellung kann in dieser Untersuchung zu einem besonders guten Resultat geführt haben.

Die im Versuch gewählte Kavitätenform mit ihrem eher zylindrischen Desing kann für die Verbesserung des Randschlusses am Kavitätenrand als nahezu ideal betrachtet werden, da hierbei das Füllungsmaterial förmlich gegen die Defektwand gepreßt wird.

Problematischer erscheint es, diesen Effekt an eher wannen- oder, den in der Klasse V häufig auftretenden, keilförmigen Defekten ohne mechanische Retention zu erzielen.

Auch klinische Untersuchungen in unserem Haus haben die Quellung des Füllungsmaterials Dyract bestätigt (64).

5.3 Schlußfolgerung

In dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, welche Faktoren deutlich zu einer Verringerung einer Randspaltbildung an gemischten Klasse-V-Kavitäten beitragen können und daß die modifizierte Farbstoffpenetration eine tendenzielle Beurteilung der Randdichtigkeit von Klasse V Kavitäten gestattet.

Die Konditionierung von Schmelzrändern zeigte einen überzeugenden Effekt auf die Verhinderung von Randspalten im Schmelz. Dies konnte jedoch nur mit der entsprechend verstärkten Ausbildung von Randimperfectionen am Dentinanteil dieser Füllungen kompensiert werden.

Eine längerfristige Lagerung von Kompomeren in Ringerlösung führt offensichtlich durch Quellung zu einer Verbesserung in der Randdichtigkeit an Schmelz und Dentin.

Die zweifache Applikation eines Dentinhaftvermittlers trägt zu einer Reduktion farbstoffdurchlässiger Randbereiche bei.

Daraus läßt sich ableiten, daß für die weitere Entwicklung effizienter Füllungssysteme eine gute Haftung, durch geringe Schrumpfung, Kompensation der durch Aushärtung bedingten Volumenschrumpfung mittels geeigneter Expansion, beispielsweise durch Wassereinlagerung im feuchten Milieu, sowie eine möglichst elastische Zahnhartsubstanz-Haftvermittler-Interdiffusionszone als Spannungspuffer („stressbreaker“) angestrebt werden sollten.

Ein wesentliches Resultat dieser Studie ist die Beobachtung, daß auch bei der Verwendung von Dentinhaftvermittlern und Kompomeren die Schmelzhaftung durch Säure-Ätz-Technik verbessert werden kann.

Genauere Untersuchungen sollten auch in Bezug auf eine Indikationsstellung für die Komomere in rein schmelzbegrenzten Defekten durchgeführt werden.

In Bezug auf Untersuchungsmethoden kann diese Analyse ein Hinweis auf die möglicherweise eingeschränkte Aussagekraft von konventionellen 24 h Farbstoffpenetrationsversuchen bei der Evaluation hydrophiler oder stark wasserhaltiger Dentinverbundsysteme und Füllungsmaterialien sein. Eine genauere Verifizierung der hier erlangten Resultate durch andere Untersuchungsformen wie etwa durch eine rasterelektronenmikroskopische Auswertung scheint deshalb unabdingbar.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie befaßt sich mit der Randdichtigkeit verschiedener Dentinadhäsivsysteme und ihrer dazugehöriger Füllungsmaterialien in standardisierten Klasse-V-Kavitäten. Als Dentinadhäsivsysteme kamen One-Bottle-Systeme, Multi-step-Systeme sowie reine Dentinkonditionierer zur Anwendung. Die entsprechenden Füllungsmaterialien waren Komomere, Komposite und kunststoffmodifizierte Glasionomerezemente. Der spaltfreie Verbund zu Schmelz und Dentin wurde mit Hilfe eines modifizierten Farbstoffpenetrationstestes überprüft und lichtmikroskopisch ausgewertet.

In den Ergebnissen zeigt sich, daß kein Material in der Lage war einen völlig dichten Randschluß zu gewährleisten. Zwar konnten gute Resultate besonders im Schmelz bei der Anwendung der Säure-Ätz-Technik oder im Dentin erreicht werden, eine gleichmäßige Abdichtung an beiden Grenzflächen gleichzeitig fand aber praktisch nicht statt.

In der Gruppe der Ein-Flaschen-Systeme und auch allgemein scheint die Materialkombination PSA® Primer/ Dyract® den gleichmäßigsten und höchsten Anteil dichten Rand zu erzielen. Eine zusätzliche drei Monate andauernde Lagerung dieser Materialien in Ringerlösung konnte den Anteil farbstoffdichter Meßpunkte weiter steigern, was den Rückschluß auf eine Quellung der Materialien durch Wasseraufnahme nahelegt.

Bei den Multi-step-Systemen zeigt sich eine Tendenz zur besseren Haftung im Schmelzbereich, was wohl auch auf die, zum Teil von den Herstellern empfohlene, Anwendung der Säure-Ätz-Technik zurückzuführen ist.

Die Klasse der reinen Dentinkonditionierer mit den entsprechenden Füllungsmaterialien zeigte im Schmelz mittlere bis schlechte Resultate, was teilweise auch ein Resultat der Porosität und ausgeprägten Hydrophilie dieser Materialien bei Anwendung von wasserlöslichen Farbstoffen sein kann.

Aus der vorliegenden Untersuchung lassen sich also verschiedene Empfehlungen ableiten.

Die zweimalige Applikation von PSA® Primer führt zu einer Verbesserung der Abdichtung einer mit Dyract® gefüllten Kavität im Farbstoffpenetrationstest. Es kann daher empfohlen werden grundsätzlich bei der Anwendung dieser Materialien mit einer zweimaligen Applikation des Dentinverbundsystems zu arbeiten.

Da die Konditionierung des Schmelzpool in einer gemischten Klasse-V-Kavität zu einer deutlichen Verbesserung der Abdichtung in diesem Bereich geführt hat sollten rein schmelzbegrenzte Kavitäten grundsätzlich unter Anwendung der Säure-Ätz-Technik restauriert werden.

Bei der Versorgung von gemischten Klasse-V-Kavitäten ist, im Sinne der Prävention von Randimperfectionen am stark bakterienbesiedelten und schwierig zu kontrollierenden Zervikalrand, eine Konditionierung der Schmelzränder im Sinne der Säure-Ätz-Technik eher zu vermeiden, um dadurch einem wirkungsvollem Dentinverbund möglichst wenig entgegenzusetzen.

Für die schnelle Evaluation von hydrophilen Dentinhaftsystemen oder Füllungsmaterialien ist die neu entwickelte Färbemethode besser geeignet als konventionelle Farbstoffpenetrationstests mit Farbstoffen in wässriger Lösung, da diese zu Ungenauigkeiten in der Auswertbarkeit führen können.

7 Literaturverzeichnis

1. *Abdalla, Al, Davidson, CL.*: Comparison of the marginal and axial wall integrity of In-vivo and In-vitro made adhesive class V restorations. *J Oral Rehabil* 20, 257-69 (1993)
2. *Abdalla, Al, Davidson, CL.*: Shear bond strength and microleakage of new dentin bonding systems. *Am J Dent* 6, 295-8 (1993)
3. *Airoidi, RL, Krejci, I, Lutz, F.*: In-vitro evaluation of dentinal bonding agents in mixed Class V cavity preparations. *Quintess Int* 23, 355-62 (1992)
4. *Al Dawood, A., Wennberg, A.*: Biocompatibility of dentin bonding agents. *Endod Dent Traumatol* 9, 1-7 (1993)
5. *Alex, TG.*: Advances in adhesive technology. *Curr Opin Cosmet Dent*, 69-74 (1995)
6. *Alhadainy, H., Abdallah, A.*: 2-year clinical evaluation of dentin bonding systems. *Am J Dent* 9, 77-79, (1996)
7. *Asmussen, E.*: Clinical relevance of physical, chemical, and bonding properties of composite resins. *Oper Dent* 10, 61-73 (1985)
8. *Attin, T., Vataschki, M., Hellwig, E.*: Properties of resin modified glass-ionomer restorative materials and two polyacid-modified resin composite materials. *Quintess Int* 27, 203-209 (1996)
9. *Attin, T., Vataschki, M., Kielbassa, A.M., Prinz, H., Hellwig, E.*: Randqualität von lichthärtenden Glasionomerzementen und Dyract® in keilförmigen Defekten, Klasse I und Klasse-V-Kavitäten. *Dtsch Zahnärztl Z* 51, 17-22 (1996)
10. *Attin, T., Buchalla, W., Hellwig, E.*: Influence of enamel conditioning on bond strength of resin-modified glass ionomer restorative materials and polyacid-modified composites. *J Prosthet Dent* 76, 29-33 (1996)
11. *Attin, T., Buchalla, W., Kielbassa, AM., Helwig, E.*: Curing shrinkage and volumetric changes of resin-modified glass ionomer restorative materials. *Dent Mater* 11, 359-62 (1995)
12. *Barkmeier, WW., Los, SA., Triolo, PT. Jr.*: Bond strengths and SEM evaluation of Clearfil Liner Bond 2. *Am J Dent* 8, 289-93 (1995)
13. *Barnes, DM., Blank, LW., Gingell, JC., Gilner, PP.*: A clinical evaluation of a resin-modified Glass ionomer restorative material. *J Am Dent Assoc*, 126, 1245-53 (1995)

14. *Barnes, DM., Thompson, VP., Blank, LW., McDonald, NJ.*: Microleakage of Class 5 composite resin restorations: a comparison between In-vivo and In-vitro. *Oper Dent* 18, 237-45 (1993)
15. *Bergenholtz, G., Cox, C.F., Loesche, W.J.*: Bacterial leakage around dental restorations: ist effect on the dental pulp. *J Oral Path* 11, 439-450 (1982)
16. *Bertschinger, C., Paul, S., Schärer, P.*: Dual applikation of dentin bonding agents: effect on bond strength. *Am J Dent* 9, 115-119 (1996)
17. *Blunck, U., Roulet, J.-F.*: In-vitro marginal quality of dentin-bonded composite resins in class V cavities. *Quintess Int* 20, 407-412 (1989)
18. *Blunck, U., Pohl, M., Dieker, A.*: Zeitpunkt der Extraktion und Lage der Kavität bei In-Vitro-Tests von Dentin Adhäsiven. *Dtsch Zahnärztl Z* 45, 639-42 (1990)
19. *Blunck, U., Roulet, J.-F.*: In-vitro margin analysis of new dentin adhesiv systems. *Dent Res* 72, Abst. No 1282 (1993)
20. *Boston, D.W., Kerzi, M.*: An improved techniqe for class V composite resin inlays. *Quintess Int* 24, 19-24 (1993)
21. *Bowen, R.L., Nemoto, K. Rapson, J.E.*: Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues, forces developing in composite materials during hardening. *J Am Dent Assoc* 106, 474 (1983)
22. *Brackett, WW., Gunnin, TD., Johnson, WW., Conkin, J.E.*: Microleakage of light-cured glass-ionomer restorative materials. *Quintess Int* 26, 583-585 (1995)
23. *Buonocore, MG.*: A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *Dent Res* 34, 849-853 (1955)
24. *Burger, KM., Cooley, RL., Garcia-Godoy, F.*: Effect of thermocycling times on dentin bond strength. *J Esthet Dent* 4, 197-198 (1992)
25. *Burgess, J.O., Barghi, N., Chan, D.C.N., Hummert, T.*: A comparative study of three glass ionomer base materials. *Am J Dent* 6, 137-141 (1993)
26. *Burke, F.J.T., McCaughey, A.D.*: The four generations of dentin bonding. *Am J Dent* 8, 88-92 (1995)
27. *Chan, KC., Denehy, GE., Swift, EJ.*: Microleakage of seven dentin bonding agents. *J Esthet Dent* 2, 159-161 (1990)
28. *Chan, KC., Swift, EJ. Jr.*: Marginal seal of new-generation dental bonding agents. *J Prosthet Dent* 72, 420-423 (1994)

29. *Chappell, R.P., Cobb, C.M., Spencer, P., Eick, J.D.*: Dentinal tubular anastomoses: a new factor in dentinal adhesive bonding. *J Dent Res* 78, 183-188 (1994)
30. *Charlton, DG., Moore, BK.*: In-vitro evaluation of two microleakage detection tests. *J Dent* 20, 55-58 (1992)
31. *Chiba, M., Itoh, K., Wakumoto, S.*: Effect of dentin clensers on the bonding efficacy of a dentin adhesive. *J Dent mater* 8, 76-85 (1989)
32. *Coli, P., Brannstrom, M.*: The marginal adaptation of four different bonding agents in Class II composite resin restorations applied in bulk or in two increments. *Quintess Int* 24, 583-591 (1993)
33. *Cortes, O., Garcia-Godoy, F., Boj, JR.*: Bond strength of resin-reinforced glass ionomer cements after enamel etching. *Am J Dent* 6, 299-301 (1993)
34. *Cox, CF.*: Evaluation and treatment of bacterial microleakage. *Am J Dent* 7, 293-295 (1994)
35. *Crim, G.A., Mattingly, S.*: Evaluation of two methods for assassing marginal leakage. *J Prosth Dent* 45, 160-163 (1981)
36. *Crim, G.A., Swartz, M.L., Phillips, R.*: Comparation of four thermocycling techniques. *J Prosth Dent* 53, 50-53 (1985)
37. *Crim, GA.*: Effect of aging on microleakage of restorative systems. *Am J Dent* 6, 192-194 (1993)
38. *Crim, GA.*: Marginal leakage of visible light-cured glass ionomer restorative materials. *J Prosthet Dent* 69, 561-563 (1993)
39. *Crim, GA.*: Prepolymerization of Gluma 4 sealer: effect on bonding. *Am J Dent* 3, 25-27 (1990)
40. *Davidson, C.L., De Gee, A.J., Feilzer, A.*: The competition between the composite dentin bond strength and the polimerization contraction stress. *J Dent Res* 63, 1396-1399 (1984)
41. *Davidson, C.L., Abdalla, A.I.*: Effect of occlusal load cycling on the marginal integrity of adhesive Class V restorations. *Am J Dent* 7, 111-114 (1994)
42. *Davidson, C.L., Abdalla, A.I., De-Gee, A.J.*: An investigation into the quality of dentine bonding systems for accomplishing a durable bond. *J Oral Rehabil* 20, 291-300 (1993)
43. *Davis, E.L., Wieczkowski, G. Jr., Yu, X.Y., Joynt, R.B., Gallo, J.*: Adhesion of dentin bonding agents after smear layer treatments. *Am J Dent* 5, 29-32 (1992)
44. *Denehy, G.E., Vargas, M.*: Class V restorations utilizing a new compomer material: a case presentation. *Pract Periodontics Aesthet Dent* 8, 269-275 (1996)

45. Dietschi, D., Maeder, M., Campanile, G., Holz, J.: Influence of a new experimental bonding agent on marginal seal of Class V restorations: an in-vitro study. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 1455-1460 (1992)
46. Dijkman, G., Jongebloed, W.L., de Vries, J., gaard, B., and Arends, J.: Closing of dentinal tubules by glutardialdehyde treatment, a scanning electron microscopy study. *Scand J Dent Res* 102, 144-150 (1994)
47. Dionysopoulos, P., Kotsanos, N., Koliniotou, Koubia, Papagodiannis, Y.: Secondary caries formation In-vitro around fluoride-releasing restorations. *Oper Dent* 19, 183-188 (1994)
48. Doerr, C., Hilton, T., Hermes, C.: Effect of thermocycling on the microleakage of conventional and resin -modified glass ionomers. *Am J Dent* 9, 19-21 (1996)
49. Dunne, S.M., Goolnik, J.S., Millar, B.J., Seddon, R.P.: Caries inhibition by a resin-modified and a conventional glass ionomer cement. In-vitro. *J Dent* 24, 91-4 (1996)
50. Eick, J.D., Robinson, Byerley, T.J., Chappelow, C.C.: Adhesives and nonshrinking dental Resins of the future. *Quintess Int* 24, 632-640 (1993).
51. Eick, J.D., Robinson, S.J., Chapell, R.P., Spencer, P.: The dentinal surface: Ist influence on dentinal adhesion. Part III. *Quintess Int* 24, 571-582 (1993)
52. Eick, J.D., Robinson, S.J., Chapell, R.P., Spencer, P.: The dentinal surface: Its influence on dentinal adhesion. Part II. *Quintess Int* 23, 43-51 (1993)
53. Eick, J.D., Cobb, C.M., Chappell, R.P., Spencer, P., Robinson, S.J.: The dentinal surface: its influence on dentinal adhesion. Part I. *Quintess Int* 22, 967-977 (1991)
54. Eliades, G.: Clinical relevance of the formulation and testing of dentine bonding systems. *J Dent* 22, 73-81 (1994)
55. Eriksen, H.P., Pears, G.: In-vitro caries relatet to marginal leakage around composite resin restaurations. *J Oral Rehabil* 5, 15-20 (1978)
56. Feilzer, A.J., De Gee, A.J., Davidson, C.L.: Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restauration. *J Dent Res* 66, 1636-1642 (1987)
57. 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)
58. Feilzer, A.J., Kakaboura, A.I., De Gee, A.J., Davidson, C.L.: The influence of water sorption on the development of setting shrinkage stress in traditional and resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater* 11, 186-190 (1995)

59. Felton, D.A., Bergholtz, G., and Cox, C.F.: Inhibition of bacterial growth under composite restorations following GLUMA pretreatment. *J Dent Res* 8, 491-495 (1989)
60. Ferrari, M.: The micromorphologic relationship between resin and dentin in Class V restorations: an In-vivo and In-vitro investigation. *Quintess Int* 25, 621-625 (1994)
61. Finger, J.W.: Dentin Bonding Agents. Relevance of In-vitro investigations. *Am J Dent* 1, 184-188 (1988)
62. Fitchie, J.G., Puckett, A.D., Hembree, J.H., Williams, M.: Evaluation of a new dentinal bonding system. *Quintess Int* 24, 65-70 (1993)
63. Fitchie, J.G., Reeves, G.W., Scarbrough, A.R., Hembree, J.H.: Microleakage of two new dentinal bonding systems. *Quintess Int* 21, 749-752 (1990)
64. Folwacny, M.: Vortrag auf der IADR Tagung, Orlando (1997)
65. Forsten, L.: Resin-modified glass ionomer cements: fluoride release and uptake. *Acta Odontol Scand* 53, 222-225 (1995)
66. Fortin, D., Swift, E.J. Jr., Denehy, G.E., Reinhardt, J.W.: Bond strength and microleakage of current dentin adhesives. *Dent Mater* 10, 253-258 (1994)
67. Friedl, K.H., Powers, J., Schmalz, G.: Der Komposit- Dentinverbund nach Anwendung von Dentinadhäsiv-Systemen. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 577-581, (1995)
68. Friedl, KH, Powers, JM, Hiller, KA.: Influence of different factors on bond strength of hybrid ionomers. *Oper Dent* 20, 74-80 (1995)
69. Fröhlich, M., Schneider, H., Merte, K.: Oberflächeninteraktionen von Dentin und Adhäsiv. *Dtsch Zahnärztl Z* 51, 173-176 (1996)
70. Gale, M.S., Darvell, B.W., Cheung, G.S.: Three-dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique. *J Dent* 22, 370-375 (1994)
71. Garcia-Godoy, F., Rodriguez, M., Barberia, E.: Dentin bond strength of fluoride releasing materials. *Am J Dent* 9, 80-82 (1996)
72. Gilmour, S.M., Edmunds, D.H., Dummer, P.M.: The production of secondary caries-like lesions on cavity walls and the assessment of microleakage using an In-vitro microbial caries system. *J Oral Rehabil* 17, 573-578 (1990)
73. Goracci, G., Mori, G., Bazzucchi, M., Casa-de'Martinis, L.: Dentinal adhesive with composite restorations: a clinical and microstructural evaluation. *Int J Prosthodont* 8, 548-556 (1995)

74. Gray, S.E., Burgess, J.O.: An In-vivo and in vitro comparison of two dentin bonding agents. *Dent Mater* 7, 161-165 (1991)
75. Grieve, A.R., Alani, A., Saunders, W.P.: The effects on the dental pulp of a composite resin and two dentine bonding agents and associated bacterial microleakage. *Int Endod J* 24, 108-118 (1991)
76. Gwinnett, A.J., Suan, Y.: Sher bond strenght, microleakage and Gap formation with fourth generation dentin bonding agents. *Am J Dent* 6, (1994)
77. Gwinnett, A.J.: Dentin bond strength after air drying and rewetting. *Am J Dent* 7, 144-148 (1994)
78. Gwinnett, A.J., Kanca, J.: 3d Micromorphological relationship between resin and dentin In-vivo and In-vitro. *Am J Dent* 5, 19-23 (1992)
79. Gwinnett, A.J., Yu, S.: Effect of long-term water storage on dentin bonding. *Am J Dent* 8, 109-111 (1995)
80. Gwinnett, J.A., Tay, F.R., Pang, K.M., Wei, S.H.: Comparison of three methods of critical evaluation of microleakage along restorative interfaces. *J Prosthet Dent* 74, 575-585 (1995)
81. Hall, L.H., Cochran, M.A., Swartz, M.L.: Class 5 composite resin restorations: margin configurations and the distance from the CEJ. *Oper-Dent* 18, 246-250 (1993)
82. Haller, B., Hofman, N., Klemen, J., Klaiber, B.: Er YAG- laserpräparation und Komposit Dentinhaftung In-vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 48, 707-712 (1993)
83. Haller, B., Hofmann, N., Klaiber, B., and Pfannkuch, A.: Beständigkeit des Komposit-Dentinverbundes bei künstlicher Alterung. *Dtsch Zahnärztl Z* 48, 100-104 (1993)
84. Haller, B.: Aktueller Stand der Komposit- Dentinhaftung. *Zahnärztl Mitt* 82, 93 (1992)
85. Haller, B.: Mechanismus und Wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern. *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 750-759 (1994)
86. Haller, B., Hofmann, N., Klaiber, B., Bloching, U.: Effect of storage media on microleakage of five dentin bonding agents. *Dent Mater* 9, 191-197 (1993)
87. Hallett, K.B., Garcia-Godoy, F.: Microleakage of resin-modified glass ionomer cement restorations: an In-vitro study. *Dent Mater* 9, 306-311 (1993)
88. Hanning, M., Kreuzkamp, H., Albers, H.K.: Zur Bedeutung der Wassertagerung für die marginale Adaptation von Kompositfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 595 (1994)
89. Hansen, S.E., Swift, E.J.: Microleakage with Gluma, effekts of unfilled resin polymerisation and storage time. *Am J Dent* 2, 266 (1989)

90. Hickel, R.: Der kariöse Zahnhals. *Dtsch Zahnärztl Z* 47, 654-658 (1992)
91. Hickel, R.: Die zervikale Füllung. *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 13-19 (1994)
92. Hildebrand, H.C., Schriever, A., Heidemann, D.: Randverhalten von zervikalen Füllungen mit Ketac Fil® und Dyract® an Permanentes und Decidui In-vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 787-789 (1995)
93. Hotz, P.R., Lussi, A.: Die Wurzelkaries. *Dtsch Zahnärztl Z* 51, 3, 138-143, (1996)
94. Jacobsen, T., Finger, W.J.: Morphology of coupling sites between bonding agents and dentine In-vivo and In-vitro. *J Dent* 21, 150-157 (1993)
95. Jensen, M.E., Chan, D.C.N.: Polymerization shrinkage and microleakage. *Posterior Composite Resin Dental Restorative Materials*. Minnesota Mining Co. 243-262 (1985)
96. Joynt, R.B., Davis, E.L., Wieczkowski, G., Yu, Y.Y.: Dentin bonding agents and the smear layer. *Operative Dent* 16, 186-191 (1991)
97. Kemp Scholte, C.M., Davidson, C.L.: Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite resin restaurations. *J Dent Res* 67, 841-845 (1988)
98. Kidd, E.A.M.: The caries status of tooth-coloured restaurations with marginal stain. *Brit Dent J* 171, 241-243 (1994).
99. Klimm, W., Buchmann, G., Domiok, R., Pöschmann, M., Koch, R.: Mikrobielle Randbesiedelung bei Klasse V Restaurationen In-vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 51, 90-95 (1996)
100. Kravixien, R., Jaochakarasiri, P., Nathanson, D.: Effect of aging on bond strength of dentin Adhesives In-vitro. *J Dent Res* 72, Abstr. Nr.1431 (1993)
101. Krejci, I., Sagässer, D., Lutz, F.: Optimierung der Dentinhaftung in gemischten Klasse-V-Kavitäten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102, 32-37 (1992)
102. Krejci, I., Lutz, F.: Marginal adaptation of Class V restorations using different restorative techniques. *J Dent* 19, 24-32 (1991)
103. Kullmann, W., Dasch, W.: Wuzeloberflächenkaries-Epidemiologie, Ätiologie und Behandlungsmöglichkeiten. *Zahnärztl. Prax* 42, 414 (1991)
104. Linde, A.: Dentin: Structure, chemisty and formation. In:Thylstrup, A., Leach, S. A., Quist, V.(eds.): *Dentine and Dentine Reactions in the Oral Cavity*. Oxford IRL Press (1987)
105. Linden, J., Swift, E.: Microleakage of two new dentin adhesives. *Am J Dent* 7, 31-34 (1994)
106. Lutz, F., Lüscher, B., Ochsenbein, H., Mühlemann, H.R.: *Adhäsive Zahnheilkunde*. Jurisverlag, Zürich, 32-51 (1976)

107. *Mandras, R.S., Retief, D.H., Russell, C.M.*: Quantitative microleakage of six dentin bonding systems. *Am J Dent* 6, 119-122 (1993)
108. *Mason, P.N., Ferrari, M., Cagidiaco, M.C., Davidson, C.*: Shear bond strength of four dentinal adhesives applied In-vivo and In-vitro. *J Dent Res* 24, 217-22 (1996).
109. *Maxpherson, L. M. D., Damato, F.A., Mac Farlane, T.W., Strang, R., Stephen, K.W.*: Variation in the susceptibility of enamel to an In-vitro demineralization system. *Caries Res* 25, 143 (1991)
110. *May, K.N. Jr., Swift, E.J. Jr., Wilder, A.D. Jr., Futrell, S.C.*: Effect of a surface sealant on microleakage of Class V restorations. *Am J Dent* 9, 133-136 (1996)
111. *Mehl, A., Hartl, S., Kunzelmann, K.H., Hickel, R.*: Quantitative und qualitative Randspaltanalyse zervikaler Füllungen. *Dtsch Zahnartzliche Z* 49, 815 (1994)
112. *Michaiesco, P.M., Marciano, J., Grieve, A.R., Abadie, M.J.*: An In-vivo recording of variations in oral temperature during meals: a pilot study. *J Prosthet Dent* 73, 214-218 (1995)
113. *Mjor, I.A., Nordahl, I., Tronstad, L.*: Glass ionomer cements and dental pulp. *Endod Dent Traumatol* 7, 59-64 (1991)
114. *Mohandas, U., Reddy, V.V.*: In-vitro evaluation of micromarginal leakage of three filling systems--an autoradiographic analysis using radio isotope S35 as a tracer. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 11, 4-8 (1993)
115. *Nakabayashi, N., Watnabe, A., Gendusa, N.J.*: Dentin Adhesion of "modified" 4-META / MMA - TBB resin: funktion of HEMA. *Dent Mater* 8, 259 (1992).
116. *Nakabayashi, N., Watanabe, A., Ikeda, W.*: Intra-oral bonding of 4-META/MMA-TBB resin to vital human dentin. *Am J Dent* 8, 37-42 (1995)
117. *Nishiyama, N., Asakura, T., Suzuki, K., Horie, K., Nemoto, K.*: Effects of a structural change in collagen upon binding to conditioned dentin studied by ¹³C NMR. *J Biomed Mater Res* 29, 107-111 (1995)
118. *Palmer, D.S., Barco, M.T., Billy, E.J.*: Temperature extremes produced orally by hot and cold liquids. *J Prosthet Dent* 67, 325-327 (1992)
119. *Pashley, D.H., Pashley, E.L.*: Dentin permeability and restorative dentistry: a status report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 4, 5-9 (1991)
120. *Pashley, D.H. Ciucch, H., Sano, H.*: Dentin as a Bonding Substrate. *Dtsch Zahnärztl Z* 49, 760-763 (1994)

121. *Pashley, D.H., Horner, J.A., and Brewer, P.D.*: Interactions of conditioners on the dentin surface. *Oper Dent Suppl* 5, 137-150 (1992)
122. *Pashley, D.H.*: In-vitro simulations of In-vivo bonding conditions. *Am J Dent* 4, 237-240 (1991)
123. *Pashley, D.H.*: Smear layer: overview of structure and function. *Proc Finn Dent Soc* 88, 215-224 (1992)
124. *Pashley, D.H.*: Clinical correlations of dentin structure and function. *J Prosthet Dent* 66, 777-781 (1991)
125. *Pashley, D.H., Ciucchi, B., Sano, H., Horner, J.A.*: Permeability of dentin to adhesive agents. *Quintess Int* 24, 618-631 (1993)
126. *Pashley, E.L., Tao, L., Matthews, W. G., Pashley, D.H.*: Bond strength to superficial, intermediate and deep dentin In-vivo with four dentin bonding systems. *Dent Mater* 9, 19 (1993)
127. *Perdigao, J., Swift, E.J. Jr.*: Adhesion of a total-etch phosphate ester bonding agent. *Am J Dent* 7 149-152 (1994)
128. *Prati, C., Simpson, M., Mitchem, J., Tao, L., Pashley, D.H.*: Relationship between bond strength and microleakage measured in the same class I restorations. *Dent mater* 8, 37-41(1992)
129. *Prati, C.*: What is the clinical relevance of In-vitro dentine permeability tests? *J Dent* 22, 83-88 (1994)
130. *Prati, C., Nucci, C., Davidson, C.L., Montanari, G.*: Early marginal leakage and shear bond strength of adhesive restorative systems. *Dent Mater* 6, 195-200 (1990)
131. *Prati, C., Nucci, C., Montanari, G.*: Shear bond strength and microleakage of dentin bonding systems. *J Prosthet Dent* 65, 401-407 (1991)
132. *Quinn, F.*: An in-vitro investigation into the sealing ability of two fourth generation dentine bonding agents and two resin modified glass polyalkenoate restoratives. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 3, 119-125 (1995)
133. *Reinhardt, K.J.*: Ein Compomer als Amalgamersatz ? *Phillip Journal* 9, 395-399 (1995)
134. *Retief, D.H.*: Do adhesives prevent microleakage? *Int Dent J* 44, 19-26 (1994)
135. *Rigsby, D.F., Retief, D.H., Russell, C.M., Denys, F.R.*: Marginal leakage and marginal gap dimensions of three dentinal bonding systems. *Am J Dent* 3, 289-294 (1990)
136. *Roulet, J.F.*: Marginal integrity: clinical significance. *J Dent* 22, 9-12 (1994)
137. *Sano, H., Ciucchi, B., Matthews, W.G., and Pashley, D.H.*: Tensile properties of mineralized and demineralized human and bovine dentin. *J Dent Res* 73, 1205-1211 (1994).

138. Sano, H., Takkatsu, T., Ciucchi, B., Horner, J.A., Pashley, D.H.: Nanoleakage, Leakage within the hybridlayer. *J Dent Res* 73, Abstr. No. 1398 (1994).
139. Saunders, W.P., Saunders, E.: Microleakage of bonding agents with wet and dry bonding techniques. *Am J Dent* 9, 34-36 (1996)
140. Söderholm, K.J.: Correlation of In-vivo and In-vitro performance of adhesive restorative materials: a report of the ASC MD156 Task Group on Test Methods for the Adhesion of Restorative Materials. *Dent Mater* 7, 74-83 (1991)
141. Staehle, H.J.: Die Versorgung der Dentinwunde. *Dtsch Zahnärztl Z* 48, 670 (1993)
142. Tagami, T., Tao, L., Pahley, D.H.: Correlation among dentin depth, permeability, and bond strength of adhesive resins. *Dent Mater* 6, 45-50 (1990)
143. Tay, F.R., Pang, K.M., Gwinnett, A.J., Wei, S.H.: A method for microleakage evaluation along the dentin/restorative interface. *Am J Dent* 8, 105-8 (1995)
144. Taylor, M.J., Lynch, E.: Microleakage. *J Dent* 20, 3-10 (1992)
145. Thonemann, B., Federlin, M., Schmalz, G., Hiller, K.-A.: Kunststoffausquellung bei Kavitätenrändern im Dentin. *Dtsch Zahnärztl Z* 50, 847-850 (1995)
146. Titley, K., Chernecky, R., Maric, B., Smith, D.: Penetration of dentin bonding agent into dentin. *Am J Dent* 7, 190-194 (1994)
147. Titley, K., Chernecky, R., Maric, B., Smith, D.: The morphology of demineralized layer in primed dentin. *Am J Dent* 7, 22-26 (1994)
148. Titley, K.C., Smith, D.C., Chernecky, R., Maric, B., Chan, A.: An SEM examination of etched dentin and the structure of the hybrid layer. *J Can Dent Assoc* 61, 887-94 (1995)
149. Triana, R., Prado, C., Garro, J., Garcia-Godoy, F.: Dentin bond strength of fluoride-releasing materials. *Am J Dent* 7, 252-254 (1994)
150. Tyas, M.J.: Clinical evaluation of five adhesive systems: three-year results. *Int Dent J* 46, 10-14 (1996)
151. Van Meerbeek, B., Inokoshi, S., Braem, M., Lambrechts, P., Van Herle, G.: Morphological aspects of the Resin Dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71, 1530-1540 (1992)
152. Van Meerbeek, B., Braem, M., Lambrechts, B.: Morphological characterization of the interface between resin and sclerotic dentine. *J Dent* 22, 141-146 (1994)
153. Van Meerbeek, B., Braem, M., Lambrechts, P., and Vanherle, G.: Two-Year clinical evaluation of two dentin adhesives in cervical lesions. *J Dent* 21, 195-202 (1993)
154. Van Meerbeek, B., Peumans, M., Verschuere, M., Gladys, S., Braem, M., Lambrechts, P., and Vanherle, G.: Clinical Status of Ten Adhesive Systems. *J Dent Res* 73, 1690-1702 (1994)
155. Van Meerbeek, B., Willems, G., Celis, J.P., Roos, J.R., Braem, M., Lambrechts, P., and Vanherle, G.: Assessment by nano-indentation of the hardness and elasticity of the resin-dentin bonding area. *J Dent Res* 72, 1434-1442 (1993).
156. Vargas, M.A., Swift, E.J. Jr.: Microleakage of resin composites with wet versus dry bonding. *Am J Dent* 7, 187-189 (1994)
157. Walshaw, P., Mc Comb, D.: Sem evaluation of the resin-dentin interface with proprietary bonding agents in human subjects. *J Dent Res* 73, 1079-1087 (1994)
158. Walshaw, P.R., McComb, D.: SEM characterization of the resin-dentine interface produced In-vivo. *J Dent* 23, 281-287 (1995)
159. Watanabe, I., Nakabayashi, N., and Pashley, D.H.: Bonding to ground dentin by a phenyl-P self-etching primer. *J Dent Res* 73, 1212-1220 (1994)
160. Wiczowski, G. Jr., Yu, X.Y., Davis, E.L., Joynt, R.B.: Microleakage in various dentin bonding agent/composite resin systems. *Oper Dent* 5, 62-67 (1992)
161. Wolf, D.M., Powers, J.M., O'Keefe, K.L.: Bond strength of composite to porcelain treated with new porcelain repair agents. *Dent Mater* 8, 158-161 (1992)
162. Wrbas, K.-Th., Attin, T.: Adhäsives Zementieren mit einem Kompomer-Befestigungszement. *ZWR* 7/8, 404-409 (1996)
163. Yap, A.U., Lim, C.C., Neo, J.C.: Marginal sealing ability of three cervical restorative systems. *Quintess Int* 26, 817-820 (1995)
164. Yap, U.J., Stokes, A.N., Pearson, G.J.: Concepts of adhesion—a review. *N Z Dent J* 90, 91-97 (1994)
165. Yu, X.Y., Wiczowski, G., Davis, E.L., Joynt, R.B.: Scanning electron microscopic study of dentinal surfaces treated with various dentinal bonding agents. *Quintess Int* 21, 989-999 (1990)

Gruppe	Den. dicht	Den. undicht	Sch. dicht	Sch. undicht	p-wert	sign.	Trend, besser
1	13	7	13	7	1	ns	0
2	2	18	19	1	5,82E-08	s	S
3	16	4	14	6	0,7164264	ns	0
4	16	4	15	5	0,9999948	ns	0
5	18	1	9	10	3,04E-03	s	D
6	11	9	20	0	1,23E-03	s	S
7	16	4	11	9	0,1759945	ns	0
8	7	13	18	2	7,72E-04	s	S
9	16	4	6	14	3,64E-03	s	D
10	6	14	12	8	0,110969	ns	0
11	0	20	15	5	7,71E-07	s	S
12	6	13	4	12	0,7233307	ns	0
13	11	9	4	15	4,84E-02	s	D
14	12	8	1	19	4,32E-04	s	D
15	1	17	0	18	0,9999938	ns	0
16	4	15	13	4	2,14E-03	s	S
17	5	14	13	7	2,48E-02	s	S
18	13	7	19	1	4,36E-02	s	S
19	2	18	18	2	5,30E-07	s	S
20	1	17	17	1	7,16E-08	s	S

Den. dicht = Anzahl dichter Meßpunkte im Dentin
 Den. undicht = Anzahl undichter Meßpunkte im Dentin
 Sch. dicht = Anzahl dichter Meßpunkte im Schmelz
 Sch. undicht = Anzahl undichter Meßpunkte im Schmelz

sign. = Signifikanz
 s = signifikant
 ns = nicht signifikant
 Trend besser = besseres Ergebnis im
 S = Schmelz
 D = Dentin

Schm.Gp#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	4,36E-02	0,9999936	0,7310924	0,340642	8,32E-03	0,7475263	0,1273855	5,62E-02	1
2	0	1	9,15E-02	0,1817644	1,25E-03	1	8,36E-03	1	3,93E-05	1,97E-02
3	0	0	1	0,9999902	0,2002885	2,02E-02	0,5144757	0,2351171	2,56E-02	0,7410557
4	0	0	0	1	0,1053397	4,71E-02	0,3202666	0,4074825	1,04E-02	0,5006002
5	0	0	0	0	1	1,45E-04	0,7523682	5,74E-03	0,3332113	0,5272513
6	0	0	0	0	0	1	1,23E-03	0,4871785	3,34E-06	3,28E-03
7	0	0	0	0	0	0	1	0,03095	0,2002883	1
8	0	0	0	0	0	0	0	1	2,44E-04	6,48E-02
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,110969
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

74

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0,7310924	2,28E-02	9,53E-03	1,37E-04	1,59E-05	0,4950584	1	4,36E-02	0,1273855	4,50E-02
0,1817644	1,60E-05	2,21E-06	5,82E-09	1,13E-09	0,1589643	4,36E-02	1	1	1
0,9999902	1,76E-02	3,64E-03	3,93E-05	4,32E-06	0,7245756	0,9999936	9,15E-02	0,2351171	9,34E-02
1	6,36E-03	1,23E-03	1,00E-05	1,05E-06	0,999997	0,7310924	0,1817644	0,4074825	0,1839239
0,1053397	0,2928189	0,1704459	3,34E-03	1,13E-03	9,67E-02	0,340642	1,25E-03	5,74E-03	3,04E-03
4,71E-02	1,45E-06	1,54E-07	3,05E-10	2,98E-11	3,60E-02	8,32E-03	1	0,4871785	0,4736838
0,3202666	9,58E-02	4,84E-02	1,25E-03	1,66E-04	0,300289	0,7475263	8,36E-03	0,03095	8,94E-03
0,4074825	1,04E-04	1,66E-05	5,82E-08	5,69E-09	0,3831163	0,1273855	1	1	0,9999976
1,04E-02	1	0,7164291	9,15E-02	2,08E-02	8,14E-03	5,62E-02	3,93E-05	2,44E-04	5,01E-05
0,5006002	4,85E-02	2,25E-02	4,32E-04	5,34E-05	0,3193419	1	1,97E-02	6,48E-02	2,06E-02
1	6,36E-03	1,23E-03	1,00E-05	1,05E-06	0,999997	0,7310924	0,1817644	0,4074825	0,1839239
0	1	1	0,1492654	3,92E-02	5,27E-03	2,28E-02	1,60E-05	1,04E-04	4,51E-05
0	0	1	0,1817644	0,1050196	2,14E-03	9,53E-03	2,21E-06	1,66E-05	6,71E-06
0	0	0	1	1	7,91E-06	1,37E-04	5,82E-09	5,82E-08	1,64E-08
0	0	0	0	1	1,61E-06	1,59E-05	1,13E-09	5,69E-09	4,19E-09
0	0	0	0	0	1	0,4950584	0,1589643	0,3831163	0,1774198
0	0	0	0	0	0	1	4,36E-02	0,1273855	4,50E-02
0	0	0	0	0	0	0	1	1	1
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,9999976
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

75

Dent.Gp#	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	7,72E-04	0,4801107	0,4801107	4,36E-02	0,7475263	0,4801107	0,1128337	0,4801107	5,62E-02
2	0	1	1,66E-05	1,66E-05	5,82E-08	5,74E-03	1,66E-05	0,1273855	1,66E-05	0,2351171
3	0	0	1	1	0,3416498	0,1759945	1	9,53E-03	1	3,64E-03
4	0	0	0	1	0,3416498	0,1759945	1	9,53E-03	1	3,64E-03
5	0	0	0	0	1	8,36E-03	0,3416498	1,37E-04	0,3416498	3,93E-05
6	0	0	0	0	0	1	0,1759945	0,3406419	0,1759945	0,2002883
7	0	0	0	0	0	0	1	9,53E-03	1	3,64E-03
8	0	0	0	0	0	0	0	1	9,53E-03	0,9999936
9	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3,64E-03
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

76

11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1,29E-05	0,0561607	0,7475263	1	1,66E-04	9,53E-03	2,48E-02	1	7,72E-04	1,66E-04
0,4871785	0,1273866	5,74E-03	2,20E-03	0,9999976	0,4074849	0,2351171	7,72E-04	1	0,9999976
1,54E-07	3,64E-03	0,1759945	0,300844	3,18E-06	3,60E-04	1,23E-03	0,4801107	1,66E-05	3,18E-06
1,54E-07	3,64E-03	0,1759945	0,300844	3,18E-06	3,60E-04	1,23E-03	0,4801107	1,66E-05	3,18E-06
3,05E-10	1,09E-04	8,36E-03	1,97E-02	2,05E-08	6,71E-06	2,91E-05	4,36E-02	5,82E-08	2,05E-08
1,45E-04	0,2002862	1	1	1,41E-03	4,84E-02	0,1053409	0,7475263	5,74E-03	1,41E-03
1,54E-07	3,64E-03	0,1759945	0,300844	3,18E-06	3,60E-04	1,23E-03	0,4801107	1,66E-05	3,18E-06
8,32E-03	0,9999999	0,3406419	0,2049255	4,50E-02	0,480116	0,7311006	0,1128337	0,1273855	4,50E-02
1,54E-07	3,64E-03	0,1759945	0,300844	3,18E-06	3,60E-04	1,23E-03	0,4801107	1,66E-05	3,18E-06
2,02E-02	1	0,2002883	0,110969	9,34E-02	0,7164291	1	5,62E-02	0,2351171	9,34E-02
1	8,32E-03	1,45E-04	4,51E-05	0,4736838	4,71E-02	2,02E-02	1,29E-05	0,4871785	0,4736838
0	1	0,2002862	0,110969	0,089681	0,7139785	0,9999934	0,0561607	0,1273866	0,089681
0	0	1	1	1,41E-03	4,84E-02	0,1053409	0,7475263	5,74E-03	1,41E-03
0	0	0	1	5,03E-04	2,25E-02	5,36E-02	1	2,20E-03	5,03E-04
0	0	0	0	1	0,3397677	0,1797111	1,66E-04	0,9999976	1
0	0	0	0	0	1	0,9999956	9,53E-03	0,4074849	0,3397677
0	0	0	0	0	0	1	2,48E-02	0,2351171	0,1797111
0	0	0	0	0	0	0	1	7,72E-04	1,66E-04
0	0	0	0	0	0	0	0	1	0,9999976
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

77

Syntac®



Gebrauchsinformation
Instructions for Use
Mode d'emploi
Instrucciones de uso
Bruksanvisning

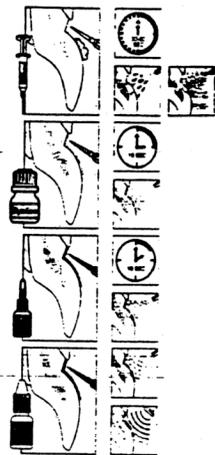
VIVADENT

Gebrauchsinformation

Zusammensetzung
1,0 enthält:
Primer
Tetraethylenglycoldimethacrylat
Maleinsäure in wässriger
Acetonlösung
Adhesive
Polyethylenglycoldimethacrylat
Glykolydehyd 50% in wässriger
Lösung
Gegensatzgel
Bei bekannter Allergie auf einen der Inhaltsstoffe, ist auf die Anwendung von Syntac® zu verzichten.
Nebenwirkungen
Bei Bestandteilen von Syntac® können in seltenen Fällen bei orthodontischen Patienten zu einer Sensibilisierung führen. In diesen Fällen ist auf eine weitere Verwendung der Materialien zu verzichten.
Wachseffekte
Phenolische Substanzen (wie z.B. Eugenol) inhibieren die Polymerisation von Methacrylaten, d.h. die Anwendung von z.B. phenolhaltigen Unterfüllungsmaterialien ist kontraindiziert.
Inhibition
Syntac® dient als Schmelz-Dentierlack und wird immer dann angewendet, wenn ein guter Verband zwischen Zahnmaterie und Kompositenmaterial erwünscht ist.
Beschreibung
Syntac® ist ein Adhäsivsystem, das einen chemisch stabilen Verbund zwischen Kompositenmaterialien und der Zahnmaterie herstellt. Syntac® zeichnet sich durch seine gute Infiltration aus. Es kann sowohl in Kombination mit licht- als auch mit selbsthärtenden Kompositenmaterialien verwendet werden. In jedem Fall muss ein leitfähiges Bonding (Halobond®) verwendet werden.

Achtung:
Primer und Adhesive nicht mischen sondern nacheinander auftragen!

Flowchart Syntac®



VERZÜHLT/0048 407 1/1

*Mischzähne oder stark kaudaler Schmelz ggf. für 10-15 Sek. ätzen.

- 1 Email Präparator GS
Schmelz 30-60 Sek. ätzen
Mit Wasser abspülen
Gründlich trocknen
2 Syntac® Primer
Mit Primer auf Schmelz und Dentin auftragen
15 Sek. einwirken lassen
Mit Luft trocknen
3 Syntac® Adhesive
Mit Primer auf Schmelz und Dentin auftragen
10 Sek. einwirken lassen
Mit Luft trocknen
4 Halobond®
Mit Primer auf Schmelz und Dentin auftragen
Überschüsse mit Luft ausblasen
10 Sek. leuchten (direkte Restaurationen)
Nicht leuchten bei indirekten Restaurationen (siehe Hinweis 2.2)

Präparation und Unterfüllung

- Kavitationspräparation nach den Prinzipien der adhärenten Restauration. Vorhandene Karies mit einem geeigneten Instrument entfernen. Nicht präpariertes Dentin mit einer 60- und kurzschraffierten Reampolpaste reinigen. Anschließend gründlich spülen und trocknen.
Oberflächliches Dentin nicht mit Unterfüllungsmaterial abdecken sondern nur mit Syntac® befeuchten. Bei lateraler Präparation diese Stellen mit einem Calciumhydroxyphosphat abdecken (z.B. Reocac® Reocac-E® Reogen-Resc®) und abschliessend mit einer druckbeständigen Zement-Überbrücke (zweiproz. Glasionomer-Zement z.B. Vitrapast Line® oder Vitrapast Base® oder Zinkphosphat-Zement z.B. Tene®).

- Farbbezeichnung
Trochsenreinigung mit Koffein.

1 Schmelzätzung
Schmelz 30-60 Sekunden mit 37 %iger Phosphorsäure (Email Präparator GS) ätzen. Anschliessend gut spülen und trocknen.
Ab diesem Zeitpunkt muss eine Kontamination mit Speichel oder Blut verhindert werden.

2 Syntac® Primer
Syntac® Primer mittels Primer auf die Kavität auftragen. Primer und Adhesive nicht mischen! Die Kontaktzeit des Syntac® Primers mit Dentin sollte mindestens 15 Sekunden betragen. Lässt sie die Kavitätsform zu. Syntac® Primer leicht einwirken. Anschliessend 15 Sek. einwirken lassen. Anschliessend abblasen und gründlich trocknen. Nicht abspülen!

3 Syntac® Adhesive
Syntac® Adhesive auftragen. 10 Sek. einwirken lassen und die Kavität mit Luftbläser gründlich trocknen. Nicht spülen!

4 Halobond®
abspülen und dünn ausblasen. Halobond kann getrennt ausgetrennt werden (20 Sek.), zwingend ist dies jedoch nur bei Verwendung selbsthärtender Füllungsmaterialien (siehe Hinweis E).

Füllungsmaterial
Tene®, Tene® Caram®, Heso Progress® oder Hesoform® abspülen. Das applizierte Füllungsmaterial mit einem geeigneten Instrument abspülen und modellieren. Bei grossen Defekten leitfähiges Kompositenmaterial in zwei oder mehreren Schichten aufbauen und ausleuchten.

Ausarbeitung
Ausgangslinie überschüssige nicht abtragen, sondern mit Feinacrylnadeln, Feinrasen oder Feinraschen entfernen. Mit Foto-P-Feinrasen und Photo-P-Feinrasen oder exzelen Discs polieren.

Hinweise
A) Syntac® verbessert deutlich die Haftung von methacrylaten Unterfüllungsmaterialien zum Dentin. Deshalb kann die Applikation oberer Unterfüllungen auch nach der Anwendung von Syntac® erfolgen.
B) Syntac® ist ein Zweifasensystem. d.h. Syntac® Primer und Syntac® Adhesive dürfen nicht getrennt werden; sie müssen hintereinander aufgetragen werden.
C) 1. Syntac® enthält keine Polymerisationsinitiatoren. Aus diesem Grund ist die anschließende Anwendung eines leitfähigen Bonding-Resins (Halobond®) vorgeschrieben.
2. Bei der Befestigung von laborgefertigten Inlays, Kronen oder Veneers mit dünnflüssigen licht- oder dualhärtenden Befestigungskompositen (z.B. Dual Cement „adocac“ oder VarioLink®) kann auf die Anwendung von Halobond verzichtet werden. Wird Halobond verwendet, sollte es nicht separat entfernt werden, sondern erst zusammen mit dem Befestigungskomposit (Dual Cement „adocac“ oder VarioLink®), um die Passgenauigkeit der Restauration nicht zu beeinträchtigen.
D) Wird Syntac® als Haftvermittler bei Composite-Strahlern, Dentin (z.B. mit Corabond®) verwendet und die Präparation anschliessend fertiggestellt, so muss vor der Herstellung der provisorischen Kunststoffkrone auf eine entsprechende Isolierung geachtet werden. Auch nach der Abdrucknahme und Sockelkontamination kann Syntac® eine Haftung zwischen Dentin und provisorischem G.B. Kunststoff bewirken. Zur Isolierung eignet sich Vaseline.

E) Kommen selbsthärtende Composites zur Anwendung, muss auf jeden Fall ein leitfähiges Bonding (Halobond®) verwendet werden. Dieses muss vor dem Aufbringen des selbsthärtenden Composites abgetragen werden.

F) Das im Primer enthaltene Aceton ist ein leicht flüchtiges Lösungsmittel für das relative Monomer. Verhindert dieses Lösungsmittel, isolieren sich das Monomer bei 22° C und einer mässigen Tropfengrösse nach etwa 60 Sekunden. Den Primer deshalb erst unmittelbar vor der Applikation aus dem Fläschchen entnehmen. Eine Versorgung mehrerer Kavitäten muss ggf. der Primer jederzeit neu dem Fläschchen entnommen werden. Nach dem beschriebenen Sprossvorgang den Primer nicht mehr verwenden.

Warnhinweis
Kontakt von Syntac® mit Haut/Schleimhaut oder Augen vermeiden. Syntac® wirkt im ungeschützten Zustand reizend und kann zu einer allgemeinen Sensibilisierung auf Methacrylate führen. Der Primer enthält Aceton, nicht mit offener Flamme in Kontakt bringen.

Lager- und Aufbewahrungshinweise
Syntac® nach Ablauf des Verfallsdatums nicht mehr anwenden.
Fläschchen nach Gebrauch sofort gut verschliessen. Bei einer deutlichen Kondensationsbildung der einzelnen Komponenten das Material nicht mehr verwenden.
Lagerungstemperatur: 2 - 28 °C.
Ablaufzeit:
Siehe Hinweis auf Fläschchen/Verpackung.

Für kunstverträglicher aufbewahren.
Nur für zahnärztlichen Gebrauch.

- Lieferformen:
Sortiment:
2 Syntac® Primer à 3 g
2 Syntac® Adhesive à 3 g
1 Halobond 6 g - Kartülen
1 Reampolpaste 15 g
3 Pinselhalter
50 Pinsel
Anpackung:
1 Syntac® Primer 3 g
1 Syntac® Adhesive 3 g
1 Halobond 6 g - Kartülen
3 Pinselhalter
50 Pinsel
Einzelpackung:
1 Syntac® Primer 3 g
1 Syntac® Adhesive 3 g
Vivadent Product

Erstellungdatum der Gebrauchsinformation:
19.12.1995
Hersteller:
Vivadent
FL-9494 Schaan, Liechtenstein

Das Material wurde für den Einsatz im Dentallabor entwickelt und muss gemäss Gebrauchsinformation verwendet werden. Für Schäden, die sich aus anderer Verwendung oder nicht sachgemässer Verarbeitung ergeben, übernimmt der Hersteller keine Haftung. Darüber hinaus ist der Verwender verpflichtet, das Material eigenverantwortlich vor dessen Einsatz auf Eignung und Verwendungsmöglichkeit für die vorgesehenen Zwecke zu prüfen. Zuerst wenn diese Zwecke nicht in der Gebrauchsinformation aufgeführt sind.

Lebenslauf

Name: Martin William Bauer
Eltern: Ingeborg Elisabeth Bauer, Rudolf Georg Bauer
Geburtsdatum: 24.08.1967
Geburtsort: München
1973-1977 Besuch der städtischen Grundschule an der Farinellstr., München
1977-1986 Besuch des städtischen Willi-Graf-Gymnasiums, München
1986 Hochschulreife
1986-1987 Ausbildung zum Zahntechniker
1987-1995 Studium der Zahnheilkunde an der LMU München
1995 Approbation als Zahnarzt
1995-1997 Angestellter Zahnarzt an der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der LMU München
1997-1998 Angestellter Zahnarzt an der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik der LMU München

Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Priv. Doz. Dr. K-H. Kunzelmann für die Überlassung des Dissertationsthemas für seine umfassende Betreuung bei der Durchführung dieser Studie und der jederzeit gewährten Beratung und Unterstützung.

Insbesondere möchte ich meinen Eltern Ingeborg und Rudolf Bauer für die Ermöglichung dieses Studiums und ihre liebevolle Hilfe während meiner gesamten Ausbildung danken.

Außerdem danke ich meiner Claudia für das viele Verständnis und die moralische Unterstützung.