

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

**Qualitative und Quantitative Randalanalyse am Rasterelektronen-  
mikroskop von gemischten Klasse-V-Füllungen.  
Eine In-vitro-Studie.**

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

Vorgelegt von  
Harald von Knoerzer-Suckow jun.  
aus  
Traunstein  
2002

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichtersteller: Prof. Dr. K.-H. Kunzelmann

Mitberichtersteller: Prof. Dr. Th. Heinzeller  
Prof. Dr. J. Müller Höcker

Mitbetreuung durch den  
Promovierten Mitarbeiter:

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

Tag der mündlichen Prüfung: 29.01.2002

Inhaltsverzeichnis		1
<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>LITERATURÜBERSICHT</b>	<b>6</b>
2.1	Materialien und Techniken zur Restauration von Klasse V-Füllungen	6
2.1.1	Glasionomerezement	6
2.1.2	Komposit und Haftvermittler	8
2.1.3	Kompomere	12
2.1.4	Haftvermittler zum Schmelz und zum Dentin	13
2.2	Verfahrenstechniken zur qualitativen und quantitativen Randanalyse	19
2.2.1	Luftdruck und elektrochemische Leitfähigkeit	20
2.2.2	Neutronenaktivitätsanalyse	20
2.2.3	Bakterienpenetration	21
2.2.4	Isotopentechnik	21
2.2.5	Silbernitrat-Verfärbungstechnik	22
2.2.6	Thermische Wechselbelastung	22
2.2.7	Farbstoffpenetration	23
2.2.8	Rasterelektronenmikroskop und quantitative Randanalyse	24
<b>3</b>	<b>ZIELSETZUNG DER STUDIE</b>	<b>26</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAL UND METHODE</b>	<b>27</b>
4.1	Art und Herstellung der Kavitäten	27
4.2	Verwendete Materialien und Gruppeneinteilung	28
4.3	Temperaturwechselbelastung	31
4.4	Replikaerstellung	31
4.5	Voruntersuchung zur Erklärung von "Quellung" auf der Wurzeloberfläche	32

Inhaltsverzeichnis		II
4.6	Qualitative und Quantitative Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop	39
<b>5</b>	<b>ERGEBNISSE</b>	<b>45</b>
5.1	Allgemeines	45
5.2	In-vitro-Untersuchung in Abhängigkeit von Füllungsmaterial und Probenvorbehandlung	46
5.2.1	Statistisches Verfahren	46
5.2.2	Abkürzungen	48
5.2.3	Die Klasse der Kompomere	48
5.2.3.1	Der schmelzbegrenzte Randanteil	49
5.2.3.2	Der dentinbegrenzte Anteil	52
5.2.4	Die Klasse der Komposit	56
5.2.4.1	Der schmelzbegrenzte Randanteil	56
5.2.4.2	Der dentinbegrenzte Anteil	58
5.2.5	Die Klasse der Glasionomerezemente	61
5.2.5.1	Der schmelzbegrenzte Anteil	61
5.2.5.2	Der dentinbegrenzte Anteil	64
<b>6</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>68</b>
6.1	Material und Methode	68
6.1.1	Kavitätenhandling	68
6.1.2	Feuchtigkeitslagerung	71
6.1.3	In-vitro-Testverfahren	72
6.1.3.1	Die Temperaturwechselbelastung	72
6.1.3.2	Replikatechnik und Quantitative Randanalyse	72
6.2	Ergebnisse	74
6.2.1	Auswirkung der TWL im Dentin	74
6.2.2	Auswirkung der TWL im Schmelz	75
6.2.3	Vergleich der Ergebnisse Qualitative Randanalyse am Rasterelektronen-mikroskop und Farbstoffpenetrationsversuch	77

Inhaltsverzeichnis		III
6.2.4	Dichtigkeit der Dentinadhäsive	78
6.2.5	Einfluß der Säure-Ätz-Technik	83
6.2.6	Einfluß der Wasserlagerung	86
6.2.7	Schlußfolgerung aus dem Analysenvergleich und klinische Relevanz	91
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>94</b>
<b>8</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>96</b>
<b>9</b>	<b>ANHANG</b>	<b>109</b>
9.1	Abkürzungen	109
9.2	Meßdaten der In-vitro-Untersuchung	110
9.2.1	Abkürzungen	110
9.2.2	Die Gruppe der Kompomere	112
9.2.3	Die Gruppe der Glasionomerezemente	117
9.2.4	Die Gruppe der Komposite	121
9.3	Mittelwerte und Standardabweichung	123
9.3.1	Die Gruppe der Kompomere	123
9.3.2	Die Gruppe der Glasionomerezemente	125
9.3.3	Die Gruppe der Komposite	126
9.4	Materialliste	127
<b>10</b>	<b>DANKSAGUNG</b>	<b>131</b>
<b>11</b>	<b>LEBENS LAUF</b>	<b>132</b>

## 1 Einleitung

Das Verlangen nach ästhetischen und toxikologisch unbedenklichen Füllungsmaterialien ermöglichte unter anderem der Materialgruppe der Kunststoffe ihren Einzug in die restaurative Zahnheilkunde. Nach K.J. Reinhardt (Reinhardt, 1995) haben sich die Komposite im gesamten Frontzahnbereich dank ihrer, im Vergleich zum Amalgam, überlegenen Ästhetik und Haftung bereits durchgesetzt.

Es waren und sind jedoch die gemischten Klasse-V-Kavitäten nach Black, die mit ihrem Füllungsanteil sowohl im Schmelz- als auch im Dentinbereich ein Problem darstellen. Ein dichter Randschluß zwischen Füllungsmaterial und Zahnschmelz, als ein Hauptkriterium bei der Erprobung von Füllungsmaterialien, wurde lange Zeit in dieser Füllungsklasse nicht erreicht. Bei einerseits guten Ergebnissen im Labor, fehlen andererseits bis heute erfolgreiche Langzeitergebnisse aus der Klinik (Fitchie et al., 1993; Van Meerbeek et al., 1994b; Haller, 1994).

Während in der Produktgruppe der Glasionomere (GIZ) weniger die Haftung zu Dentin und Schmelz schwierig war, stand hier die Verbesserung von Ästhetik und Bearbeitung im Vordergrund.

In der breiten Palette der Komposit in Verbindung mit Haftvermittlern, galt schon bald der Grundsatz, daß ein Verbund aus Komposit und Schmelz mit Hilfe der Säure-Ätz-Technik als randdicht bezeichnet werden kann (Hallett et al., 1993; Swift et al., 1995; Manolakis et al., 1995).

In dieser Produktgruppe stellt der Randbereich zwischen Dentin und Komposit das große Problem dar. Neben der während der Polymerisation auftretenden Kontrak-

tionsspannung sind die im Mund auftretenden thermischen und mechanischen Belastungen Hauptursache für die Randspaltbildung (Lutz et al., 1991).

Aus einer Vielzahl von Analyseverfahren zur Bestimmung der Morphologie von Randbereichen hat sich im Lauf der Zeit die Thermowechselbelastung in Verbindung mit einem Farbstoffpenetrationstest und/oder einer Analyse am Rasterelektronenmikroskop (REM) nach Replikaerstellung als eine gängige Methode herauskristallisiert (Taylor et Lynch, 1992; Barnes et al., 1993).

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Materialien und Techniken zur Restauration von Klasse V-Füllungen

#### 2.1.1 Glasionomerzement

Die Glasionomerzemente sind durch die Säure-Basen-Reaktion eines Pulvers, bestehend aus Silikatglas, mit einer Flüssigkeit, die Polyacryl- beziehungsweise Polycarbonsäure enthält, gekennzeichnet (Hickel, 1989, Mc Lean et al., 1994).

Mit der Einführung des ersten Glasionomerzementes (GIZ) im Jahre 1969 durch Wilson und Kent (Schneider, 1998a) und der Zugänglichkeit für den Praktiker Mitte der 70er Jahre (Mount, 1993) begann eine neue Ära in der Versorgung von Klasse-V-Kavitäten.

Die Füllungsmaterialien Amalgam und Gold bekamen einen Konkurrenten, der ihnen hinsichtlich der Ästhetik weit überlegen war (Hickel, 1994).

Der Forderung nach Haftung sowohl am Schmelz als auch am Dentin kamen die GIZ durch Ionenbindung nach (Hoppenbrouwers, et al., 1987; Hickel, 1989; Mount, 1993; Attin et al., 1996).

Durch den Reaktionsmechanismus frei werdende Fluorkomplexe sind nach Angaben von Garcia-Godoy und de Perez (1993) zur Verhinderung von Sekundärkaries geeignet.

Die durch diese Vorteile anfänglich aufgeflamte Euphorie wurde bald durch die Nachteile der Stoffklasse beschwichtigt.

Im Vergleich zu Komposit schreibt Mount (1994) den ersten GIZ schlechtere ästhetische Ergebnisse zu, die nach Hickel auf dem opaken Aussehen beruhen (1994).

Hickel (1994) weist des weiteren auf eine rauhe und matte Oberfläche hin, die schwer zu polieren ist (1989).

Matis et al. (1991) und Mount (1994) sprechen von geringer Abrasions- und Biegefestigkeit und einer daraus resultierenden eingeschränkten klinischen Indikation.

Die Tatsache, daß der GIZ in der Anfangsphase sowohl gegen Austrocknung als auch gegen Wasserzutritt empfindlich ist, erfordert als abschließende Behandlung die Versiegelung der frischen Füllung mit einem ungefüllten, lichthärtenden Kunststoff (Attin et al., 1996; Hickel, 1989; Matis et al., 1991; Mount, 1994).

Einer der größten Nachteile für den Praktiker war die Tatsache, daß vor der endgültigen Ausarbeitung mindestens 24 Stunden vergehen mußten, da diese Zeit zur vollständigen Aushärtung des Glasionomerzementes benötigt wurde (Hickel, 1994; Mount, 1994).

Mitra (1991b) spricht von einer zeitaufwendigen Füllungstechnik bei relativ kurzer klinischer Verweildauer im Mund.

In der Folgezeit schlug die Entwicklung im Bereich der Glasionomerzemente im wesentlichen zwei verschiedene Wege ein.

Um die Vorteile von Komposit und GIZ zu vereinen und gleichzeitig die Nachteile beider zu minimieren (Mc Lean, 1985) wurde die sogenannte Sandwich-Technik bzw. Laminiertechnik oder auch biomimetrische Füllung genannt (Hickel, 1989) eingeführt.

Die jedoch auch weiterhin noch bestehende aufwendige Handhabung, die Verbesserung von Haftvermittlern und Komposit und schlechte Versuchsergebnisse (Crim

et Shay, 1987; Shortall et Wilson, 1988; Hicckel, 1989) ließen diese Füllungstechnik in den Hintergrund treten.

Der zweite Weg war die Weiterentwicklung der GIZ zu sogenannten lichthärtenden GIZ zu Beginn der 80er Jahre (Burke, 1990).

Vertreter dieser Gruppe enthalten in der Flüssigkeit neben der Säure zusätzliche Bestandteile wie z. B. hydrophile Monomere (HEMA) oder Bis-GMA in Höhe von 18-20% und Fotoakzeleratoren.

Die initiale Lichthärtung übernimmt eine Art Schutzfunktion für die danach ablaufende Säure-Basen-Reaktion (Hellwig, 1995; Mount, 1994).

Neben den verbesserten physikalischen Abrasions- und Biegeeigenschaften und einer besseren Farbgebung ist der große Vorteil der lichthärtenden Glasionomere gegenüber ihren Vorgängern bei der endgültigen Ausarbeitung zu sehen, da diese bereits nach 15 min möglich ist (Matis et al., 1991).

Dank der Weiterentwicklung findet diese Produktgruppe heute neben Klasse-V-Kavitäten nach Mount (1993), Christensen (1993), Croll et Kilian (1992) und Croll (1993) auch ihren Einsatzbereich in Kavitäten der Klasse I und III, sowie in okklusal gering belasteten Klasse II-Kavitäten.

### 2.1.2 Komposit und Haftvermittler

Die große Gruppe der Composite, deren Betrachtung ohne die Gruppe der Haftvermittler unmöglich ist, waren von Beginn ihrer Verfügbarkeit an den GIZ im Bezug auf Biege- und Abrasionsfähigkeit und Ästhetik überlegen (Peutzfeld et Asmussen, 1989).

Grundlage der ersten Füllungskunststoffe waren die sogenannten Polymethylmethacrylate aus welchen die ersten Füllungsmaterialien auf Kunststoffbasis in den 40er Jahren entstanden.

Der Durchbruch gelang im Jahre 1962 mit Entwicklung des sogenannten Bowen-Monomers, das Bis-GMA (Bowen et Rodriguez, 1962; Ott et Weinert, 1993).

Komposit setzt sich aus vier Bausteingruppen zusammen:

- disperse Phase (anorganische, z. T. auch organische Füllstoffe)
- organische Phase (Matrix)
- Verbundphase zwischen Füllstoff und organischer Phase (Silane)
- Katalysatorsysteme (Initiatoren, Akzeleratoren und Stabilisatoren)

Alle vier chemisch unterschiedlichen Faktoren beeinflussen die Eigenschaften des Komposit, die von keinem der Faktoren allein erreicht werden können.

Als Verbundphase werden meist bipolare Silane (3-Methacryloxypropyltrimethoxysilan) verwendet, die eine dauerhafte Verbindung zwischen Füllstoffpartikel und Matrix herstellen und somit ein entscheidender Faktor für die Festigkeit des Komposit sind. Das Silanmolekül wird hydrolysiert und reagiert über H-Brückenbindung mit den OH-Gruppen der Füllstoffpartikel, die Methacrylgruppe wird mit in die Matrix einpolymerisiert.

Während Stabilisatoren und Inhibitoren die Verarbeitungszeit und die Lagerungszeit einstellen, dienen die Akzeleratoren in Verbindung mit Initiatoren dem Start der Erhärtungsreaktion.

Für diese Reaktion werden freie Radikale benötigt, die auf zwei verschiedene Wege entstehen können, daher werden die Komposite bezüglich ihrer Abbindereaktion auch als chemisch oder lighthärtende Komposite bezeichnet.

Bei chemisch härtenden Kompositen reagiert als häufigster Initiator Benzoylperoxid mit einem chemischen Aktivator, meist organisches Amin.

Bei lighthärtenden Kompositen wird durch elektromagnetische Strahlung in Form von Blaulicht im Wellenbereich 420-470 nm ein Photoinitiator, meist Champherchinon, aktiviert. Nach Reaktion mit einem Reduktionsmittel, meist Amin, entstehen Radikale.

Die größte Variations- und Einflußmöglichkeit ist jedoch durch die organische und die disperse Phase gegeben.

Der entscheidende Fortschritt bei der organischen Phase wurde durch den Austausch des kleinen Methylmethacrylat-Moleküls, das durch große Polymerisationschumpfung gekennzeichnet ist, durch größere Moleküle erreicht.

Neben dem von Bowen entwickeltem Bis-GMA, welches mit niederviskösen Dimethacrylaten kombiniert wird, werden auch weiterentwickelte Monomere oder Monomerkombinationen, wie zum Beispiel ethoxyliertes Bis-GMA (NPG-GMA, NPD-GMA), Urethan-DMA oder Moleküle mit 3 oder mehr Methacrylatgruppen (UTMA, PENTA) verwendet.

Die Entwicklung der dispersen Phase (Füllstoffe) nahm ihren Ursprung bei den sogenannten Makrofüllern, die Quarz-, Keramik- oder Glaspartikel mit einer Korngröße zwischen 1-100 µm enthielten.

Der großer Nachteil war die mangelnde Polierbarkeit und eine daraus resultierende höhere Plaqueanlagerung an die Füllung.

Die nachfolgenden homogenen Mikrofüller, bestehend aus amorphen Siliciumdioxid mit einer mittleren Korngröße von 0,007-0,04 µm, erreichten nur einen Füllungsgehalt von 50%, der nicht ausreichte, um die geforderten physikalischen Eigenschaften zu erfüllen.

Um den Füllgrad zu erhöhen, wird ein Teil des Füllstoffes mit einem Teil der Matrix polymerisiert, feingemahlen und kombiniert mit anorganischen Mikrofüllern in die Matrix eingearbeitet.

Diese inhomogenen Mikrofüller bewährten sich im Frontzahnbereich.

Neuere Entwicklungen gehen in die Richtung des Hybridkomposites.

Bestehend aus einem Gemisch von Makro- und Mikrofüllern werden durch das jeweilige Verhältnis beider zueinander die physikalischen Eigenschaften bestimmt. Barium-, Strontiumgläser sowie röntgenopake Oxide und Fluoride mit einer Korngröße von 1 µm in Kombination mit pyrogener Kieselsäure ergeben sogenannte Feinpartikel-Hybride.

Gute physikalische Eigenschaften (Füllungsgrad 70-80%), Hochglanzpolierbarkeit und Röntgenopazität verhelfen dieser Stoffklasse zum Einsatz im Frontzahnbereich und bedingt im Seitenzahnbereich (Ott et Weinert, 1993; Lamprecht, 1987; Riehte, 1994).

### 2.1.3 Kompomere

Kompomere stellen eine neue Materialklasse dar, die vorteilhafte Eigenschaften von Komposit und Glasionomermertement miteinander verbinden (Weber, 1997). Krejci et al. (1995) definieren einen Werkstoff der aus einem anorganischen Teil, in Form eines ätzbaren, röntgenopaken, fluoridhaltigen und silanisierten Glasfüllers, und aus einer wasserfreien organischen Matrix besteht, die über carboxylhaltige, hydrophile Monomere verfügt, als Kompomer.

Die initiale Härtingsreaktion erfolgt im Sinne einer radikalischen Reaktion, gestartet durch Photoinitiatoren bei Lichthärtung und bei chemischer Härtung über Redoxinitiatorsysteme.

Durch diffusionsbedingte Wasseraufnahme aus der Umgebung kommt es sekundär zu einer Säure-Base-Reaktion, die zu einer Fluoridfreisetzung und einer weiteren Vernetzung des Polymers führt. Das Verhältnis radikale Reaktion zur Säure-Basen-Reaktion beträgt dabei 8:1, daraus folgt, daß die Aushärtung hauptsächlich durch den Kompositanteil bewältigt wird.

Durch die günstige Kombination von Anwendungsfreundlichkeit, Ästhetik, physikalische Eigenschaften und Fluoridfreisetzung fanden die Einkomponentenkompomere breite Akzeptanz und etablierten sich früh vor allem in der Versorgung von Klasse V Füllungen (Krejci, 1995).

### 2.1.4 Haftvermittler zum Schmelz und zum Dentin

Angefangen bei makrogefüllten chemisch härtenden Kompositen bis hin zu den heute erhältlichen Feinhybridkompositen oder Kompomeren war es in der Entwicklung immer das Ziel, die Polymerisationsschrumpfung zu verringern, da diese als eine Hauptursache für die Bildung von Randspalten angesehen wird (Bowen, 1988; Haller, 1994; Davidson et al., 1984; Lutz et al., 1991).

Bei den chemisch härtenden Kompositen wirkt dieser Schrumpfung der sogenannte „Flow“ entgegen. Während der Abbindephase sind in dem entstehenden Netzwerk aus Polymerketten einzelne Moleküle in der Lage, ihre Position zu verändern, ohne die innere Struktur oder den Verbund zur Zahnschubstanz zu zerstören (Davidson et al., 1984; Davidson und de Gee, 1984).

Das Ausmaß der Polymerisationsschrumpfung, das durch Flow verhindert wird, ist dabei von der Kavitätenform und der Polymerisationsgeschwindigkeit abhängig (Lutz et al., 1991; Feilzer et al., 1990a).

Bei Photopolymerisaten spielt nach Haller (1994) der Polymerflow als Spannungsausgleich eine untergeordnete Rolle, da die Unbeweglichkeit der Polymerketten rasch zunimmt.

Hier wird die Kontraktionsspannung in erster Linie vom Elastizitätsmodul bestimmt (Kemp-Scholte et Davidson, 1988).

Da die Polymerisationsschrumpfung im Kunststoff selbst nicht zu umgehen war und nach Eick et al. (1993a) nicht schrumpfende Kunststoffe erst im 21. Jahrhundert zum Standard werden, kam die Überlegung auf, zwischen Komposit und Zahn-

substanz eine elastische Schicht als Pufferzone zwischen der Haftkraft einerseits und der ihr entgegenwirkenden Polymerisationsschrumpfung andererseits einzubauen (Haller, 1994).

Krejci et al. (1992a) stellen fest, daß das Komposit per se keine Haftung an der Zahnschicht aufweist und Leinfelder et al. (1986) weisen darauf hin, daß es grundsätzlich zwei Typen von Haftvermittlern gibt, einen für Schmelz und einen für Dentin.

Beide Autoren verweisen wie eine Vielzahl anderer Autoren auf die Säure-Ätz-Technik, die Buonocore im Jahre 1955 einführte.

Die Oberflächenkonditionierung, in der Regel mit 37%iger Phosphorsäure (Swift et al., 1995), sowie die Verwendung eines niedrigviskosen Versieglers (Krejci et al., 1992a), der in seiner Zusammensetzung normalerweise dem später verwendeten Komposit entspricht (Leinfelder, 1986) führt zu Haftwerten von 20 MPa und darüber (Gwinnett, 1990; Eick, Robinson et al., 1993; Barkmeier et al., 1993; Asmussen et al., 1988; Asmussen und Munksgaard, 1985).

Somit wird die von Munksgaard et al. (1985) vorausgesetzte Mindesthaftkraft von 17 MPa, die einen spaltfreien Verbund zur Folge hat, um einige MPa übertroffen.

Im Verbund von Dentin und Komposit wurde eine so hohe Akzeptanz lange Zeit nicht erreicht (Hellwig et al., 1995).

Bis Anfang der 90iger Jahre wurde der von Munksgaard geforderte Haftwert kaum oder gar nicht erreicht.

Die Übertragung der Säure-Ätz-Technik auf das Dentin schlug fehl, da durch die Säurebehandlung die Dentintubuli geöffnet wurden und der daraus entstehende Gegendruck aus der Zahnwurzel sowie ein vorhandener Flüssigkeitsfilm aus Dentinli-

quor eine Anheftung des Komposites am Dentin verhinderten (van Meerbeek et al., 1994a; van Meerbeek et al., 1994b).

Yu et al. (1990) teilte entsprechend der zeitlichen Entwicklung und der unterschiedlichen chemisch aktiven Gruppen, die Dentinhaftvermittler, die nach Hickel (1994) synonym als Dentinadhäsiv bzw. Dentin bonding agent bezeichnet werden, in 4 Generationen ein.

Zur ersten Generation zählten Dentinadhäsive wie Cosmic Bond (De Trey<sup>®</sup>, 1965), Cervident (SS White<sup>®</sup>, 1965) und Palakav (Kulzer<sup>®</sup>), (van Meerbeek et al., 1994a) deren chemische Gruppe vor allem Cyanoacrylate, N-Phenyl-glycin- und Prisma-glycidyl-methakrylat (NPG-GMA) waren (Hickel, 1994; Yu et al., 1990).

Zur zweiten Generation, deren Produkte heute ebensowenig wie die der ersten zu erhalten sind (Yu et al., 1990; Swift et al., 1995), zählten Produkte wie z.B. Scotchbond<sup>®</sup>, Dentin Adhesit<sup>®</sup> oder Prisma Universal Bond<sup>®</sup> und viele mehr. Die meisten chemischen Gruppen waren Phosphatester und Polyurethane (Van Meerbeek et al., 1994a; Hickel, 1994; Yu et al., 1990; Swift et al., 1995).

Ziel dieser chemischen Gruppen, die als bifunktionelle Moleküle bezeichnet wurden, war es, einen chemischen Verbund zu anorganischen und oder organischen Bestandteilen des Dentins herzustellen (Van Meerbeek et al., 1994; Haller, 1994).

Nach Swift et al. (1995) und Asmussen und Munksgaard (1988) wurden Haftwerte von 1- 10 MPa erreicht, die zu schwach waren, um der Polymerisationsschrumpfung entgegen zu wirken.

Der Grund für die niedrigen Werte lag im sogenannten „Smear-layer“. Nach Tao et al. (1988) ist es egal auf welche mechanische Art und Weise die Zahnoberfläche behandelt wird, es bleibt immer eine Ansammlung oder Mischung von Schmelz-, Zement- und/oder Dentintrümmern, die in vivo mit Speichel, Blutzellen und Bakterien vermischt ist, zurück.

Durch diese Schmierschicht wird der direkte Kontakt zwischen Adhäsiv und Dentin verhindert und eine mechanisch belastbare Bindung ist somit nicht möglich (Van Meerbeek et al., 1994a; Swift et al., 1995).

Haller (1994) nimmt an, daß die erzielten Haftwerte der Haftung der Schmierschicht am Dentin gleich kommen und diese bei Kontakt mit Wasser bzw. Speichel durch Hydrolyse aufgelöst werden.

Ein neue Ära der Dentinhaftung begann mit der Einführung des Dentinadhäsives Gluma<sup>®</sup> in Europa und Tenure<sup>®</sup> in den USA. Dabei handelt es sich um ein Adhäsivsystem, das durch Vorbehandlung mit einem Primer, teilweise in Verbindung mit einem Konditionierer, gekennzeichnet ist (Haller, 1994).

Diese, als dritte Generation bezeichneten Haftvermittler, die mit Hilfe der Vorbehandlung den Smear-layer modifizieren oder entfernen, ist durch Kombination von chemischen Gruppen wie z.B. Glutaraldehyd/HEMA (2-hydroxyethylmethacrylat), Maleinsäure / HEMA / Bis-GMA oder Aluminiumoxalat gekennzeichnet (Yu et al., 1990; Hickel, 1994).

Eick et al. (1993b) spricht dieser Generation Haftwerte von über 17 MPa zu.

Haller (1994) und van Meerbeek et al. (1994b) definieren als Konditionierung Säuren wie die Phosphor-, Malein-, Salpeter-, Oxal- oder Zitronensäure in unterschied-

licher Konzentration und Chelatbildner, wie EDTA (Ethylendiaminessäure), die den Smear-layer entfernen und das Dentin entkalken.

Die Methode entspricht der bereits erwähnten und früher mißlungenen Dentin-Ätz-Technik. Dem Problem des Flüssigkeitsaustritts wird durch Auftragen des Primers begegnet. Diese stellen in Wasser, Ethanol oder Aceton gelöste Monomere bzw. Monomergemische dar, die mit ihrer hydrophilen Seite die relativ feuchte Bindungsfläche am Dentin benetzen, während sie mit ihrer hydrophoben Seite eine Verbindung zum später aufgetragenen Adhäsiv aufbauen.

Cox (1994) hat bewiesen, daß die Dentin-Ätzung keine negative Pulpareaktion hervorruft, wenn die Dentinwunde hinterher hermetisch vor einer bakteriellen Invasion abgeschlossen wird, was durch den Primer bewirkt werden soll.

Hickel (1994), der nach Joynt die chemische Gruppe der vierten Generation der Dentinadhäsive, die durch Prisma Universal Bond<sup>®</sup> 2 und 3, XR Bond<sup>®</sup>, Mirage<sup>®</sup> und All Bond<sup>®</sup> gekennzeichnet sind, nicht weiter chemisch klassifizierte, weist darauf hin, daß die Behandlung der Schmierschicht entscheidend für die Haftung des Dentinadhäsives am Dentin ist.

Die fünfte Generation der Dentinadhäsive kombiniert den Primer und das darauf folgende Adhäsiv in einer Lösung (Schneider 1998).

Von den fünf Behandlungsmöglichkeiten geht man heute mehr und mehr zur Möglichkeit der Entfernung der Schmierschicht über.

Die daraus resultierenden Produkte bezeichnet van Meerbeek (1994b) als universelle Dentinadhäsive, bei denen gleichzeitig der Schmelz und das Dentin angeätzt

wird, ein Verfahren, daß von Fusayama et al. (1979) demonstriert wurde und als "Total-Ätz"-Verfahren bezeichnet wird.

Der Grad der Dentinentkalkung wird von der Konzentration, von der Art der Säure und von der Applikationszeit bestimmt.

Die Vielzahl der erhältlichen Produkte unterscheidet sich neben den Säuren auch in ihrer Primerzusammensetzung.

Die im Primer einzeln oder mehrfach enthaltenen hydrophilen Monomere, zu welchen z. B. HEMA, BPDM (Bisphenylmethacrylat) oder 4-META (4-Methacryloxyethyl-trimellitatanhydrid) zählen, erhöhen die Benetzbarkeit der Dentinoberfläche für das später aufzutragende ungefüllte Komposit und vor allem verhindern sie, daß das durch die Säurebehandlung freigelegte kollagene Netzwerk kollabiert und schrumpft (Swift et al., 1995).

Diesen Vorgang bezeichnet Pashley et al. (1994) als „wet bonding“.

Wet-bonding und das Totale-Ätz-Verfahren führen als Ergebnis zur Bildung einer Schicht, die von Nakabayashi im Jahre 1982 zum ersten Mal beschrieben wurde und heute als Hybridschicht bezeichnet wird, bei der es zu einer optimierten Penetration von Monomer in die Kollagenmatrix und Dentintubuli gekommen ist (Pashley et al., 1993; Pashley et al., 1994; Gwinnett und Kanca 1992; Blunck, 1997; Haller, 1994; van Meerbeek et al., 1994a).

Rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen dieser Schicht, wie sie von van Meerbeek (1994b), Swift et al. (1995), Pashley et al. (1993) und vielen mehr durchgeführt wurden, zeigen sogenannte "resin tags", Primer der in die eröffneten Dentintubuli penetriert ist.

Pashley et al. (1994) sind der Meinung, daß diese "tags" nicht zur Verbesserung der Haftkraft beitragen, da sie keine feste Verbindung zur Wand des Dentintubulus aufweisen. Sie empfehlen deshalb eine geringere Ätztiefe.

Universelle Dentinadhäsive erreichen Haftwerte von 20-25 MPa in vitro (Swift et al., 1995; Eick, Robinson et al., 1993) und sollten somit einen spaltfreien Randschluß produzieren können.

Bowen's (1988) Wunsch nach Materialien, die sowohl am Schmelz, als auch am Dentin haften, wird heute durch die Forderung von Pashley et al. (1994) nach Entwicklung von Adhäsiven, die in einem Schritt ätzen und primen, ersetzt und durch die fünfte Generation Dentinadhäsive, die One-Bottle-Systeme, erfüllt.

Trotz der rapiden Entwicklung auf den angesprochenen Gebieten stellt die Klasse V Füllung in der restaurativen Zahnheilkunde eine Herausforderung dar. Die genaue Einhaltung der Arbeitsschritte, wie sie vom Hersteller vorgegeben werden, ist eine unabdingbare Voraussetzung für den Erfolg (Krejci et al., 1992a; 172, Kunzelmann et al., 1993; Van Meerbeek et al., 1994a).

Blunck (1997) fordert eine genaue Überprüfung der Füllungsnotwendigkeit, da keine absolut sichere Langzeitprognose abzugeben ist.

## **2.2 Verfahrenstechniken zur qualitativen und quantitativen Randanalyse**

Im Laufe der Zeit wurde eine Vielzahl von Versuchstechniken entwickelt, um Spalten bzw. Risse zwischen Zahnschicht und Füllungsmaterial nachzuweisen.

Aus diesen Bemühungen heraus entwickelte sich der Begriff "Mikroleakage" der von Kidd 1976 als Durchgang von Bakterien, Flüssigkeiten, Molekülen oder Ionen

zwischen einer Kavitätenwand und dem daran anschließenden restaurativen Material definiert wird (Taylor et Lynch, 1992).

Folgen davon sind Sekundärkaries nach dem Legen einer Füllung und mögliche Pulpaschädigungen durch Bakterien, des weiteren Randverfärbungen und schließlich der Füllungsverlust (Lutz et al., 1976).

### 2.2.1 Luftdruck und elektrochemische Leitfähigkeit

Eine der ersten Versuchstechniken wurde unter Zuhilfenahme von Druckluft durchgeführt. Druckluft wurde in die Wurzel eingeleitet und der Druckverlust wurde gemessen.

Ein weiteres Verfahren, das über den Wurzelkanal arbeitet ist die elektrochemische Studie. Hierbei wird eine Elektrode über den Wurzelkanal bis zum Kontakt mit der Füllung geführt, der Zahn wird versiegelt und in ein Elektrolytbad gelegt. Zwischen Zahn und Bad wird eine Spannung angelegt und der Stromfluß wird über Reihenwiderstand gemessen.

Beide Versuche haben keinen klinischen Bezug und es bestand bei beiden Verdacht zur Annahme, daß die Probenstoffe sich einen Weg durch die gesunde Zahnschicht bahnen (Taylor et Lynch, 1992)

### 2.2.2 Neutronenaktivitätsanalyse

Dieser Verdacht trat auch bei der Neutronenaktivitätsanalyse auf, jedoch war bei dieser Analyse, die Douglas et al. (1981) anwendeten, ein höherer klinischer Bezug hergestellt.

Ein chemischer Makierstoff (Mangan) kann in vivo in mögliche Spalten eindringen, anschließend wird der extrahierte Zahn im Nuklearreaktor mit Neutronen beschossen und es entsteht radioaktives Mangan. Die Höhe der radioaktiven Strahlung gibt über die Menge des penetrierten Mangans Auskunft und somit über den Grad der undichten Stellen (Taylor et Lynch, 1992).

### 2.2.3 Bakterienpenetration

Studien mit Penetrationsversuchen von Bakterien haben eine klinische Relevanz, hatten aber auch nur qualitative Aussagekraft. Die Weiterentwicklung dieser Tests durch Verwendung von sauren, künstlich erstellten kariösen Medien, dienen eher dem Nachweis der Folgen von Mikroleakage als daß sie sie selbst nachweisen.

### 2.2.4 Isotopentechnik

Eine heute noch angewendete qualitative Technik ist die Möglichkeit der Verwendung von Radioisotopen, die mit Hilfe eines geeigneten Röntgenfilms nachgewiesen werden (Fitchie et al., 1990).

Die einzelnen Versuchsergebnisse verschiedener Anwender untereinander sind schwer zu vergleichen, da zum einen viele Isotope zur Verfügung stehen, zum anderen unterschiedliche Parameter, wie der Abstand zwischen Strahlenquellen und Film oder die Belichtungszeit variieren und schließlich eine subjektive Kalibrierung der Experimentatoren vorgenommen wird.

### 2.2.5 Silbernitrat-Verfärbungstechnik

Eines der aufstrebenden Verfahren ist die Silbernitrat-Verfärbungstechnik (Barnes et al., 1993).

Die Technik beruht auf der Verwendung von zwei farblosen Komponenten, wie sie aus der Phototechnik bekannt sind. Silbernitrat in 50 %iger Lösung und Hydrochinon.

Wenn beide Komponenten in den Füllungsrand penetrieren können, treten sie anschließend als farbiger Niederschlag in Erscheinung.

Holtan et al. (1990) maßen mit dieser Technik die Mikroleakage entlang der Zahn-Restaurationsgrenze, indem sie den Zahn der Länge nach halbierten und den Rand unter einem Stereomikroskop mit eingebauter Kalibrierung beurteilten.

Das Hauptproblem dieser Technik besteht in der Tatsache, daß an Hand von halbierten Probenkörpern in zweidimensionaler Ebene ein eigentlich dreidimensional bestehendes Problem bewertet wird. Des weiteren ist die Interpretation des Ausmaßes von Penetration sehr subjektiv und schwer zu standardisieren.

### 2.2.6 Thermische Wechselbelastung

Die Belastung von zervikalen Füllungen und insbesondere deren Ränder durch Temperaturwechselbelastung offenbart wie keine andere Methode Schwachstellen des Kompositmaterials, sowie des Verbundes der Füllung mit dem Zahn (Clohson et Ketterl 1974; Crim und Mattingly, 1981).

Crim et Mattingly (1981) geben in ihrer Untersuchung Temperaturunterschiede, wie sie bei der Aufnahme von Speisen und Getränken im Mund kurzzeitig entstehen, zwischen 6°C und 67°C bei mehreren tausend Zyklen pro Jahr an.

Um diese Belastung im Modellversuch zu imitieren wird eine Belastung von 2000 Zyklen bei mindestens 50 ° C Temperaturunterschied als ausreichende, wenn nicht sogar unrealistisch hohe Belastung angesehen (Noack, 1988b; Crim et Mattingly, 1981).

Airoldi et al. (1992), Barnes et al. (1993) sowie Finger (1988) konnten zeigen, daß nach einer wechselweisen Exposition der restaurierten Zahnproben in unterschiedlich temperierten Bädern deutlich verstärkt Randimperfectionen auftraten.

In den meisten Studien wurden Bäder mit 55°C und 5°C verwendet, bei Zyklenzahlen zwischen 250 und 600 und einer Eintauchzeit pro Bad von 15s-120s (Barkmeier et al., 1995; Barnes et al., 1993; Kemp-Scholte und Davidson 1990b; Prati et al., 1991).

### 2.2.7 Farbstoffpenetration

Im Farbstoffpenetrationstest werden die Ränder einer, in einen natürlichen extrahierten Zahn gelegten Füllung einer Farbstofflösung ausgesetzt.

Nachdem die Lösung durch Wasser entfernt wird, kann unter Vergrößerung mit Hilfe eines Lichtmikroskops die Auswertung vorgenommen werden.

Vorteil ist, daß hier nur eine Lösung mögliche undichte Randstellen passieren muß.

Nach Lutz et al. (1991) ist dieses Verfahren ebenso wie die Auswertung von Replika im Rasterelektronenmikroskop eine Möglichkeit, die Randadaption von Füllungsmaterial hinsichtlich Qualität und Belastbarkeit zu analysieren.

### 2.2.8 Rasterelektronenmikroskop und quantitative Randanalyse

Die quantitative Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop (REM), kombiniert mit der Replikatechnik hat sich zur Analyse von adhäsiven Restaurationen bewährt (Dietschi et al., 1995; Friedl et al. 1997., 1997; Krejci et al., 1996; Kunzelmann et al., 1993; Lösche A. C. et al., 1996).

Zur Untersuchung am REM werden von den Proben zu unterschiedlichen Zeiten mit Hilfe von Silikonabformungen Replika aus Epoxidharz erstellt. Roulet et al. (1989) zeigten, daß durch dieses Verfahren eine genaue und reproduzierbare Vermessung des gesamten Füllungsrandes im Mikrometerbereich möglich ist. Die detailgetreue Qualität der Replika garantiert die Aussagefähigkeit der rasterelektronenmikroskopischen Untersuchung (Roulet, 1987a, 1987b).

Vorteil dieser indirekten Methode ist die Möglichkeit, die Proben einer vergleichenden Auswertung in Abhängigkeit von unterschiedlichen Behandlungsphasen zu unterziehen, da die Originalproben nicht belastet werden. Das Verfahren eignet sich somit sowohl für in vivo-Studien, als auch zur Verlaufskontrolle bei Longitudinalstudien (Krejci et al., 1992b; Roulet, 1987a, 1987b).

Die Überlegenheit der REM-Analyse besteht in der Option, durch das Maß der Vergrößerung eine Beurteilung der Morphologie und der Mikrostruktur des gesamten Füllungsrandes bis in das kleinste Detail vornehmen zu können (Eick et al., 1993b; Roulet, 1987b).

Die Replika werden bei 200facher Vergrößerung am Rasterelektronenmikroskop ausgewertet. Durch Kombination von Computer und der Analysesoftware "Quantigap" lassen sich auf dem Bildschirm exakte Strecken vermessen, die einem Bewertungskriterium zugeordnet werden können (Roulet, 1987b). Die Prozentsätze für die einzelnen Kriterien können mit Hilfe von Programmen wie SPSS (Superior Performing Software System) statistisch weiterverarbeitet werden. Wie in der Literatur

beschrieben, sind auch bei geringer Probezahl genaue Aussagen möglich. (Lutz et al., 1986; Roulet, 1987a; Schaller et al., 1988).

Problematisch bleibt die Interpretation durch den Untersucher, die trotz der, je nach Kontrastverfahren plastischen Darstellung, keine fehlerfreie Auswertung gewährleistet (Jensen et Chan, 1985).

Bei all den genannten Untersuchungsmethoden fällt in der Literatur jedoch die Forderung auf, die Vielzahl der Methoden auf wenige, standardisierte, vergleichbare und vor allem klinisch Relevante zu reduzieren, die neben qualitativer auch quantitative Aussagekraft beinhalten.

### 3 Zielsetzung der Studie

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluß verschiedener Dentinadhäsive und ihrer Füllungsmaterialien auf die marginale Integrität plastischer Klasse-V-Füllungen in einem In-vitro-Experiment zu bestimmen. Die Studie erfolgte mit der Methodik der quantitativen Randanalyse in unterschiedlichen morphologischen Bereichen, vor und nach künstlicher Alterung durch Temperaturwechselbelastung.

Folgende Fragestellung stand dabei im Vordergrund:

- Welche Auswirkung hat die Temperaturwechselbelastung auf die Qualität des Randschlusses ?
- Ist ein signifikanter Unterschied zwischen den einzelnen Materialien aus der Gruppe der Komposite, Kompomere und Glasionomerezemente feststellbar ?

Im Rahmen der Diskussion sollte zusätzlich geprüft werden, ob ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der quantitativen Randanalyse und eines unabhängig parallel durchgeführten Farbstoffpenetrationsversuches besteht.

### 4 Material und Methode

#### 4.1 Art und Herstellung der Kavitäten

Als Materialgrundlage für die Quantitative Randanalyse dienten Replika standardisiert erstellter gemischter Klasse V Kavitäten nach Black.

Die Kavitäten wurden in extrahierte, kariesfreie, von Belägen und Desmodontalresten gereinigten menschliche Molaren, deren Extraktionszeitpunkt innerhalb von 4 Wochen lag, präpariert. Die Zähne wurden nach der Extraktion sofort in einer mit Natriumazid versetzten Ringerlösung gelagert.

Die Standardisierung der Kavitäten wurde mit Hilfe eines Distanzhalters, bestehend aus kaltpolymerisierendem Kunststoff und federhartem Draht, der an ein Rotring-Winkelstück montiert war, erreicht (Bauer1998).

Mittels eines kugelförmigen Diamanten mittlerer Körnung ( 80 – 100 µm Nr. Fg 201, Fa. Intensiv, CH) wurde auf eine Tiefe von 1,5 mm vorpräpariert und anschließend die Füllung unter Benützung eines konischen Finierdiamantens mit einem Durchmesser von 2 mm (Nr. 3113S, Fa. Intensiv, CH) vollendet. Während der Präparation wurde versucht, die Kavität zur einen Hälfte in Schmelz und zur anderen in Dentin zu legen.

Die so vorbereiteten Zähne wurden zufällig auf 20 Gruppen zu je 10 Zähnen verteilt, wobei jeder Zahn eine gruppenspezifische Codenummer mit einem spitzen Diamantbohrer (NR. 852-011 C, Fa. Iso Diamant, München) eingraviert bekam.

Die Vorbehandlung des Dentins erfolgte nach den Angaben der Hersteller.

Nach Applikation der Füllungsmaterialien in einem Inkrement, zulässig durch die geringe Kavitätentiefe, und grober Überschuffentfernung erfolgte die Aushärtung mit einer Polymerisationslampe (Kulzer Translux CL<sup>®</sup>).

Die Endausarbeitung und Politur erfolgte mit Hilfe eines grünen Winkelstück und aluminiumoxidbeschichteten Scheibchen (Soflex<sup>®</sup> Nr. 1982 C, M, F, SF, Fa. 3M, USA) bei 14.000 U/min und Wasserkühlung. Durch nochmalige Augenkontrolle wurde eine möglichst perfekte Gestaltung des Randes ohne Überschuß gewährleistet.

Die Proben wurden während der gesamten Verarbeitung nach Möglichkeit befeuchtet oder in Wasser gelagert, damit ein Austrocknen der Zähne ausgeschlossen war.

Die so erstellten Füllungen wurden je nach Gruppe entweder 24h oder 3 Monate bei 37° in einer mit Natriumazid versetzten Ringerlösung im Thermoschrank aufbewahrt.

#### 4.2 Verwendete Materialien und Gruppeneinteilung

Aus Gründen der Übersicht werden in den nachfolgenden Tabellen 4.1 – 4.3 die verwendeten Dentinadhäsive, die Füllungsmaterialien und die Gruppeneinteilung nach Vorverhandlung und Lagerung dargestellt.

Typ	Dentinhaftmittel	Hersteller	Batch No.
One-Bottle-System	PSA <sup>®</sup> exp Primer I	De Trey, Dentsply, Konstanz	K15601
One-Bottle-System	PSA <sup>®</sup> exp Primer III	De Trey, Dentsply, Konstanz	K16991
One-Bottle-System	SCA Liquid <sup>®</sup>	Vivadent	
One-Bottle-System	Syntac Single Component <sup>®</sup>	Vivadent	80 8658
One-Bottle-System	Tri cure <sup>®</sup> EXM 156 Primer	3M; St. Paul, USA	155 PR
Conditioner	Ketac Conditioner <sup>®</sup>	Espe, Seefeld	0006X035
Conditioner	GC Dentin Conditioner <sup>®</sup>	GC Corp., Tokio, Japan	-
Primer, Adhäsiv	Prisma Universal Bond 3 <sup>®</sup>	De Trey, Dentsply, Konstanz	920708 Primer 920617 Adhäsiv
Primer, Adhäsiv	Syntac <sup>®</sup>	Vivadent	560387 Primer 560346 Adhäsiv 560423 Bond
Schmelzkonditionierung	Esticid Gel <sup>®</sup>	Kulzer	959 12.31 073

Tabelle 4.1 : Verwendete Dentinhaftmittel

Typ	Füllungsmaterial	Hersteller	Batch No.
Kompomer	Dyract <sup>®</sup> exp.	De Trey, Dentsply, Konstanz	9209136 expiry
Kompomer	Compoglass <sup>®</sup>	Vivadent	701 308
Hybridglassionomer	Photac-Fil <sup>®</sup>	Espe, Seefeld	0006
Hybridglassionomer	Fuji IILC <sup>®</sup>	GC Corp., Tokio, Japan	22 06 21
Hybridglassionomer	Tri cure EXM 156 GIZ <sup>®</sup>	3M; St. Paul, USA	155 L
Hybridglassionomer	Vari Glass VLC <sup>®</sup>	Caulk, Dentsply, USA	920924
Komposit	TPH <sup>®</sup>	De Trey, Dentsply, Konstanz	930211
Komposit	Tetric <sup>®</sup>	Vivadent	560672

Tabelle 4.2: Verwendete Füllungsmaterialien

Gruppe	Dentinverbundsystem	Applikation	Füllungsmaterial	Lagerung 1	TWL	Lagerung 2
1	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	20s härten, 1x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	0
2	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	20s härten, 1x appl. SÄT	TPH <sup>®</sup>	24h	X	0
3	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	20s härten, 1x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	3 Monate
4	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	20s härten, 1x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	3 Monate	X	0
5	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	2x10s härten, 2x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	0
6	PSA <sup>®</sup> exp Primer III 4/96 exp. OBS	2x10s härten, 2x appl. SÄT	TPH <sup>®</sup>	24h	X	0
7	PSA <sup>®</sup> exp Primer III 4/96 exp. OBS	2x10s härten, 2x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	0
9	Syntac <sup>®</sup> Single Com- ponent. OBS	Lt. Herst.	Compoglass <sup>®</sup>	24h	X	0
10	Syntac <sup>®</sup> Single Com- ponent. OBS	Lt. Herst. SÄT	Compoglass <sup>®</sup>	24h	X	0
12	Tri cure <sup>®</sup> EXM 156 Primer. OBS	Lt. Herst.	Tri cure EXM 156 Glasionomer <sup>®</sup>	24h	X	0
13	Tri cure <sup>®</sup> EXM 156 Primer. OBS	Lt. Herst.	Tri cure EXM 156 Glasionomer <sup>®</sup>	3 Monate	X	0
14	GC Dentin Cond. <sup>®</sup> , KOND	Lt. Herst.	Fuji II LC <sup>®</sup>	24h	X	0
15	Ketac Conditioner <sup>®</sup> KOND	Lt. Herst.	Photac Fil Appli- cap <sup>®</sup>	24h	X	0
16	PUB 3 <sup>®</sup> Primer, KOND	Lt. Herst.	Vari Glass <sup>®</sup>	24h	X	0
17	PUB 3 <sup>®</sup> , MS	Lt. Herst.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	0
18	PUB 3 <sup>®</sup> , MS	Lt. Herst.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	3 Monate
19	PUB 3 <sup>®</sup> , MS	Lt. Herst. SÄT	TPH <sup>®</sup>	24h	X	0
20	Syntac <sup>®</sup> , MS	Lt. Herst. SÄT	Tetric <sup>®</sup>	24h	X	0

Tabelle 4.3: Übersicht der Dentinvorbehandlung, Füllungsmaterialien und Lagerungsvarianten

### 4.3 Temperaturwechselbelastung

Anschließend wurden die Proben zur Simulation klinischer Temperaturbeanspruchung einer thermischen Wechselbelastung ausgesetzt. Dazu bediente man sich eines computergesteuerten Thermocyclinggerätes.

Die programmgesteuerte Hebevorrichtung dieses Gerätes (Mikromotor Isel-Automatic, Eiterfeld) tauchte abwechselnd einen mit Probezähnen gefüllten Behälter in ein mit destilliertem Wasser gefülltes Becken (Haake Fisons, Karlsruhe) dessen Wassertemperatur 55° betrug und anschließend in ein gleich konstruiertes Becken mit einer Wassertemperatur von 5°.

Die Verweildauer in den Becken betrug jeweils 30 sec, die Transferzeit ca. 10 Sekunden.

Es wurden 500 Zyklen durchlaufen.

### 4.4 Replikaerstellung

Von den Zähnen wurde unter Anwendung des Korrekturabdruckverfahrens Replika erstellt. Als Abformmaterial diente Silikon (Optosil<sup>®</sup> und Xantopren L blau<sup>®</sup>, Fa. Bayer, Leverkusen), als individuelle Löffel Kronkorken, deren Volumen und Retentionen optimale Verhältnisse für die Aufgabenstellung darstellten.

Das Korrekturverfahren sollte auf Grund des höheren Stempeldrucks eine detailliertere Oberflächendarstellung ergeben.

Weitere Abformungen erfolgten in den Gruppen nach dreimonatiger Lagerung und nach Thermowechselbelastung. Die so gewonnenen Abdrücke wurden mit einem

Epoxidharz (Epoxy-Die, Fa. Ivoclar, Lichtenstein) ausgegossen, wobei die Verarbeitung genau nach Herstellerangaben erfolgte.

#### 4.5 Voruntersuchung zur Erklärung von "Quellung" auf der Wurzeloberfläche

Bei Betrachtung der ersten Proben am REM fiel vermehrt, vor allem im Bereich Dentin zu Füllung, ein Aufquellen des Randbereiches auf.

Stichprobenartige Kontrollen über alle Gruppen verteilt, ergaben ein hohes Aufkommen dieser "Quellungen".

Es wurden daher natürliche extrahierte Zähne in unten aufgeführter Art und Weise behandelt und anschließend im Rasterelektronenmikroskop ausgewertet, um die Herkunft dieses Phänomens nachzuweisen und gegebenenfalls das Kriterium "Quellung" in die Analyse einfließen zu lassen.

Gruppe	Probenbehandlung
1	1 natürlicher Zahn getrocknet und besputtert
2	1 natürlicher Zahn mit Ultraschall gereinigt und besputtert
3	1 natürlicher Zahn mit Ultraschall gereinigt, mit Zirkatepaste poliert und besputtert
4	1 natürlicher Zahn mit Ultraschall gereinigt, anschließend ein Tropfen PSA Primer <sup>®</sup> exp. auf Krone und Wurzel und dieser Zahn dann nach 24 h Wasserlagerung besputtert

- 5 1 natürlicher Zahn wie in Gruppe 4 behandelt mit der Ausnahme, daß der Tropfen vor Wasserlagerung und Besputterung mit einer Soflexscheibe (feinste Körnung) poliert wurde
- 6 1 natürlicher Zahn mit Ultraschall gereinigt und anschließend mit Soflexscheiben (feinste Körnung) poliert, dann besputtert
- 7 und 8 1 natürlicher Zahn mit Ultraschall gereinigt, mit Ätzel geätzt, anschließend besputtert
- 9 1 natürlicher Zahn mit Ultraschall gereinigt u. der Länge nach gebrochen. Die eine Hälfte wurde poliert und mit Ätzel 10s geätzt, die zweite blieb unbehandelt
- 10 1 natürlicher Zahn mit Ultraschall gereinigt, anschließend 2x Primer appliziert, der jeweils 2 min. mit Licht gehärtet wurde. Der Zahn wurde der Länge nach gebrochen und eine Hälfte 2x für 3 min. geätzt, wobei das Ätzel auf den Primer aufgetragen wurde. Nach 3 min. wurde das Ätzel mit Wasser abgesprüht und der Zahn schließlich besputtert.
- 11 1 natürlicher Zahn wurde wie in Gruppe 10 behandelt, wobei hier das Ätzel auf die unbehandelte Bruchfläche in gleicher Weise wie in Gruppe 10 (2x für 3 min.) aufgetragen wurde.

Zwei längsgebrochene Zahnhälften wurden erreicht, indem der Zahn von der rückwärtigen Seite mit einer Trennscheibe zu ca. 2/3 angesägt wurde, um dann mit Hilfe eines Schraubenziehers endgültig auseinandergebrochen zu werden.

Neben oben genannten Gruppen wurde im REM auch noch Soflexscheiben begutachtet, um zu sehen, ob die "Quellungen" Abriebsreste der Scheiben sein könnten.

Beide Strukturen haben jedoch grundsätzlich unterschiedlichen Aufbau (Bild 4.1 im Gegensatz zu Bild 4.2). Neben den erwähnten Scheiben wies auch keine Probe der ersten neun Gruppen dieselbe Struktur auf, wie die der im REM untersuchten Proben.

Im Ansatz ähnliche Strukturen fanden sich nur bei den Proben, die mit PSA Primer® exp. behandelt wurden. Diese Ergebnisse waren jedoch äußerst unzufriedenstellend.

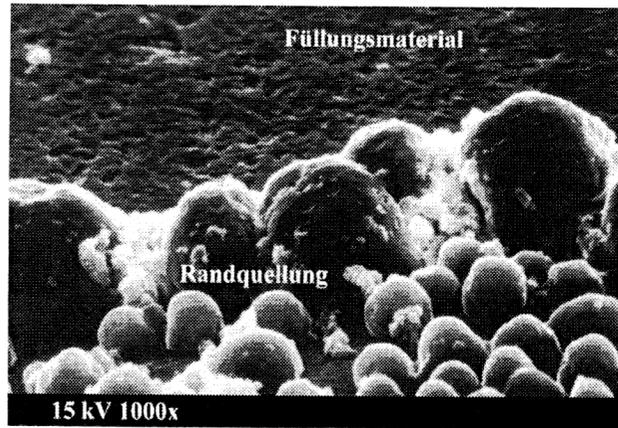


Bild 4.1: Morphologische Struktur der "Quellung" im Rasterelektronenmikroskop bei 1000facher Vergrößerung

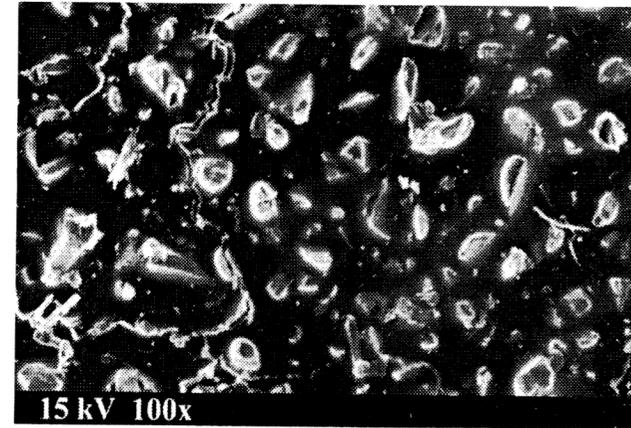


Bild 4.2: Oberfläche einer Soflexscheibe im Rasterelektronenmikroskop bei 100facher Vergrößerung

Deshalb wurde während der Versuchsreihe die Theorie aufgestellt, daß es sich bei besagter "Quellung" um PSA Primer® exp. handeln könnte, der in Dentinkanälchen eingedrungen war und nach Kontakt mit Wasser besagte Strukturen hervorruft.

Die Bestätigung dieser Theorie hätte bei dieser Studie, die die Randmorphologie von Füllungen in qualitativer und quantitativer Hinsicht beurteilt, ein Bewertungskriterium "Quellung" zwingend zur Folge.

Aus diesem Grund wurde Gruppe 11 erstellt. Ziel war es, im REM sogenannte Primer-tags nachzuweisen, nachdem die umliegende Dentinstruktur durch das Ätzelg aufgelöst worden war.

Auf Bild 4.3 und Bild 4.4 sind diese vermuteten Primer-tags deutlich zu sehen. Sie haben ihren Ursprung in der Primerschicht und setzen sich in Richtung Wurzelentin fort.

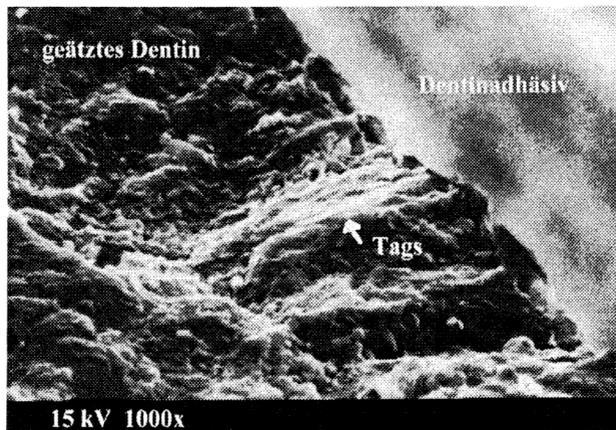


Bild 4.3: PSA Primer exp.-tags in geätzter Bruchhälfte bei 1000facher Vergrößerung.

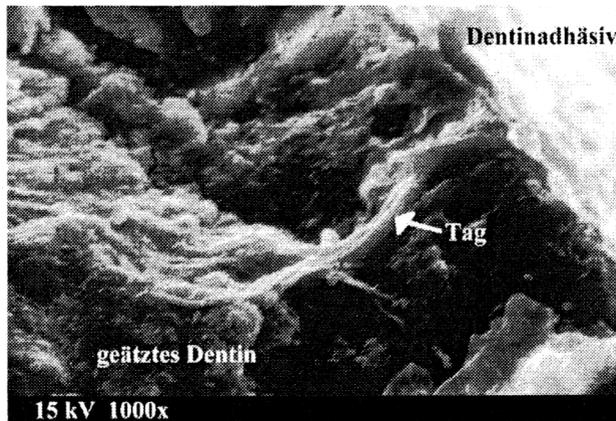


Bild 4.4: Langer Primer-Tag der sich tief in das Dentin hineinzieht.

Ausgehend von der Tatsache, daß beim Brechen des Zahnes Dentinkanälchen frei gelegt werden, müßten die PSA<sup>®</sup> Primer exp.-tags auch zu sehen sein, wenn die umliegende Dentinstruktur nicht angeätzt wird.

Dies wird durch die Bilder der Gruppe 10 bestätigt. Beide Bruchhälften (Bild 4.5, und Bild 4.6) weisen deutliche PSA<sup>®</sup> Primer exp.-Tags im Wurzelndentin auf.

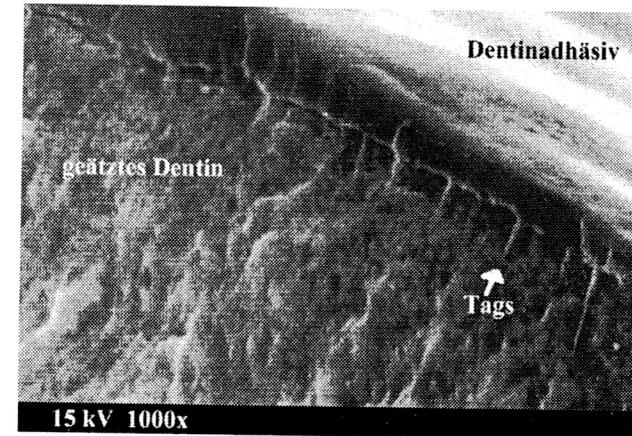


Bild 4.5: PSA<sup>®</sup> Primer exp.-Tags die sich von der Wurzeloberfläche ins Wurzelndentin fortsetzen (Vergr. 1000fach).

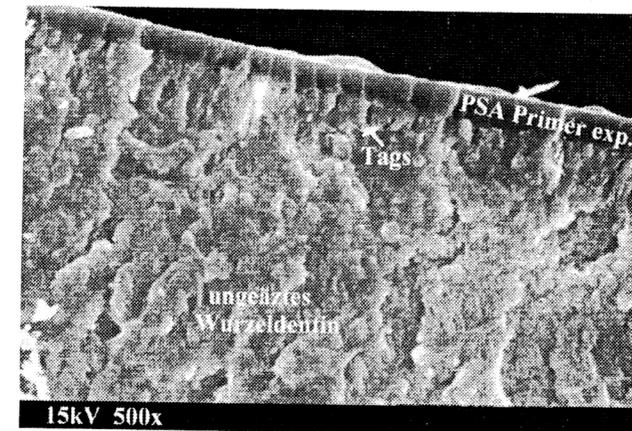


Bild 4.6: PSA<sup>®</sup> Primer exp.-Tags die sich in das ungeätzte Wurzelndentin fortsetzen.

Des weiteren ist anhand des Bildes Bild 4.7 zu erkennen, daß nach Verlust einer "Quellungskugel" ein Loch zurückbleibt, was beweist, daß die "Quellung" aus der Tiefe entspringt.

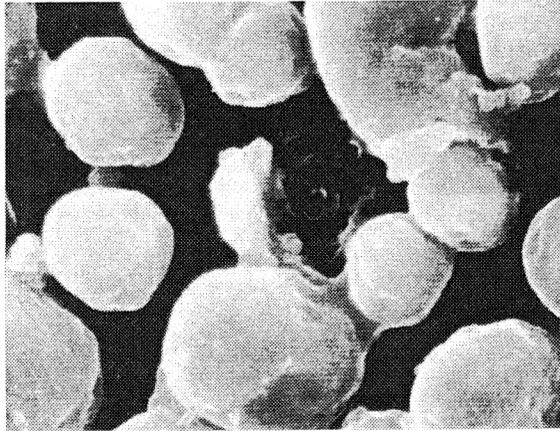


Bild 4.7: Nach Verlust einer "Quellungskugel" verbleibt ein Loch, das sich tief in die Wurzeloberfläche hineinzieht.

Die "Quellung" kann also durch PSA<sup>®</sup> Primer exp. erklärt werden, der in Dentinkanalchen eindringt und nach Wasseraufnahme aus diesem wieder hervorquillt, was besagte Strukturen hervorruft.

Es wurde daher für den weiteren Verlauf der Untersuchung das Kriterium "Quellung" als vierter eigenständiger Bewertungspunkt der Randmorphologie zwischen Zahnhartsubstanz und Füllung eingeführt.

#### 4.6 Qualitative und Quantitative Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop

Zur Bewertung der Proben im Rasterelektronenmikroskop mußten diese im Besputterungsgerät mit einer Goldbeschichtung versehen werden. Nach Behandlung mit dem Gerät SEM Autocoating Unit E 5200 (Polaron Equipment LTD, USA) unter den Bedingungen

Timer: 300 Sek.

Voltage: 20 mA

Pressure: 0,1 torr

erzielte man eine mittlere Schichtdicke von 200 Angstroem.

Für die Quantitative Randanalyse stand ein Leitz AMR-1200 (Fa. Leitz, Wetzlar) zur Verfügung. Die Auswertung erfolgte bei 200-facher Vergrößerung unter Berücksichtigung folgender Kriterien:

A: perfekter Rand

B: Spalt

C: nicht beurteilbar

D: Quellung

In den Bildern 4.8 – 4.11 sind Beispiele für die einzelnen Kriterien abgebildet.

Die auf dem REM-Monitor dargestellten Einzelbilder konnten mit Hilfe des Programms Quanti-Gap 2.1 (med. Softwarelösung, Erlangen) per initiiertem Digitalisiervorgang auf den Bildschirm eines PCs übertragen werden.

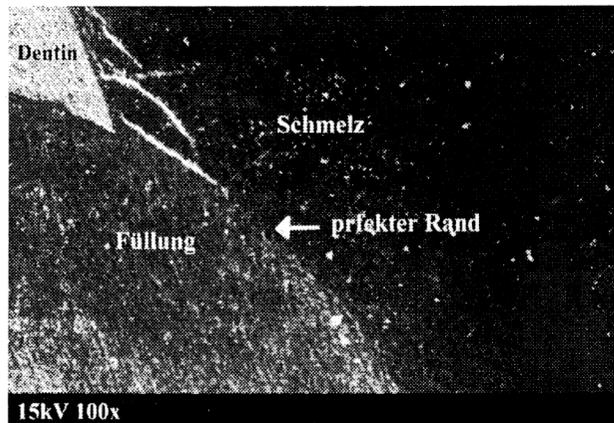


Bild 4.8: "perfekter Rand"-schluß zwischen Füllungsmaterial und Schmelz im REM (100x vergrößert); Gruppe 17 (PUB 3®; Dyract® exp.)

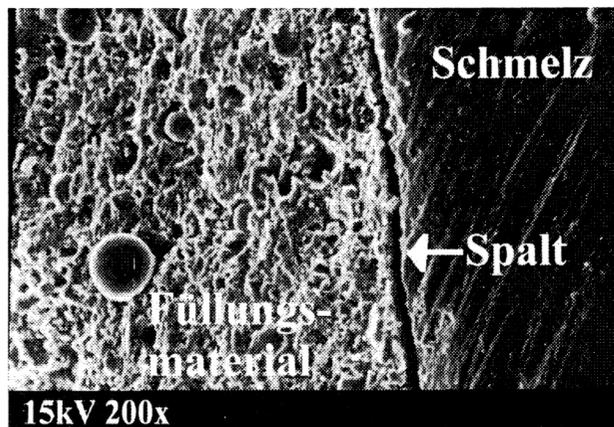


Bild 4.9: Randspalt im REM zwischen Schmelz und Füllungsmaterial bei 200facher Vergrößerung; Gruppe 15 (Ketac Conditioner®; Photac Fil Aplicap®)

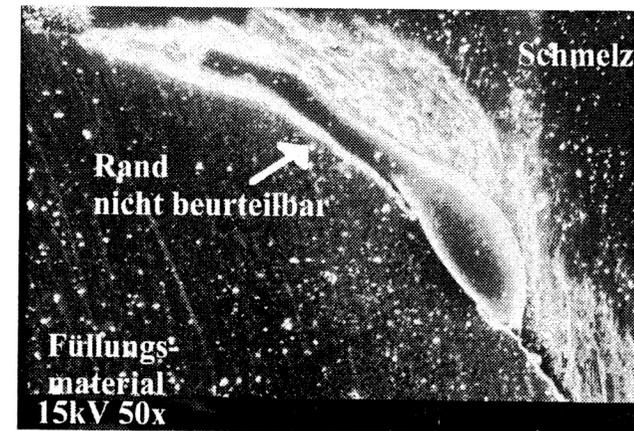


Bild 4.10: "Nicht beurteilbarer" Rand bei 50facher Vergrößerung in der Nähe der Schmelz-Zement-Grenze: Gruppe 2 (PSA® exp. Primer I; TPH®)

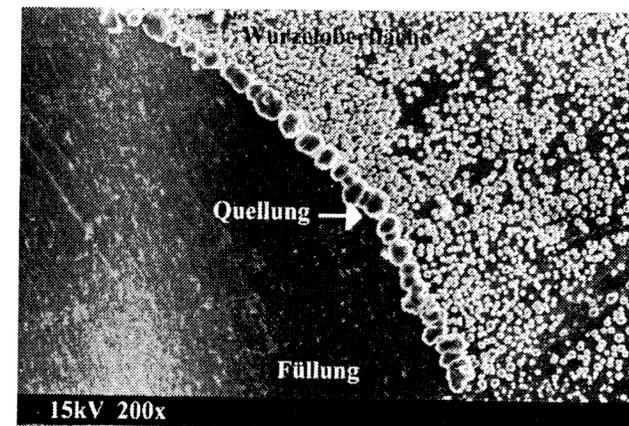


Bild 4.11: "Quellung" im Randbereich Füllung/Wurzeldentin bei 200facher Vergrößerung im REM: Gruppe 3 (PSA® exp. Primer I; Dyract® exp.)

Das zur quantitativen und qualitativen Analyse von Füllungsrandern verwendbare Programm Quanti-Gap 2.1 erlaubt die gesamte Bewertung eines Füllungsrandes, indem dieser in Form von Einzelbildern auf einen Computerbildschirm transferiert wird (Abbildung 4.1)

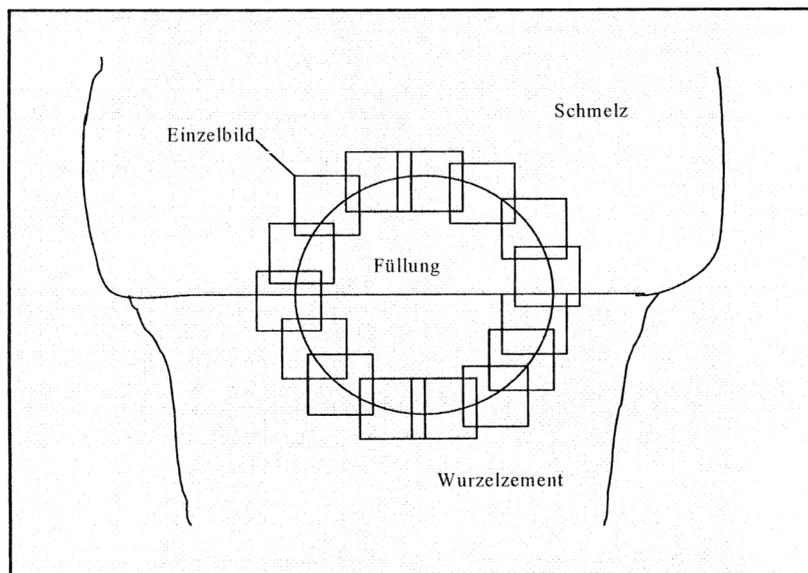


Abbildung 4.1: Schematische Darstellung der Randanalyse im Computerprogramm Quantigap als Serie von Einzelbildern.

Zur Längenvermessung wurde der im Programm installierte Längenmodus aktiviert; somit war es unter Zuhilfenahme der Maus möglich den Füllungsrand des Einzelbildes mit einer Linie nachzufahren.

Die Bewertungskriterien A-D konnten mit Hilfe der Tastatur (Buchstaben A-D) den entsprechenden Meßstrecken (in  $\mu\text{m}$ ) frei zugeordnet werden. Auf diese Weise

war es möglich, jeden beliebigen Füllungsbereich einem Bewertungskriterium zuzuordnen (Abbildung 4.2)

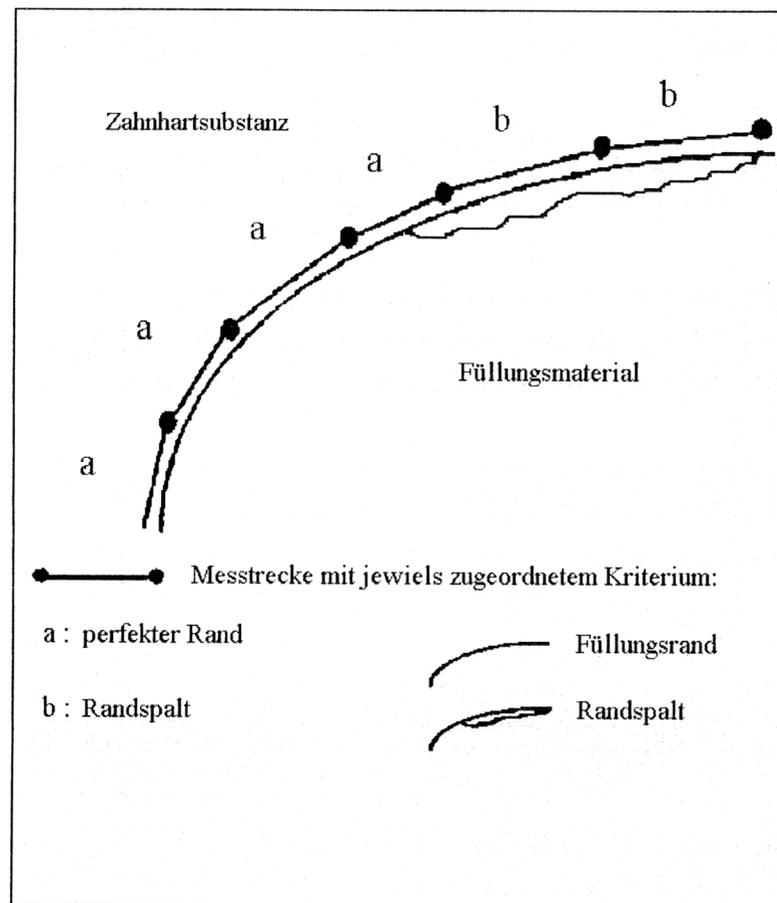


Abbildung 4.2: Schematische Darstellung der qualitativen und quantitativen Auswertung eines Randsegmentes.

Die im Programm zusätzlich installierten Breiten- und Flächenmodi wurden während dieser Untersuchung nicht verwendet und werden deshalb nicht näher besprochen.

In einer weiteren Aufteilung konnten eine Kurve 1 dem Randbereich Schmelz/Füllung und eine Kurve 2 dem Randbereich Dentin/Füllung zugeordnet werden. Dies geschah über die Tasten + und -, wodurch sich die Farbe der Meßlinie änderte.

Die Längen der einzelnen Meßstrecken mit gleichem Bewertungskriterium wurden von Quanti-Gap 2.1 während des Meßvorgangs aufsummiert und als Prozentanteil vom Gesamtfüllungsrand in einer Datei gespeichert.

Die so für jede Füllung gesammelten Daten konnten über einen Editor eingesehen werden, mit dessen Hilfe der Prozentanteil der Bewertungskriterien am Gesamtfüllungsrand getrennt für Kurve 1 und Kurve 2 anschaulich dargestellt werden konnte.

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Allgemeines

Für die Auswertung der gewonnenen Daten wurden die Gruppenmittelwerte der prozentualen Randlängenanteile der vier definierten Qualitätskriterien zur Beurteilung der marginalen Integrität der Füllung berechnet. Wie in Abbildung 5.1 dargestellt, wurde die Auswertung in zwei Abschnitte des Füllungsrandes unterteilt:

- |                           |               |
|---------------------------|---------------|
| a. Schmelzbegrenzter Rand | vor /nach TWL |
| b. Dentinbegrenzter Rand  | vor /nach TWL |

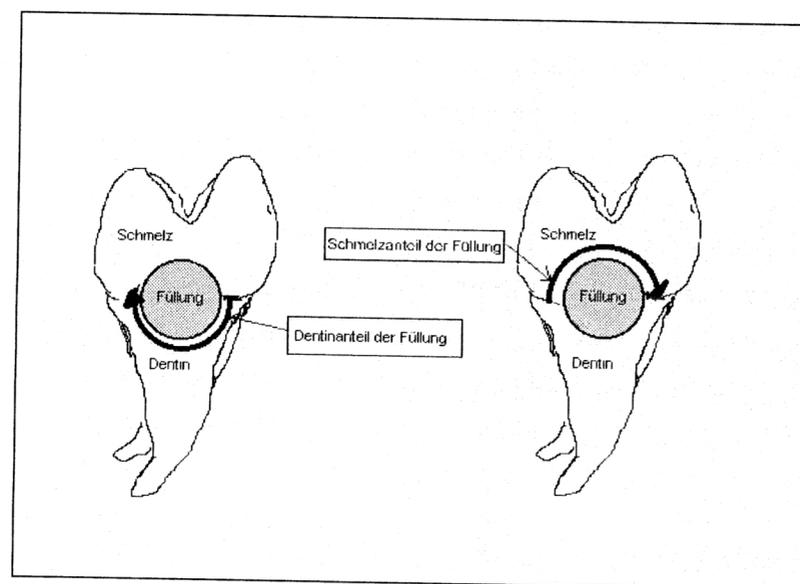


Abbildung 5.1: Verlauf der Messungen

Für beide Randanteile wurden mit Hilfe des Verfahrens der quantitativen Randanalyse die Anteile des jeweiligen Kriteriumspunktes vermessen und ausgewertet.

Im Anhang (Kapitel 9.3) sind die gesamten Mittelwerte und zugehörigen Standardabweichungen der prozentualen Anteile der einzelnen Bewertungskriterien der Randbeurteilung abgebildet.

## 5.2 *In-vitro-Untersuchung in Abhängigkeit von Füllungsmaterial und Probenvorbehandlung*

### 5.2.1 Statistisches Verfahren

Die statistische Auswertung der gewonnenen Daten wurde auf einem Personal-Computer mit Hilfe der Statistiksoftware SPSS for Windows 9.0 vorgenommen.

Die explorative Datenanalyse ergab bei den statistischen Tests auf Normalverteilung (Shapiro-Wilks-Test) und Varianzhomogenität (Levene-Test) nicht für alle Stichproben eine Normalverteilung der Werte bzw. Homogenität der Varianzen. Deshalb wurden Unterschiedshypothesen mit verteilungsfreien Prüfverfahren getestet. Auf Grund der Tatsache, daß es sich bei dem vorliegenden Zahlenmaterial um intervallskalierte Daten handelt, wurde zur Überprüfung der Nullhypothese bei zwei unabhängigen Stichproben der Mann-Whitney-U-Test und bei n unabhängigen Stichproben der Kruskal-Wallis-H-Test, bei einem Signifikanzniveau  $\alpha$  mit  $p < 0,05$ , eingesetzt.

Der Kruskal-Wallis-Test besagt bei einem signifikanten F-Wert aus, daß bei der gegebenen Irrtumswahrscheinlichkeit mindestens zwei der untersuchten n Stichproben signifikant unterschiedlich sind.

Durch die Verwendung multipler Stichprobenvergleiche kann man herausfinden, welche Stichproben signifikant voneinander abweichen. Je höher die Zahl der durchgeführten paarweisen Vergleiche mit Bezug zur selben Stichprobe ist, desto höher ist jedoch auch die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von statistisch signifikant unterschiedlichen Stichprobenpaaren, obwohl die Nullhypothese gilt. Je mehr Vergleiche durchgeführt werden, desto größer muß der Unterschied zwischen zwei Stichproben sein, um als signifikant erfaßt zu werden.

Gruppenspezifische Unterschiede mehrerer Gruppen im paarweisen Vergleich wurden deshalb mit dem Mann-Whitney-U-Test mit Adjustierung des  $\alpha$ -Niveaus nach der Anzahl der durchgeführten Vergleiche berechnet, was davor schützt, zu viele Differenzen als signifikant anzusehen.

$\alpha$  = Alpha-Niveau vor Adjustierung (0.05)

$$\alpha^* (k) = 1 - (1 - \alpha)^{1/k}$$

$\alpha^*$  = Alpha-Niveau nach Adjustierung

k = Anzahl der paarweisen Vergleiche

## 5.2.2 Abkürzungen

Kein Eintrag	=	p > 0,05	nicht signifikant
° / *	=	p < 0,05	signifikant
°° / **	=	p < 0,01	hoch signifikant
°°° / ***	=	p < 0,001	höchst signifikant
°, °°, °°°	=		Signifikanz vor thermischer Belastung
*, **, ***	=		Signifikanz nach thermischer Belastung

## 5.2.3 Die Klasse der Kompomere

Gruppe	Dentinverbundsystem	Applikation	Füllungsmaterial	Lagerung 1	TWL	Lagerung 2
1	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	20s härten, 1x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	0
3	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	20s härten, 1x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	3 Monate
4	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	20s härten, 1x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	3 Monate	X	0
5	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	2x10s härten, 2x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	0
7	PSA <sup>®</sup> exp Primer III 4/96 exp. OBS	2x10s härten, 2x appl.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	0
9	Syntac <sup>®</sup> Single Com- ponent. OBS	Lt. Herst.	Compoglass <sup>®</sup>	24h	X	0
10	Syntac <sup>®</sup> Single Com- ponent. OBS	Lt. Herst. SÄT	Compoglass <sup>®</sup>	24h	X	0
17	PUB 3 <sup>®</sup> , MS	Lt. Herst.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	0
18	PUB 3 <sup>®</sup> , MS	Lt. Herst.	Dyract <sup>®</sup> exp.	24h	X	3 Monate

## 5.2.3.1 Der schmelzbegrenzte Randanteil

perfekter Rand im Schmelz								
U-Test (adjust.α)	1	3	4	7	9	10	17	18
1					*			
3								
4								
7								
9							*	*
10								
17								

Tabelle 5.1: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Kompomere vor und nach Belastung

## a. Vor thermischer Belastung

Die Auswertung der Randqualitäten für den schmelzbegrenzten Füllungsabschnitt vor Thermischer Wechselbelastung ergab für keines der Kriterien einen signifikanten Unterschied.

Bei den Kompomeren hat die Gruppe 17 (PUB 3<sup>®</sup>/Dyract<sup>®</sup>) mit 85,0% den höchsten Anteil an "perfektem Rand", gefolgt von der Gruppe 9 (Syntac Single Component<sup>®</sup>/Compoglass<sup>®</sup>) 79,3% und 18 (PUB 3<sup>®</sup>/Dyract<sup>®</sup>), mit 78,9%. Während die Gruppen 1, 3 und 4 (alle PSA<sup>®</sup> Primer I/Dyract<sup>®</sup>,) und 10 (Syntac Single Component<sup>®</sup>/Compoglass<sup>®</sup> SÄT) Werte von 62,2% - 72,2% aufweisen, besitzt die Gruppe 7 (PSA<sup>®</sup> Primer III/Dyract<sup>®</sup>) mit 44,7% mit Abstand den schlechtesten Wert, ohne sich jedoch signifikant von anderen zu unterscheiden.

Der prozentuale Anteil des Kriteriums "Spalt" war in den Gruppen 17 und 18 (beide PUB 3<sup>®</sup>/Dyract<sup>®</sup>) mit 1,3% beziehungsweise 3,6% am geringsten. Die Gruppen

1, 3 und 4 (alle PSA<sup>®</sup> Primer/Dyact<sup>®</sup>) bewegten sich mit Werten zwischen 7,1 – 9,9% in der Rangfolge vor den Gruppen mit Syntac Single Component<sup>®</sup> /Compoglass<sup>®</sup> (Gruppe 9 mit 16,0% und Gruppe 10 mit 17,4%). Der Wert der Gruppe 7 lag erneut mit 29,3 % deutlich über denen der restlichen Gruppen ohne signifikanten Unterschied aufzuweisen.

Während die Werte für das Kriterium "Quellung" zwischen 0 – 2,2% lagen, war dieser Wert in den Gruppen 3, 4 und 7 mit 10,0 – 10,5% erhöht.

Für das Kriterium "nicht beurteilbar" lagen lediglich die Gruppen Syntac Single Component<sup>®</sup>/Compoglass<sup>®</sup> unter 10 % (4,85 bzw. 9,7%), alle anderen Gruppen lagen zwischen 11,9 – 17,9%.

#### b. Nach thermischer Belastung

Nach thermischer Wechselbelastung konnten statistisch signifikante Gruppenunterschiede für das Kriterium "perfekter Rand" festgestellt werden.

Der Anteil an "perfektem Rand" sank in den Gruppen 3, 4, (PSA<sup>®</sup> Primer/Dyact), 9, 10, (Syntac Single Component<sup>®</sup>/Compoglass<sup>®</sup>) 17 und 18 (PUB 3<sup>®</sup>/Dyact<sup>®</sup>), während er in den Gruppen 1 und 7 (PSA<sup>®</sup> Primer/Dyact) zunahm.

In den Gruppen 1 (PSA<sup>®</sup> Primer I/Dyact<sup>®</sup>) und 17 (PUB 3/Dyact<sup>®</sup>) war dieser mit 82,7%, und 78,9% signifikant höher als in der Gruppe 9 (Syntac Single Component<sup>®</sup>/Compoglass<sup>®</sup>, 40,6%).

Die Gruppen 4, 7 und 18 erreichten Werte zwischen 62,4% - 66,1%, die Gruppen 3 (47,3%) und 10 (41,3%) erreichten ebenso wie die Gruppe 9 Werte unter 50%.

Beim Kriterium "Spalt" zeigte sich in allen Gruppen ein Anstieg. Dieser fiel in der Gruppe 1 mit 0,6% am geringsten aus und war mit 9,6% der einzige Wert unter 10%. Die Werte der Gruppe 4, 7, 17 und 18 (11,95 – 16,1%) lagen unter, die der Gruppe 3 und 10 (26,5% und 24,4%) über 20,0%.

Der schlechteste Wert wurde wiederum in der Gruppe 9 mit 43,1% festgestellt.

Die Auswertung des Bewertungskriteriums "nicht beurteilbar" ergab für die Gruppe 1 und 17 ( 7,3 – 6,2%) eine Abnahme, für alle anderen Gruppen eine Zunahme der Werte. Unter 10% blieb die Gruppe 9 (8,3%), während die restlichen Gruppen mit Werten zwischen 17,2 – 34,1% keine signifikanten Unterschiede aufzeigten.

Im Bewertungskriterium "Quellung" zeigte sich in allen Gruppen, bis auf Gruppe 9 (Syntac Single Component<sup>®</sup>/Compoglass<sup>®</sup>) und 18 (PUB 3<sup>®</sup>/Dyact), eine Abnahme selbiger, ohne signifikante Unterschiede aufzuweisen.

## 5.2.3.2 Der dentinbegrenzte Anteil

perfekter Rand im Dentin								
U-Test (adjust.α)	1	3	4	7	9	10	17	18
1								
3								
4						°	*	
7								
9						°°	°	
10								
17								

Tabelle 5.2: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Kompomere vor und nach Belastung

Quellung im Dentin								
U-Test (adjust.α)	1	3	4	7	9	10	17	18
1								
3								
4								
7						°		
9						°°		
10								
17								

Tabelle 5.3: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Kompomere vor und nach Belastung

## a. Vor thermischer Belastung

Die Bewertungskriterien "perfekter Rand" und "Quellung" zeigten vor Belastung signifikante Unterschiede im Randabschnitt Dentin zu Füllung.

Mit einem Anteil von 83,4% an "perfektem Rand" ist dieser in Gruppe 9 hoch signifikant besser als in Gruppe 10 mit 5,3% (beide Syntac Single Component<sup>®</sup>/Compoglass<sup>®</sup>) und signifikant besser als in Gruppe 17 (PUB 3<sup>®</sup>/Dyract 21,9%). Der Anteil an "perfektem Rand" ist bei Gruppe 4 (38,9%) signifikant höher als bei Gruppe 10. Gruppe 1, 3, 7 und 18 (30,6 – 39,1%) reiht sich mit seinen Werten in der Nähe der Gruppe 4 ein, ohne signifikante Unterschiede aufzuweisen.

Die Anteile für das Kriterium "Spalt" bewegten sich bei Werten von 0,1 - 2,0%, nur die Gruppen 17 (PUB 3<sup>®</sup>/Dyract<sup>®</sup>), 7 (PSA<sup>®</sup> Primer III/Dyract<sup>®</sup>) und 18 (PUB 3<sup>®</sup>/Dyract<sup>®</sup>) zeigten mit 6,4%, 9,6 bzw. 10,0% erhöhte Tendenzen, jedoch ohne signifikante statistische Auswirkungen.

Das Kriterium "nicht beurteilbar" erhielt in der Gruppe 17 mit 16,6% seinen höchsten Wert gefolgt von den Gruppen 7 (8,4%) und 3 (4,1%). Die restlichen Werte lagen in einem Bereich von 0,5 – 2,0%.

"Quellung" war in der Gruppe 9 (Syntac Single Component<sup>®</sup>/Compoglass<sup>®</sup>, 14,1%) am seltensten vertreten und wies einen hoch signifikant niedrigeren Wert als Gruppe 10 (93,2%), und einen signifikant niedrigeren als die Gruppe 17 (55,2%) auf. Gruppe 10 war mit ihrem Wert signifikant schlechter als Gruppe 7 (42,9%). Bei den Vergleichsgruppen 1, 3, 4 und 18 traten Werte von 55,7 – 64,7% auf.

## b. Nach thermischer Belastung

Nach der Belastung waren signifikante Unterschiede bei dem Kriterium "perfekter Rand" auszumachen.

Der Anteil an "perfektem Rand" nahm in den Gruppen 3, 4 und 17 zu, in den restlichen Gruppen jedoch ab. Während die Gruppe 4 (PSA® Primer I/Dyract®) mit 43,4% Anteil einen signifikant besseren Wert als die Gruppe 10 (3,6%) aufwies, war bei den Gruppen 3 (40,1%), 17 (30,8%) und 18 (27,0%) mit ihren Anteilen eine Signifikants zur Gruppe 10 angedeutet. Dazwischen reihten sich die Vergleichsgruppen 1, 7 mit Anteilen von 18,3% und 24,7% ein und ebenfalls abgeschlagen mit einem Wert unter 10,0% die Gruppe 9 (8,8%).

Das Kriterium "Spalt" besaß Anteile von 0 - 3,9%, mit einer Abweichung der Gruppe 18 (13,4%) und 17 (13,3%) aus diesem Bereich. Daher war bei beiden Gruppen zur Gruppe 4 (0%) und Gruppe 9 (0%) eine Signifikants angedeutet.

Wie bei den vorherigen Beurteilungen war auch beim Kriterium "Quellung" nach Belastung im Gegensatz zu vorher eine Zunahme der Werte (Gruppe 1, 7, und 9) festzustellen, bei anderen wiederum eine Abnahme (Gruppe 3, 4, 10 und 17), während dieser Wert in Gruppe 18 annähernd konstant blieb.

Die Gruppe 10 (Syntac Single Component®/Compoglass®) nahm bei der Bewertung "Quellung" mit 90,9% den höchsten Anteil ein und wies zu den Gruppen 4 (42,0%), 17 (53,0%) und 18 (55,1%) die Andeutung eines statistisch signifikanten Unterschiedes auf. Auch der Wert der Gruppe 9 (Syntac Single Component®/Compoglass®) war mit 86,0% sehr hoch, während sich die prozentualen Anteil der Gruppen 1, 3 und 7 zwischen 51,8 - 76,7% betrugten.

Im Gegensatz zu den Werten vor Belastung waren die Ergebnisse für das Kriterium "nicht beurteilbar" bei allen Gruppen erhöht beziehungsweise annähernd konstant und lagen in einem Bereich von 1,1 - 19,5% mit Ausnahme der Gruppe 17, bei der eine Abnahme des Wertes festzustellen war.

Prozentuale Verteilung der 4 Kriterien in % im Dentin vor/nach TWL !

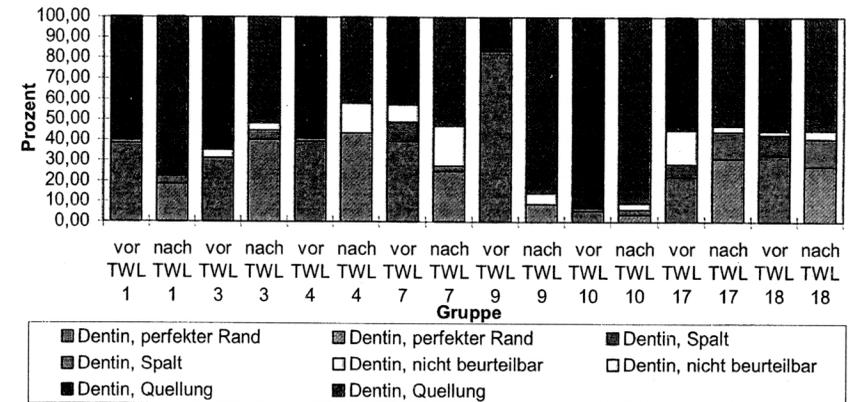


Diagramm 5.1: Verteilung der Randkriterien in der Gruppe der Kompomere vor und nach TWL im Bereich zum Dentin

Prozentuale Verteilung der 4 Kriterien in % im Schmelz vor/nach TWL !

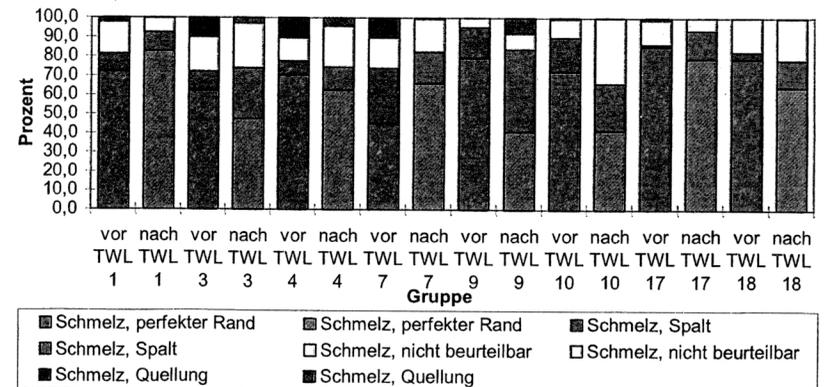


Diagramm 5.2: Verteilung der Randkriterien in der Gruppe der Kompomere vor und nach TWL im Bereich zum Schmelz

## 5.2.4 Die Klasse der Komposit

Gruppe	Dentinverbundsystem	Applikation	Füllungsmaterial	Lagerung 1	TWL	Lagerung 2
2	PSA <sup>®</sup> exp Primer I exp. OBS	20s härten, 1x appl. SÄT	TPH <sup>®</sup>	24h	X	0
6	PSA <sup>®</sup> exp Primer III 4/96 exp. OBS	2x 10s härten, 2x appl. SÄT	TPH <sup>®</sup>	24h	X	0
19	PUB 3 <sup>®</sup> , MS	Lt. Herst. SÄT	TPH <sup>®</sup>	24h	X	0
20	Syntac <sup>®</sup> , MS	Lt. Herst. SÄT	Tetric <sup>®</sup>	24h	X	0

## 5.2.4.1 Der schmelzbegrenzte Randanteil

## a. Vor thermischer Belastung

Im schmelzbegrenzten Anteil der Füllungen ergab die Auswertung für keinen der vier Kriterien einen signifikanten Unterschied.

Die Auswertung ergab für das Kriterium "perfekter Rand" Werte von 52,5 (Gruppe 19, PUB 3<sup>®</sup>/TPH<sup>®</sup>) - 85,7% (Gruppe 20, Syntac<sup>®</sup>/Tetric<sup>®</sup>).

Für die Kriterien "Spalt" und "Quellung" waren Anteile unter einem Prozent festzustellen, die sich bei ersterem zwischen 0, - 1,0% bewegten, bei zweiterem zwischen 0 - 0,7%. Eine Ausnahme stellte die Gruppe 2 (PSA<sup>®</sup> Primer/Dyract<sup>®</sup>) mit 6,4% Spaltanteilen dar.

Höhere Werte waren beim Kriterium "nicht beurteilbar" mit Anteilen von 13,5 - 20,9% vorhanden, wobei hier die Gruppe 19 (PUB 3<sup>®</sup>/TPH<sup>®</sup>) mit 46,6% deutlich aus diesem Bereich abwich.

## b. Nach thermischer Belastung

Auch nach thermischer Belastung ergab die Auswertung für keines der Bewertungskriterien einen signifikanten Unterschied.

Die Auswertung des Bewertungskriteriums "perfekter Rand" zeigte für die Gruppen 2 (PSA<sup>®</sup> Primer I/TPH<sup>®</sup>, 81,0%), 6 (PSA<sup>®</sup> Primer III/TPH<sup>®</sup>, 86,1%) und 19 (71,5%) eine Wertsteigerung, für die Gruppen 20 (80,4%) eine Wertminderung gegenüber der Situation vor Belastung an.

Der Anteil am Kriterium "Spalt" stieg nach Belastung in allen Gruppen an, bis auf die Gruppe PSA<sup>®</sup> Primer III/TPH<sup>®</sup>, in der er um 1,0% fiel und bewegte sich zwischen 0 - 10,0%.

Auch die Werte für "Quellung" wiesen nach Belastung generell, bis auf den gleichbleibenden bei Gruppe 6, höhere Ergebnisse auf und bewegten sich zwischen 0 - 1,9%.

Während die Gruppen 2, 6 und 19 nach Belastung niedrigere Anteile (8,5 - 25,5%) als vorher aufwiesen, blieb dieser bei Gruppe 20 (13,3%) für das Kriterium "nicht beurteilbar" gleich.

## 5.2.4.2 Der dentinbegrenzte Anteil

Dentin nicht beurteilbar				
U-Test (adjust. $\alpha$ )	2	6	19	20
2		**	*	**
6				
19				

Tabelle 5.4 Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Komposit vor und nach Belastung

## a. Vor thermischer Belastung

Die Auswertung ergab für kein Kriterium einen signifikanten Unterschied.

Die Gruppe 20 (Syntac<sup>®</sup>/Tetric<sup>®</sup>) wies mit 15,3% den höchsten Anteil an "perfektem Rand" auf, während die Vergleichsgruppen mit Werten zwischen 1,5 - 9,2% deutlich niedriger lagen.

Alle Gruppen wiesen mit Anteilen von 8,0% (Gruppe 20) - 10,9 (Gruppe 2), im Gegensatz zum Schmelzanteil, relativ hohe Werte für das Kriterium "Spalt" auf.

Die höchsten Anteile besaß das Kriterium "Quellung", wobei sich hier die Gruppe 20 mit 44,9% andeutungsweise signifikant von der Gruppe 2 (PSA<sup>®</sup> Primer I/TPH<sup>®</sup>, 79,3%) unterschied. Die Gruppen 6 und 19 ordnen sich mit 62,3% bzw. 71,7% dazwischen ein.

Trotz eines großen Bereichs von 3,0% bei Gruppe 2 bis 31,9% bei Gruppe 20 für das Kriterium "nicht beurteilbar" war in dieser Gruppe kein signifikanter Unterschied festzustellen.

## b. Nach thermischer Belastung

Nach thermischer Belastung konnten für die Kriterien "nicht beurteilbar" statistisch signifikante Unterschiede ausgemacht werden.

Der Anteil der Gruppe 2 (PSA<sup>®</sup> Primer I/TPH<sup>®</sup>,) von 14,0% am Kriterium "perfekter Rand" war in einer angedeuteten Signifikanz besser, als jener der Gruppen 19 (2,4%) und 20 (0,3%). Keine der Gruppen unterschied sich jedoch signifikant zur Gruppe 6, die mit 26,4% den höchsten Wert einnahm.

Generell war festzustellen, daß mit Ausnahme der Gruppe 20 (Syntac<sup>®</sup>/Tetric<sup>®</sup>) bei allen anderen Vergleichsgruppen eine Zunahme der Anteile "perfekter Rand" vorhanden war.

Ähnliches war für das Kriterium "Spalt" zu beobachten. Während für alle anderen Vergleichsgruppen die Anteile stiegen, war in der Gruppe 6 (PSA<sup>®</sup> Primer III/TPH<sup>®</sup>) ein Abfall zu verzeichnen. Die Werte lagen zwischen 3,4% und 23,3%.

Analog zum Kriterium "perfekter Rand" verliefen die Ergebnisse für das Kriterium "Quellung" in entgegengesetzter Richtung.

Eine Zunahme beim ersten Kriterium bedeutete eine Abnahme beim zweiten und umgekehrt. Das Kriterium nahm insgesamt mit Werten zwischen 35,7 - 66,5% einen niedrigeren und engeren Intervallbereich als vor Belastung ein.

Bis auf Gruppe 2 und 19 nahmen die Werte für den "nicht beurteilbaren" Rand zu. Gruppe 2 (PSA<sup>®</sup> Primer I/TPH<sup>®</sup>) wies mit einem Anteil von 0,9% in signifikantem Maße weniger "nicht beurteilbare" Anteile als Gruppe 19 (14,6%) und in hoch signifikantem Maße weniger als Gruppe 6 (34,5%) und 20 (44,7%) auf.

**Prozentuale Verteilung der 4 Kriterien in % im Dentin vor/nach TWL !**

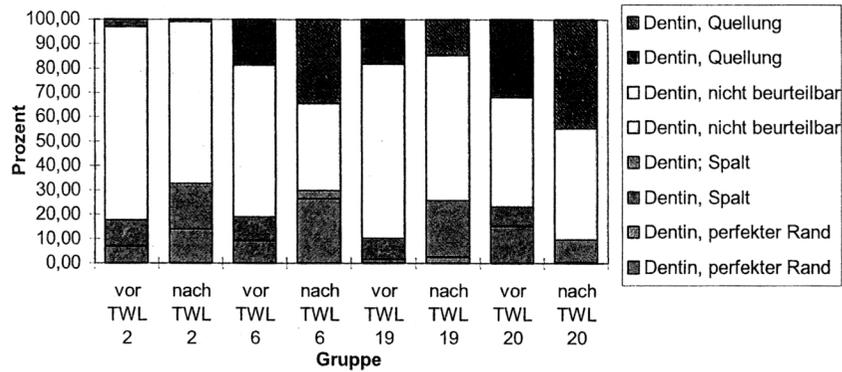


Diagramm 5.3: Prozentuale Verteilung der Randkriterien in der Gruppe der Komposit im Bereich zum Dentin

**Prozentuale Verteilung der 4 Kriterien in % im Schmelz vor/nach TWL !**

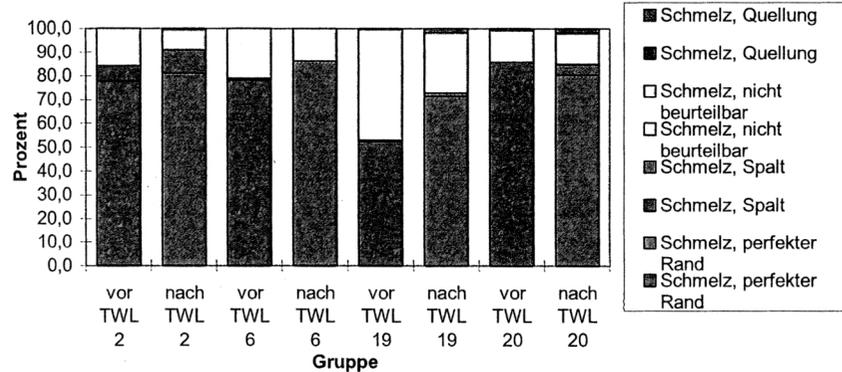


Diagramm 5.4: Prozentuale Verteilung der Randkriterien in der Gruppe der Komposit im Bereich zum Schmelz

5.2.5 Die Klasse der Glasionomerzemente

Gruppe	Dentinverbundsystem	Applikation	Füllungsmaterial	Lagerung 1	TWL	Lagerung 2
12	Tri cure <sup>®</sup> EXM 156 Primer.OBS	Lt. Herst.	Tri cure EXM 156 Glasionomer <sup>®</sup>	24h	X	0
13	Tri cure <sup>®</sup> EXM 156 Primer.OBS	Lt. Herst.	Tri cure EXM 156 Glasionomer <sup>®</sup>	3 Monate	X	0
14	GC Dentin Cond. <sup>®</sup> , KOND	Lt. Herst.	Fuji II LC <sup>®</sup>	24h	X	0
15	Ketac Conditioner <sup>®</sup> KOND	Lt. Herst.	Photac Fil Appli- can <sup>®</sup>	24h	X	0
16	PUB 3 <sup>®</sup> Primer, KOND	Lt. Herst.	Vari Glass <sup>®</sup>	24h	X	0

5.2.5.1 Der schmelzbegrenzte Anteil

U-Test (adjust.α)	12	13	14	15	16
12			° ***		° *
13			° *		
14				°° **	
15					°° **

Tabelle 5.5: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Glasionomerzemente vor und nach Belastung

U-Test (adjust.α)	12	13	14	15	16
12					°° **
13					°
14				°	**
15					°° **

Tabelle 5.6: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Glasionomerzemente vor und nach Belastung

U-Test (adjust.α)	12	13	14	15	16
12			° *	°	
13					
14					
15					

Tabelle 5.7: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Glasionomerzemente vor und nach Belastung

## a. Vor thermischer Belastung

In dieser Gruppe zeigte sich vor Belastung in allen vier Bewertungskriterien ein signifikanter Unterschied.

Den höchsten Anteil an "perfektem Rand" verzeichnete Gruppe 14 (GC Dent. Cond.<sup>®</sup>/Fuji<sup>®</sup>) mit 72,4% und war damit hoch signifikant besser als die Gruppe 15 (Ketac Cond.<sup>®</sup>/Photac-Phil<sup>®</sup>, 15,8%) und signifikant besser als die Gruppe 12 und 13 (beide Tri Cure<sup>®</sup> Primer und GIZ, 23,5% und 29,3%). Einen ebenfalls signifikant besseren Wert als Gruppe 15 wies mit 65,3% die Gruppe 16 (PUB 3<sup>®</sup>/Vari Glass<sup>®</sup>) auf.

Mit 43,1% Anteil am Kriterium "Spalt" wies die Gruppe 15 mit Abstand den höchsten Wert auf und war somit signifikant schlechter als die Gruppe 14 (8,5%) und hoch signifikant schlechter als die Gruppen 16 (0,6%). Letztere wiederum war hoch signifikant besser zu Gruppe 12 (Tri Cure<sup>®</sup> Primer und GIZ) mit 23,5% und signifikant besser zu Gruppe 13 (Tri Cure<sup>®</sup> Primer und GIZ) mit 29,3%.

"Quellung" war in den Gruppen 12 und 13 (beide Tri Cure<sup>®</sup> Primer und GIZ) mit 25,1% bzw. 18,2% am häufigsten vertreten. Erstere war sowohl zur Gruppe 14 als auch 15 (beide 0%) signifikant. Die Vergleichsgruppe 16 ordnete sich mit ihrem Wert (3,7%) dazwischen ein.

41,1% "nicht beurteilbarer" Rand bedeuteten für Gruppe Ketac Cond.<sup>®</sup>/Photac-Phil<sup>®</sup> den höchsten Wert gefolgt von den Gruppen Tri Cure<sup>®</sup> Primer und GIZ (Gruppe 12 mit 24,0% und 13 mit 24,2%) und Gruppe 14 (19,1%).

## b. Nach thermischer Belastung

Nach thermischer Belastung traten bei allen Bewertungskriterien mit Ausnahme des Kriteriums "nicht beurteilbar" signifikante Unterschiede auf.

Die Gruppen 12, 13 und 16 zeigten nach Belastung erhöhte Werte für das Kriterium "perfekter Rand", die Gruppen 14 und 15 einen erniedrigten. Der Höchstwert in Gruppe 14 (GC Dent. Cond.<sup>®</sup>/Fuji<sup>®</sup>) mit 70,5% war in höchst signifikanten Maße besser als derjenige von Gruppe 12 (24,9%), hoch signifikant besser als Gruppe 15 (12,3%) und signifikant besser als Gruppe 13 (40,5%).

Ebenso war die Gruppe 16 (PUB 3<sup>®</sup>/Vari Glass<sup>®</sup>, 67,0%) gegenüber der Gruppe 15 (Ketac Cond.<sup>®</sup>/Photac-Phil<sup>®</sup>) hoch signifikant und zur Gruppe 12 signifikant unterschiedlich.

Die Ergebnisse im Bewertungskriterium "Spalt" nahmen in allen Gruppen mit Ausnahme von Gruppe 13 zu.

2,5% war der geringste Wert in Gruppe 16, die somit hoch signifikant weniger "Spalt" aufwies als die Gruppen 15 (47,2%), 12 (30,7%) und 14 (17,8%). Gruppe 14 war mit einem Wert von 18,1% nicht signifikant unterschiedlich zu Gruppe 16.

Nach Belastung waren für das Kriterium "Quellung" entweder annähernd gleiche (Gruppe 14) oder aber gesunkene Werte (Gruppe 12, 13 und 16) festzustellen, nur in Gruppe 15 war eine Steigerung von 0% auf 6,7% erkennbar.

Hier zeigte sich ein Unterschied zwischen den Gruppen 12 (23,5%), die signifikant schlechter als Gruppe 14 war (0,5%), die restlichen Vergleichsgruppen reiheten sich mit Anteilen von 2,3 - 8,0% ein.

Auch im Kriterium "nicht beurteilbar" war die Gruppe 15 mit einem Anteil von 33,8% die schlechteste dicht gefolgt von der Gruppe 13 (33,4%) ohne sich signifikant von den restlichen Anteile, die sich zwischen 11,2 - 28,2% bewegten.

5.2.5.2 Der dentinbegrenzte Anteil

Spalt im Dentin					
U-Test (adjust.α)	12	13	14	15	16
12				oo **	
13				o *	
14				o *	
15					oo **

Tabelle 5.8: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Glasionomerezemente vor und nach TWL.

nicht beurteilbar im Dentin					
U-Test (adjust.α)	12	13	14	15	16
12				oo **	
13				o	
14				oo	*
15					

Tabelle 5.10: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Glasionomerezemente vor und nach TWL.

a. Vor thermischer Belastung

Die Auswertung des dentinbegrenzten Randanteiles ergab für alle vier Beurteilungskriterien einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen.

Wie auch im schmelzbegrenzten Randanteil war die Gruppe 14 (GC Dent. Cond.<sup>®</sup>/Fuji<sup>®</sup>) mit 66,2% im Kriterium "perfekter Rand" diejenige mit dem besten Wert und somit im hoch signifikanten Maße besser als Gruppe 15 (15,9%) und signifikant besser zu Gruppe 13 (29,3%). Zu den Gruppen 12 (6,9%) und 16 (2,7%) bestand sogar ein höchst signifikanter Unterschied.

Ebenso war im Kriterium "Spalt" die Gruppe 15 (Ketac Cond.<sup>®</sup>/Photac-Phil<sup>®</sup>) mit 25,3% die schlechteste mit einem signifikanten Unterschied zu den Gruppen 13 (2,2%) und 14 (1,0%) und einem hoch signifikanten Unterschied zu den Gruppen 12 (0,2%) und 16 (0%).

"Quellung" war mit 1,9% am wenigsten in Gruppe 15 vorhanden, höchst signifikant weniger als in Gruppe 12 (Tri Cure<sup>®</sup> Primer und GIZ, 88,8%), 13 (Tri Cure<sup>®</sup> Primer und GIZ, 74,5%) und 16 (PUB 3<sup>®</sup>/Vari Glass<sup>®</sup>, 72,5%). Mit einem Wert von 26,2% besaß die Gruppe 14 signifikant weniger "Quellung" als Gruppe 13, sowie hoch signifikant weniger als Gruppe 12.

"Nicht beurteilbar" waren mit Anteilen von 9,7% in Gruppe 13 signifikant weniger und mit 4,1% in Gruppe 12 bzw. 6,6% in Gruppe 14 hoch signifikant weniger Randabschnitte als in Gruppe 15 mit 56,9%. Zwischen diesen Werten lag Gruppe 16 mit 24,7%.

b. Nach thermischer Belastung

Auch nach thermischer Belastung stellten sich unter den Gruppen für alle vier Beurteilungskriterien signifikante Unterschiede heraus.

perfekter Rand im Dentin					
U-Test (adjust.α)	12	13	14	15	16
12			ooo		
13			o		
14				oo	ooo ***
15					*

Tabelle 5.9: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Glasionomerezemente vor und nach TWL.

Quellung im Dentin					
U-Test (adjust.α)	12	13	14	15	16
12			oo	ooo ***	
13			o	ooo *	
14					*
15					ooo ***

Tabelle 5.11: Paarweiser Vergleich in der Gruppe der Glasionomerezemente vor und nach TWL.

Für alle Gruppen waren nach Belastung höhere Anteile für die Bewertung "perfekter Rand" festzustellen. Gruppe 14 (GC Dent. Cond.<sup>®</sup>/Fuji<sup>®</sup>) besaß mit 78,0% den höchsten Anteil und war gegenüber Gruppe 15 (38,5%) andeutungsweise signifikant besser und gegenüber Gruppe 16 (9,0%) höchst signifikant besser. Ebenso war Gruppe 15 signifikant besser als Gruppe 16 (PUB 3<sup>®</sup>/Vari Glass<sup>®</sup>). Die Gruppe 13 lag mit 42,5% im Bereich von Gruppe 12 (42,7%).

Außer den Gruppen 12 und 15 mit annähernd gleichen Werten waren die Anteile für das Kriterium "Spalt" für die übrigen Vergleichsgruppen nach Belastung erhöht. Hoch signifikant schlechter als die Gruppen 12 und 16 mit Werten von 0% und 1,0% war die Gruppe 15 (24,4%), welche zur Gruppe 13 (3,0%) und 14 (2,3%) signifikant schlechter war.

Nach thermischer Belastung waren beim Bewertungskriterium "Quellung" bei allen Gruppen geringere Anteile als vor Belastung erkennbar. Mit einem Anteil von 0% wies die Gruppe 15 in einem statistisch signifikanten Maße bessere Werte als Gruppe 13 (41,5%) und in höchst signifikanten Maße bessere als Gruppe 12 (50,7%) und 16 (69,5%) auf. Die Gruppe GC Dentin Cond.<sup>®</sup>/Fuji II LC<sup>®</sup> war mit einem Anteil von 16,5% signifikant besser als Gruppe 16.

Während nach Belastung bei Kriterium "nicht beurteilbar" für die Gruppen 12 und 13 (beide Tri Cure<sup>®</sup> Primer und GIZ) eine Zunahme der Werte festzustellen war, zeigten die restlichen Vergleichsgruppen eine Abnahme. Der Anteil der Gruppe 14 (3,2%) war signifikant geringer als der von Gruppe 16 (20,6%) und hoch signifikant geringer als jener von Gruppe 15 (37,1%). Letztere Gruppe wies einen hoch signifikant unterschiedlichen Wert zu Gruppe 12 (6,6%) auf.

Prozentuale Verteilung der 4 Kriterien in % im Dentin vor/nach TWL !

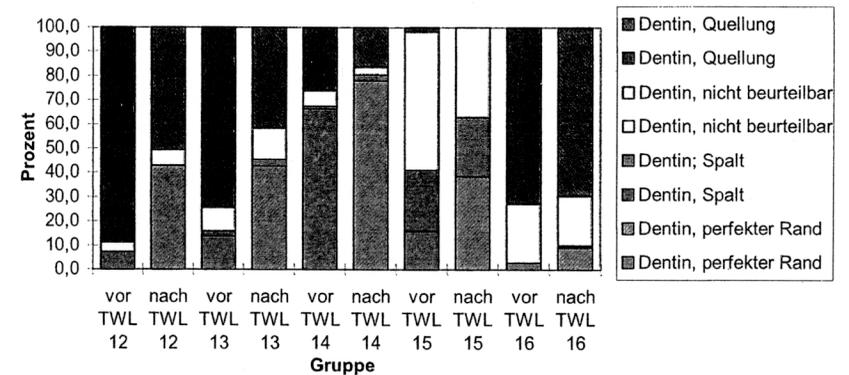


Diagramm 5.5: Prozentuale Verteilung der Randkriterien in der Gruppe der Glasionomerezemente vor und nach TWL im Bereich Dentin

Prozentuale Verteilung der 4 Kriterien in % im Schmelz vor/nach TWL !

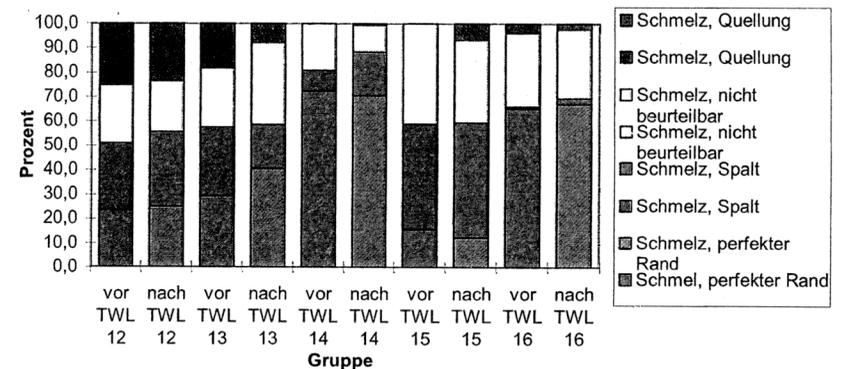


Diagramm 5.6: Prozentuale Verteilung der Randkriterien in der Gruppe der Glasionomerezemente vor und nach TWL im Bereich Schmelz

## 6 Diskussion

### 6.1 Material und Methode

Die Bewertung von Restaurationsmaterialien und -techniken ist von zentraler Bedeutung in der konservierenden Zahnheilkunde. Die lange Zeitspanne zur Gewinnung von Daten, ethische und finanzielle Aspekte, die Standardisierbarkeit und Reproduzierbarkeit der Testbedingungen als die großen Nachteile von klinischen Tests, stehen dem großen Vorteil der hohen Aussagekraft unter Voraussetzung einer exakten Meßmethodik gegenüber (Krejci et al., 1990b).

Labortests, wie die Bestimmung der Haftkraft von Haftvermittlern, Studien über Mikroleakage oder das Messen von Spalten rund um Füllungen werden daher auch weiterhin zur Entwicklung und anfänglichen Auswertung von adhäsiven Materialien notwendig sein (Oilo, 1993).

#### 6.1.1 Kavitätenhandling

Zahnärztliche Füllungswerkstoffe, die sich durch einen "chemischen und/oder mechanischen Verbund" mit der Zahnhartsubstanz charakterisieren, können hinsichtlich der Präparationsart unter dem Gesichtspunkt der maximalen Schonung der Zahnhartsubstanz betrachtet werden. Um eine vergleichbare Datenreihe von unterschiedlichen Materialien bezüglich ihrer Haftmechanismen auswerten zu können, wurden die Kavitäten mit Hilfe eines Abstandhalters präpariert.

Dies trägt der Forderung nach standardisierten Versuchsaufbauten, zumindest innerhalb dieser Versuchsreihe, bei In-vitro-Tesverfahren Rechnung (Rueggeberg, 1991), allerdings kommt den Ergebnissen dieser Arbeit durch die konische Kavitätä-

tenform und die relativ geringe Ausdehnung der Füllung im Vergleich zu klinischen Füllungen nach Lutz et al. (1993) mehr ein orientierender und erklärender Charakter zu.

Zusätzlich muß beachtet werden, daß die Kavitätenform den Richtlinien einer GIZ-Präparation entspricht (Hickel, 1989; Mount 1994), die, um die Zahl der Variablen bezüglich des Volumens gering zu halten, auf die Kompositfüllungen übertragen wurde.

Dadurch besteht in diesen Gruppen die Problematik, das die Kompositfüllung bei Quellung durch Wasseraufnahme wie ein Korken in der Flasche sitzt und somit passiv besser abdichtet, als es durch das DBA zu erwarten wäre (Abbildung 6.1).

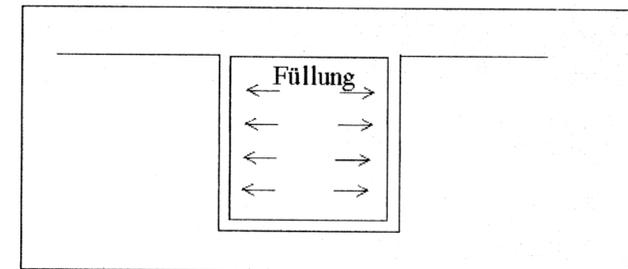


Abbildung 6.1: Verbesserte Abdichtung der Kompositfüllung durch hygroscopische Expansion.

Folglich läßt sich das Phänomen von "Quellung" im REM ursächlich durch H<sub>2</sub>O-Aufnahme des Dentinadhäsives (Kunzelmann et al., 1993) aber auch durch "herausquetschen" von DBA durch hygroscopische Expansion der Füllung (Kemp-Scholte et al., 1989) erklären (Abbildung 6.2). Gefördert werden kann diese Expansion durch einen erhöhten Restdoppelbindungsgehalt an den Grenz- und Kontaktflächen polymerisierter Komposite (Reinhardt, 1991; siehe auch 6.2.6 Einfluß der Wasserlagerung).

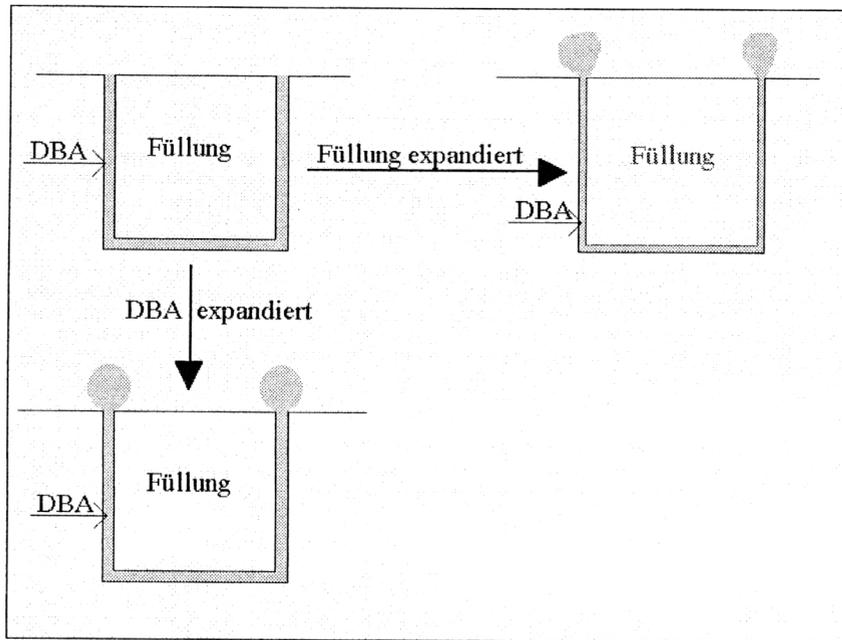


Abbildung 6.2: Schematische Darstellung der Ursachen für "Quellung" im REM.

Betrachtet man die einzelnen Techniken beim Füllen der Kavität, die als Ziel eine Verminderung der Bildung von Randspalten haben, so stellt man fest, daß einige Autoren die zwei oder mehrzeitige Schichttechnik befürworten.

Crim (1991) favorisiert eine zweizeitige Technik bei der zuerst der occlusale Teil der Kavität gefüllt wird. Retief (1994) ist, unabhängig vom occlusalen oder gingivalen Beginn der Schichttechnik, immer von einer mindestens 25%igen Reduzierung von Randspalten überzeugt. Auch Martin et O'Rourke (1993) sehen keinen unmittelbaren Unterschied abhängig vom Füllungsbeginn, sind jedoch der Meinung, daß eine

zweizeitige Technik mit Beginn am gingivalen Füllungsrand einer einzeitigen überlegen ist.

Haller (1994) ist der Auffassung, daß diese Untersuchungsergebnisse nur Ausnahmen von der Regel darstellen. Untersuchungen von Krejci (Krejci et al., 1992b; Krejci et Lutz, 1991) und Dietschi (1992) haben gezeigt, daß die einzeitige Technik den mehrzeitigen überlegen ist.

Auf Grund des freien Zugangs und optimaler Sicht mit dem unbewaffnetem Auge wurden alle Füllungen einzeitig mit anschließender grober Überschuffentfernung gelegt. Nach der Polymerisation erfolgte die endgültige Politur durch aluminiumbeschichtete Scheibchen mittlerer bis feinsten Körnung, wodurch eine gleichmäßige Abtragung von Füllkörpern und organischer Matrix eine effektive Oberflächen-glättung zur Folge hatte, ohne die marginale Integrität zu gefährden (Schmid et al., 1991; Matis et al., 1992).

### 6.1.2 Feuchtigkeitslagerung

Nach der Politur wurden die Proben im Thermoschrank bei 37°C mindestens 24h gelagert. Die durch Wasseraufnahme erfolgende hygroskopische Expansion kann den von der Polymerisationsschrumpfung herrührenden Volumenverlust des Komposits teilweise kompensieren (Torstensen et Brännström, 1988; Bowen et al., 1983). Das Gleiche gilt für die lighthärtenden Glasionomerezementen, während bei den herkömmlichen Glasionomerezementen durch die sofortige Wasserlagerung lediglich der Bruch des selbigen vermieden werden soll (Feilzer, Kakaboura et al., 1995).

### 6.1.3 In-vitro-Testverfahren

#### 6.1.3.1 Die Temperaturwechselbelastung

Die Belastung von zervikalen Füllungen und insbesondere deren Ränder durch Temperaturwechselbelastung offenbart wie keine andere Methode Schwachstellen des Kompositmaterials sowie des Verbundes der Füllung mit dem Zahn. Die Gründe dafür sind im unterschiedlichen thermischen Ausdehnungskoeffizienten von Komposit und Zahnhartsubstanz zu suchen (Lutz et al., 1991; Crim et Mattingly 1981).

Oilo (1993) gibt nach dem ISO-Dokument ISO CD TR 11405 eine standardisierte Zyklenzahl von 500 bei Temperaturen von 5° und 55°C an.

#### 6.1.3.2 Replikatechnik und Quantitative Randanalyse

Die Mikromorphologie der Füllungsänder lässt sich hervorragend mit Hilfe der bewährten Methode der Quantitativen Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop in Verbindung mit der Replika-Technik, darstellen (Haller, 1994; Jensen und Chan 1985; Krejci et al., 1994).

Da die Beurteilung der Replika die Proben selbst nicht belastet und somit auch Artefakte, die durch Trocknung der Proben entstehen können, vermeidet, ist eine mehrmalige Beurteilung der Proben nach verschiedenen Zustandsänderungen möglich. Dieses indirekte Verfahren lässt sich problemlos bei In-vitro-Studien einsetzen.

Die Qualität der Epoxidharz-Replika wird durch die Lagerung nicht beeinflusst. Deshalb eignet sich diese Methode gut für Longitudinalstudien; es können

Untersuchungen in länger auseinanderliegenden zeitlichen Intervallen erfolgen (Jensen und Chan 1985; Roulet, 1987a; Roulet 1987b).

Die originalgetreue Abformung der Füllungsoberflächen und -ränder wurde mit Silikonabformmassen durchgeführt. Die hohe Zeichengenauigkeit und das gute Anfließverhalten, sowohl des Silikons als auch des Epoxidharzes als Basismaterial für die Replika, erlauben eine detailgenaue Kopie der Probenzähne (Kemp-Scholte et Davidson, 1988; Roulet, 1987b). Da Oberflächenverunreinigungen bei den erreichbaren Vergrößerungsstufen in der anschließenden rasterelektronenmikroskopischen Auswertung eine genaue Analyse beeinträchtigen bzw. vereiteln können, wurde vor der Abformung eine gründliche Reinigung der Untersuchungsobjekte vorgenommen.

Die Überlegenheit der Inspektion der Randmorphologie der Replika im Rasterelektronenmikroskop besteht in der Option, durch hohe Auflösungen und Vergrößerungsstufen kleinste Unregelmäßigkeiten und frühe Veränderungen des Füllungsrandes beurteilen zu können (Gängler et al., 1990).

Durch Kombination mit einem Computer und geeigneter Analysesoftware lassen sich auf dem Bildschirm exakte Strecken markieren, denen durch den Untersuchenden genau definierte Randqualitätskriterien zugeordnet werden können (Krejci et al., 1994a; Roulet, 1988; Roulet, 1987b). Eine Quantifizierung der Ergebnisse kann so erfolgen (Blunck, 1989).

Die statistische Aussage stützt sich dabei auf die Vielzahl der Meßpunkte, welche sich bei 200-facher Vergrößerung ergeben (Krejci et al., 1994a; Kunzelmann et al., 1993; Roulet, 1988) und damit auch geringe Gruppengrößen zulässt (Blunck, 1989). Zahlreiche Studien zeigen, daß auch bei geringer Probenzahl genaue Aussagen möglich sind (Blunck, 1989; Roulet, 1987b).

Nach einer prozentualen Berechnung des Anteils jeder festgelegten Randqualität am gesamten Füllungsrand (Haller, 1994; Roulet, 1987b, 1988) wurden die ermittelten Werte statistisch weiterverarbeitet.

## 6.2 Ergebnisse

### 6.2.1 Auswirkung der TWL im Dentin

Eine Vielzahl von Studien mit ähnlichen Füllungsmaterialien und Dentinhaftvermittlern weisen an Hand einer eindeutigen Abnahme an "perfektem Rand" und einer Zunahme am Kriterium "Spalt" die negative Auswirkung der Temperaturwechselbelastung auf die Abdichtung der Materialien zur Zahnhartsubstanz nach (Mehl et al., 1994; Kunzelmann et al., 1993; Krejci et al., 1992a; Krejci et al., 1994b; Krejci et al., 1993).

Diese Studie folgt im Grundsatz im Bewertungskriterium "Randspalt" den Ergebnissen in oben erwähnten Studien.

Im Bereich "perfekter Rand" tritt ein Phänomen auf, das in der Literatur in diesem Ausmaß nicht beschrieben ist.

Während in den Gruppen 1, 7, 9, 10, 18 und 20 die Werte abnehmen, ist in allen anderen Gruppen, darunter die gesamte Gruppe der Glasionomerelemente eine Steigerung des Wertes feststellbar.

Die Zunahme der Anteile korrelierten in der Höhe des Wertes jedoch in erster Linie mit einer Abnahme des Kriteriums "Quellung", das im Gegensatz zu anderen Untersuchungen vor allem in der Gruppe der Kompomere mit Werten zwischen 42 - 91% weit höher lag (Kunzelmann et al., 1994 Prati et al., 1997a).

Kunzelmann et al., 1993 begründen die "Quellung" durch Wasseraufnahme von Dentinadhäsiven.

Bestätigung findet diese Annahme durch die Voruntersuchungen (siehe 4.5 Voruntersuchung zur Erklärung von "Quellung" auf der Wurzeloberfläche, Seite 32) und die Tatsache, daß die Gruppe Ketac Konditioner® /Photac Fil Aplicap® keine und die Polyacryl-Säurelösung des GC Dentin Conditioners® kaum "Quellung" aufweisen.

Thonemann et al. (1995) weisen auf die erschwerte Diagnose von Randbereichen hin, wenn "Quellung" vorhanden ist.

Wahrscheinlich war in all diesen Gruppen der Anteil an "perfektem Rand" höher als er sich durch den Zahlenwert darstellt. Ein Indiz dafür ist die sich plötzlich verbessert darstellende Randsituation nach Belastung, bei gleichzeitiger Reduktion des Kriteriums "Quellung".

### 6.2.2 Auswirkung der TWL im Schmelz

Im Bereich zum Schmelz gelten für das Kriterium "Spalt" die selben Ergebnisse wie im Bereich zum Dentin, auch hier konnte grundsätzlich die negative Auswirkung der TWL, in Form steigender Spaltraten nachgewiesen werden.

Lediglich in der Gruppe 7 und 13 war eine Abnahme nach TWL feststellbar. Die Ergebnisse in Gruppe 13 sind durch die Wasserlagerung des lichthärtenden Glasionomers erklärbar.

In Gruppe 7 geht die reduzierte Spaltrate zusätzlich auch noch mit einem höherer Wert an "perfektem Rand" einher.

Das Kriterium "Quellung" spielt im Bereich zum Schmelz nach Thonemann et al. (1995) keine Rolle; Manhart (1997) beschreibt in einer Studie über Klasse II Füllungen bei PSA einen Wert von 11%, der in dieser Studie Bestätigung findet.

Setzt man die gleiche Annahme wie im Dentin voraus, so reicht dieser Wert allein betrachtet nicht aus, um eine 22,5 %ige Steigerung an "perfektem Rand" zu erklären.

Da in dieser Gruppe zusätzlich noch eine Abnahme der Spaltrate festzustellen war, liegt die Vermutung nahe, daß die "Quellung" der zweimal applizierten PSA<sup>®</sup> Primerschicht für die Darstellung an "perfekten Randanteilen" verantwortlich war. Das selbe Phänomen war auch in der Gruppe 6 feststellbar, in der das Adhäsiv ebenfalls zweimal aufgetragen wurde.

In der Gruppe der Kompomere ist neben der bereits beschriebenen Gruppe 7 auch in der Gruppe 1 der Wert "perfekter Rand" nach TWL gestiegen. Die 9,5 %ige Steigerung geht mit einer ebenso hohen Abnahme des Kriteriums "nicht beurteilbar" einher.

Uhl (1997), Manhart (1997) und Lösche et al. (1997) stellen ähnliche Zusammenhänge fest und führen als Erklärung die Definition des Kriteriums an. "Nicht beurteilbar" ist ein Rand dann, wenn es im Verlauf der Replikaerstellung und Beschichtung im Sputtergerät zur Bildung von Blasen oder Inhomogenitäten auf Teilen der Replikaoberfläche kommt, welche den Randabschnitt überlagern und daher eine Beurteilung unmöglich machen. Deshalb fallen die zuvor gemessenen Werte für "perfekten Rand" wahrscheinlich zu gering aus.

Dies würde auch die generelle Zunahme an "perfektem Rand", mit Ausnahme der Gruppe 20 in der Gruppe der Komposite erklären.

In Gruppe 2 und 19 wird die Forderung von Manhart (1997) bestätigt, das Kriterium "nicht beurteilbar" weder positiv noch negativ für die jeweilige Gruppe auszulegen, denn die Abnahme in diesen Gruppen führt auch zu einer Zunahme am Kriterium "Spalt".

Der Anteil an "perfektem Rand" zeigt in der Gruppe der Glasionomerezemente kaum Veränderungen und entspricht den Untersuchungen von Lösche et al. (1996).

In dieser REM-Analyse kommt den Kriterien "Quellung" sowie "nicht beurteilbar" mehr Bedeutung zu als in der Studie von Mehl et al. (1994).

Beide Kriterien relativieren durch ihrer Bewertungsneutralität jedoch eine eindeutige Bestimmung des Einflusses der Temperaturwechselbelastung.

### 6.2.3 Vergleich der Ergebnisse Qualitative Randanalyse am Rasterelektronenmikroskop und Farbstoffpenetrationsversuch

Die Proben der Gruppen 1 - 20 wurden nach der Temperaturwechselbelastung sowohl an Hand einer quantitativen REM-Analyse als auch einer Farbstoffpenetrationsanalyse, durchgeführt von Bauer (1998), ausgewertet. Im folgenden sollen in der Diskussion beide Ergebnisse verglichen werden.

Dabei interessiert es in erster Linie, ob durch den Vergleich der Meßpunkte dicht und undicht aus der Farbstoffpenetrationsanalyse, mit den entsprechenden Werten

"perfekter Rand" und "Spalt" aus der REM-Analyse, Signifikanzen oder zumindest Tendenzen der einen Analyse durch die andere bestätigt werden können.

Es sei bereits an dieser Stelle auf die Problematik hingewiesen, daß bei einer quantitativen REM-Analyse der gesamte Rand und bei der Farbstoffpenetration nur Teilbereiche ausgewertet werden (siehe auch 6.2.7 Schlußfolgerung aus dem Analysenvergleich und klinische Relevanz Seite 91).

#### 6.2.4 Dichtigkeit der Dentinadhäsive

Beide Studien zeigen Übereinstimmung hinsichtlich der Tatsache, daß keines der Adhäsivsysteme in der Lage war, einen 100%igen Randschluß im Bereich der Zahnhartsubstanzen Schmelz und/oder Dentin zu erreichen. Dieses Ergebnis wird durch viele andere Studien bestätigt (Attin et al., 1996; Barkmeier et al., 1995; Chan et al., 1990; Fitchie et al., 1990; Haller et al., 1993a; Prati et al., 1991; Quinn, 1995; Retief, 1994).

Bestätigt wird in der Rasterelektronenmikroskopanalyse auch die Erkenntnis, daß die Kompositgruppen 2, 6, 19, und 20, unabhängig vom Dentinhaftsystem, einen deutlich besseren Verbund zum Schmelz als zum Dentin aufweisen.

Unterschiede zwischen den beiden Analyseverfahren ergeben sich in der Klasse der One-Bottle-Systeme (Gruppen 1 – 13).

Die Vorbehandlung mit PSA® Primer I exp. und PSA® Primer III 4/96 exp. führte auch unter der Betrachtung mit dem REM in der Summe zu der höchsten Anzahl an dichten Meßpunkten, diese lag im Schnitt jedoch circa 20% unter den Ergebnissen der Farbstoffpenetration.

Die gleichmäßige Verteilung dichter Randbereiche konnte in den Zahnhartsubstanzen Schmelz und Dentin nicht bestätigt werden. Die Differenzen "perfekter Randanteile" in beiden Zahnhartsubstanzen fielen in der REM-Analyse in den Gruppen 1,3,4 und 7 deutlich höher aus als die der Gruppe der Glasionomerezemente (Gruppe 12 – 16).

In diesen Gruppen brachten auch die Variationen und die Wasserlagerung hinsichtlich einer Erhöhung der Anteile an "perfektem Rand" keinerlei Verbesserung.

Es war bei der Untersuchung am REM im Gegensatz zum Farbstoffpenetrationsversuch lediglich im Verbund zum Schmelz durch die Polymerisationschrumpfung die Neigung zur Randspaltbildung gegeben.

Im Bereich Dentin war die bereits erwähnte Korrelation zwischen dem Kriterium "perfekter Rand" und "Quellung" festzustellen (siehe 6.2.1 Auswirkung der TWL im Dentin Seite 74).

Die Korrelation zeigte dahingehend Übereinstimmung zum Farbstoffpenetrationsversuch, das die Summen beider Werte annähernd gleich waren und sich bei Anteilen von mindestens 90% am gesamten Rand bewegten. Dabei hatte ein hoher/niedriger Wert an "perfektem Rand" immer einen niedrigen/hohen Wert an "Quellung" gegenüber stehen.

Lediglich die Gruppen 4 und 7 bildeten eine Ausnahme, da zu den beiden genannten Kriterien das Kriterium "nicht beurteilbar" gerechnet werden muß, um diese hohen Anteile zu erreichen, aber auch in dieser Gruppe bestand keine Neigung zur Randspaltbildung.

Die Auswertung am REM läßt daher im Bereich Dentin nicht die Aussage zu, daß sich bedingt durch die Polymerisationsschrumpfung eine konstante Neigung zur Randspaltbildung ergibt. Eine undichte Randstelle im Farbstoffpenetrationsversuch ist in seiner Häufigkeit im Dentin am REM nicht nachvollziehbar.

Mögliche Randspalten könnten im Rasterelektronenmikroskop durch "Quellung" überlagert worden sein und waren daher einer eindeutigen Beurteilung nicht zugänglich (Thonemann et al., 1995).

"Quellungen" am Füllungsrand wären in qualitativer Hinsicht als Schwachstelle im Verbund Zahnschmelz und Füllungsmaterial mit Spaltcharakter zu zählen (Attin et al., 1996). Dies wäre eine Erklärung für die relativ hohen Unterschiede in beiden Untersuchungen am Kriterium "Spalt" im Bereich Dentin.

Bei den Gruppen, die mit Syntac® Single Component behandelt wurden, kann die Vermutung, daß dieses System primär die Haftung am Dentin begünstigt, wie sie in der Farbstoffpenetrationsanalyse gewonnen wurde nur abgelehnt werden.

Mit "perfekten Randanteilen" unter 10% im Dentin und um die 40% im Schmelz stellten diese Gruppen mit Abstand die schlechtesten in der REM-Analyse dar. Die Anwendung der Säure-Ätz-Technik verhinderte im Schmelzbereich lediglich die Randspaltbildung, ohne den Anteil an "perfektem Rand" zu erhöhen oder das Ergebnis umzukehren.

Das Syntac® Single Component System erreichte in dieser Untersuchung einen weitaus schlechteren Dentinverbund als die PSA® Systeme, wobei die hohen gemessenen Anteile an "Quellung" in diesen Gruppen nicht unerwähnt bleiben sollten.

Der Tri Cure® EXM 156 Primer erzielte sowohl in der Farbstoffpenetrations- als auch in der REM-Analyse schlechte Ergebnisse. Die besonders ausgeprägte Hydrophilie des Systems in der initialen Abbindephase, aber auch eine starke Schrumpfung und eine verringerte Dehngrenze der Materialien (Bauer 1998) waren möglicherweise der Ausschlag für das schlechte Ergebnis.

Übereinstimmung zwischen beiden Analyseverfahren herrschte bei den Dentinkonditionierern auch bezüglich eines uneinheitlichen Erscheinungsbildes und schlechter Ergebnisse.

In beiden Verfahren erzielte die Gruppe 15 das schlechteste Ergebnis.

Die Gruppe 14 zeigte wie in der Vergleichsanalyse eine deutlich bessere Abdichtung im Dentinbereich. Im Gegensatz zur Vergleichsanalyse konnte auch im Schmelzbereich ein hoher Anteil an "perfektem Rand", der im Bereich der Gruppe der Komposite und Kompomere lag und auch in anderen Studien nachgewiesen wurde (Davidson und Abdalla, 1994), bestätigt werden. (Gladys et al., 1998 ; Hallett und Garcia-Godoy, 1993 ; Pachuta und Meiers, 1995 ; Prati et al., 1997b ; van Dijken und Horstedt, 1997).

Die Gruppe 16 schnitt im Farbstoffpenetrationsversuch im Vergleich zu den beiden anderen dentinkonditionierten Gruppen 14 und 15, durch alleiniges Auftragen des PUB 3® Primers relativ gut ab.

In der REM-Analyse wurde, neben einem wiederum erhöhten Anteil an "Quellung", der schlechteste Wert für "perfekte Randanteile" ermittelt.

Die Verwendung des PSA<sup>®</sup> Primers führt zu einer modifizierten Schmierschicht, die das Eindringen von Wasser nicht verhindert (Haller, 1994; Haller et al., 1993b; Wieczkowski et al., 1992). Verantwortlich dafür ist die Bildung von Spalten sowohl durch Mikroleakage zwischen dem Füllungsmaterial und der Schmierschicht als auch durch Nanoleakage. Sano et al. (1994) beschreibt als Nanoleakage die Penetrationsmöglichkeit von Flüssigkeiten in die Hybridschicht, auf Grund der unvollständigen Infiltration der Kollagenschicht mit Dentinadhäsiv. (Abbildung 6.3)

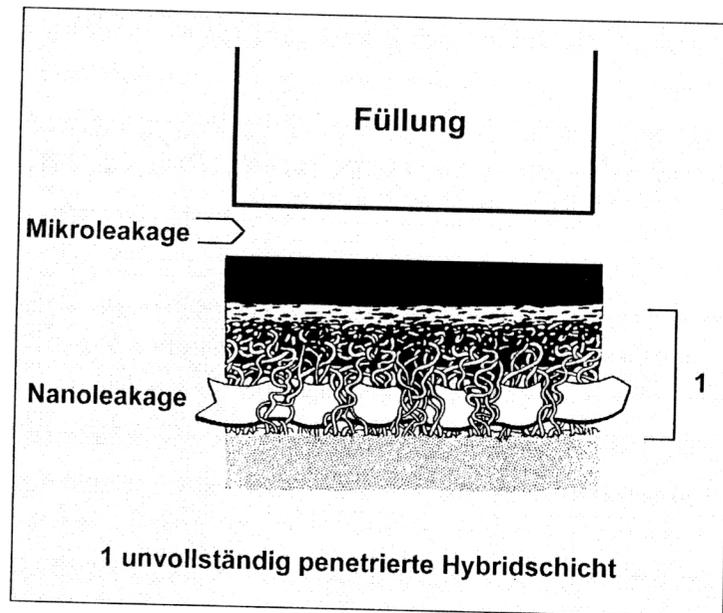


Abbildung 6.3: Schematische Darstellung von Mikro- und Nanoleakage.

Eine deutlich bessere Anheftung der Kunststoffanteile durch Imprägnierung der Dentinschicht, wie sie in den Ausführungen von Bauer (1998) vermutet wird, sollte jedoch im REM einen höheren Anteil an "perfekten Rand" zur Folge haben. Entscheidender scheint jedoch die Frage zu sein, in welchem Maße dem Kriterium

"Quellung" ein dichter Abschluß zwischen Dentin und Füllungsmaterial zugesprochen werden kann.

Gruppe 17 bestätigte die oben erwähnte Annahme im Farbstoffpenetrationsversuch, in der REM-Analyse war diesmal zwar ein erhöhter Anteil an "perfektem Rand" gegeben, jedoch war der Anteil an "Spalt" in dieser Gruppe ebenfalls extrem hoch, so daß auch hier die Annahme der besseren Anhaftung von Kunststoffanteilen durch Imprägnierung nicht bestätigt werden kann.

Der Vergleich zwischen PUB 3<sup>®</sup> und PSA<sup>®</sup> Primer I exp. verhielt sich in beiden Analyseverfahren im Schmelzbereich gleich.

Im Dentinanteil konnte die Tendenz zur besseren Randständigkeit des PSA<sup>®</sup> Primers nicht alleine durch die Tatsache bestätigt werden, daß diese Gruppe einen höheren Anteil an "perfektem Rand" aufweisen würde. Die alleinige Betrachtung dieses Kriteriums würde sogar das Gegenteil belegen. Es sind aber auf der anderen Seite in der Gruppe 1 mit 3,9% wesentlich weniger "Spalten" aufgetreten als bei PUB 3<sup>®</sup> in der Gruppe 17 (13,4%).

#### 6.2.5 Einfluß der Säure-Ätz-Technik

Unter Annahme der Hypothese, das im paarweisen Vergleich der Schrumpfung der verwendeten Füllungsmaterialien in den genormten Kavitäten gleich ist, ergeben sich zwei Erscheinungsbilder hinsichtlich der Haftung der Materialien an den unterschiedlichen Zahnhartsubstanzen.

Haftet das Material an einer Hartsubstanz besser als an der anderen, so resultiert daraus auf der schlechter haftenden Seite eine Spaltbildung.

Haftet das Material an beiden Substanzen mäßig, resultiert daraus die Verteilung von Spaltbereichen über die gesamte Füllung (siehe Beispiel in Abbildung 6.4).

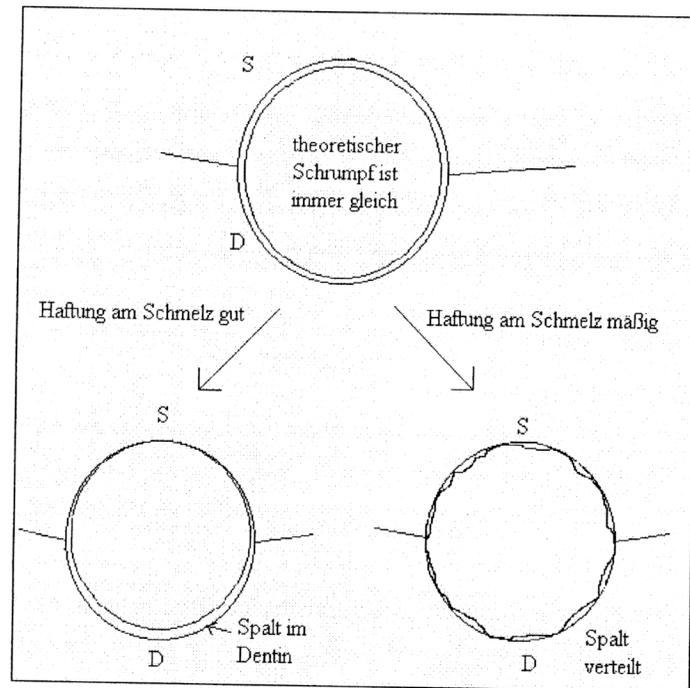


Abbildung 6.4: Spaltbildung in Abhängigkeit der Haftungsqualität des Füllungsmaterials am Schmelz.

Wie im Farbstoffpenetrationsversuch zeigte sich auch in der REM-Analyse bei den Gruppen mit Säure-Ätz-Technik (Gruppe 2, 6, 10, 19 und 20) der gleiche Trend im Vergleich zu den entsprechenden Gruppen ohne zusätzliche Schmelzkonditionierung (Gruppe 1, 7, 9 und 17) in der Hinsicht, daß die Schmelzkonditionierung im Dentinbereich eine Verschlechterung der Anheftung nach sich zog.

Bauer (1998) erreichte im Schmelz dichte Meßpunkte in den unter Verwendung von Säure-Ätz-Technik erstellten Gruppen zwischen 60 – 100%, in den Gruppen ohne Konditionierung 30 – 65%.

Eine wesentlich bessere Haftung des Füllungsmaterials am Schmelz durch Konditionierung als Beobachtungsgrund von Bauer und anderer Untersuchern (Retief, 1994; Attin et al., 1996, Mehl et al. 1994) wurde in der REM-Analyse durch alleinige Betrachtung des Kriteriums "perfekter Rand" nicht bestätigt.

Der annähernd gleichen Verteilung der Anteile in den jeweiligen Gruppenpaaren standen in den Gruppen ohne Säure-Ätz-Technik in der REM-Analyse wesentlich höhere Spaltraten gegenüber.

Gemäß der Interpretation eines dichten Randes, als den erfolgreichen Verbund gegenüber der Kontraktionsspannung, ist diese Tatsache als Bestätigung für die Behauptung zu sehen, daß die Schmelzhaftung durch die Säure-Ätz-Technik im Vergleich zur Dentinhaftung verbessert wurde.

Bestätigt wird diese Aussage durch die Ergebnisse im Dentinbereich. In beiden Untersuchungen waren die undichten Anteile beziehungsweise die Anteile mit "Spalt" bei den schmelzkonditionierten Gruppen erhöht.

Dieses Ergebnis ist dadurch bedingt, daß sich die gleichbleibende Schrumpfung des Füllungsmaterials in Richtung des Schmelzpoles abläuft, da die mikromechanische Bindung in diesem Bereich gegenüber der Bindung am Dentin überlegen ist (Davidson et al., 1984; Lösche et al., 1997).

Die Folge ist eine vermehrte Spaltbildung am Dentinrand (siehe Abbildung 6.4).

### 6.2.6 Einfluß der Wasserlagerung

Den Gruppen 1, 12 und 17 wurden die in der Verarbeitung identischen Gruppen 4, 13, und 18 gegenübergestellt, die sich lediglich in einer dreimonatigen Lagerung in Ringerlösung vor der REM-Analyse unterschieden.

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

Während der Wasserlagerung kommt es im applizierten Dentinverbundsystem und im verwendete Füllungsmaterial zur "Quellung" (Kunzelmann et al.; 1993, Manhart, 1997, Cattani-Lorente et al., 1999b ; Cattani-Lorente et al., 1999a ; Feilzer et al., 1995 ; Kanchanasavita et al., 1997 ; Rosenstiel et al., 1998 ).

Der Grad der Wasseraufnahme eines Komposites hängt neben dem Anteil an organischer Matrix und seinen physikalischen Eigenschaften auch vom Füllkörpertyp und dessen Verbindung zur Matrix ab (Kalachandra, 1989; Hirano et Hirasawa, 1990; Kullmann, 1990; Hannig et al.; 1994; Feilzer et al., 1990b).

Neben der hygroskopischen Expansion kommt es unter der Einwirkung von Temperatur zu einer Nachhärtung, wobei die nach der Polymerisation vorhandenen Restdoppelbindungen (Reinhardt, 1991; Ferracane et al., 1985) zu Einfachbindungen umgesetzt werden (Bagis et Rugeberg, 2000; Mohsen et al., 1998; de Gee et al. 1990). Der Grad der Umsetzung ist von der initialen Aushärtungszeit, der Höhe der Temperatur und der Kompositzusammensetzung abhängig (Ho et al., 2001; Mohsen et al., 1998).

Untersuchungen von Tanoue et al. (2000), Peutzfeld et Asmussen (2000), Harris et al. (1999), Mante et al. (1993) und McCabe et Kagi (1991) und vielen mehr konnten eine Verbesserung der physikalischen Eigenschaften wie Härte, Biegefestigkeit,

Verbundfestigkeit etc. durch den Nachhärtungseffekt mit Hilfe von erhöhten Temperaturen erzielen. Milleding et al. (1998) konnten diesen Nachhärtungseffekt bei reiner Wasserlagerung von dual-härtenden Befestigungszementen nachweisen.

De Gee et al. (1990) und Ferracane et Marker (1992) sind der Meinung, daß diese Verbesserungen vor allem auf einem Spannungsausgleich im Komposit zwischen Polymermatrix und Füllstoff zurückzuführen sind. Dabei dient die Wasseraufnahme als Stimulation für den Spannungsausgleich.

Eine positive Auswirkung auf die klinische Tragdauer ist umstritten. Neben einer höheren Farbstabilität ist der größte Vorteil der Nachhärtung die Steigerung der Biokompatibilität durch Reduzierung von freien Monomeren (Bagis et Rueggeberg, 2000; Bagis et Rueggeberg, 1997; Imazoto et al., 1995).

Viele Autoren weisen auf die Kurzlebigkeit der verbesserten physikalischen Eigenschaften während der Wasserlagerung hin. Unter Einfluß von Flüssigkeiten kommt es auf Lange Sicht gesehen zu einem Aufweichen der Kunststoffoberfläche und zur hydrolytischen Degeneration im Verbund zwischen Füllstoff und Matrix (Sarkar, 2000; Milleding et al., 1998; Ferracane et al. 1998; Indrani et al., 1995; Ferracane et Marker, 1992; Söderholm et al., 1984).

In der Verbundschicht Dentinhaftvermittler und Zahnhartsubstanz kann es einerseits zur Auflockerung der Polymerstruktur durch Quellvorgänge kommen, zusätzlich kann der zusammen mit dem Wasser aufgenommene Sauerstoff die oxidative Depolymerisation des Kunststoffes beschleunigen. Andererseits kann eine unvollständige Monomerpenetration in die Schmierschicht bzw. in das demineralisierte Kollagenfasergeflecht der Auswaschung von Hydroxylapatit und der hydrolytischen Degradation Vorschub leisten (Thonemann et al., 1995; Gwinnett et Yu, 1994; Haller et al., 1993b; Kunzelmann et al., 1993; Reinhardt, 1991).

Wie in den Untersuchungen von Kemp-Scholte et Davidson (1989) Hannig et al. (1994), und Torstensen et Brannström (1988) erklärt auch Bauer (1998) die Zunahme an farbstoffdichten Meßpunkten bei allen drei Vergleichspaaren nach Wasserlagerung durch die hygroskopische Expansion.

Eine generelle Verbesserung der Randdichtigkeit durch Wasserlagerung ist in der REM-Analyse nicht zu erkennen. Es zeigen sich vom Füllungswerkstoff, Adhäsiv und Zahnschmelz abhängige Veränderungen, die sich aber vornehmlich in den bewertungsneutralen Kriterien "nicht beurteilbar" und "Quellung" abspielen.

Im REM, bei der eine Gesamtbetrachtung des Füllungsrandes stattfindet, zeigt das entsprechende Kriterium "perfekter Rand" nur in einzelnen Bereichen, wie zum Beispiel im Schmelzbereich bei Gruppe 13 oder im Dentinbereich bei Gruppe 4, eine Zunahme.

Dies bestätigt Studien von Retief (1994) und Burgess et al. (1993), die belegen, daß verschiedene Füllungsmaterialien durch längere Wasserlagerung eine Volumenzunahme erfahren, die wiederum die bei der Polymerisation auftretende Schrumpfung kompensiert.

Diese Tatsache, aber auch eine denkbare Volumenzunahme des Kompositanteils im Dentinverbundsystem unter Wasserlagerung wie sie von Feilzer et al. (1990b) festgestellt wurde, hat lokalisiert verminderte Farbstoffpenetration zur Folge, kann sich jedoch in der Gesamtbetrachtung am REM nicht durchwegs als "perfekter Rand" darstellen.

Bestätigt wird die Möglichkeit der "Quellung" von Material oder Dentinadhäsiv durch die Tatsache, das in der REM-Analyse in allen wassergelagerten Gruppen der Anteil an "nicht beurteilbarer" Rand gestiegen war.

Es wurde nachgewiesen, daß auf lange Sicht nach Volumenzunahme gesehen eine hydrolytische Zersetzung der Verbundschicht auftritt (Gwinnett et Yu, 1995; Mehl et al., 1994; Thonemann et al., 1995).

Die daraus resultierende Verringerung der Randqualität kann sich am REM neben vermehrter Randspaltbildung als Über- oder Unterschuß im Kriterium "nicht beurteilbar" zeigen.

Haller et al. (1993b) weisen zudem darauf hin, das Quellvorgänge nach Wasserlagerung zur Auflockerung der Polymerstruktur führen können, die nach Thonemann et al. (1995) erst mit zunehmenden Alterungsprozeß im REM als "Spalt" diagnostizierbar sind.

Dadurch wäre die Abnahme an "perfekten Randanteilen" in den Gruppen 3, 4 und 18 im Schmelz zu erklären.

Im Dentinbereich stehen hohen Anteilen dichter Meßpunkte aus dem Farbstoffpenetrationsversuch niedrigen Werten "perfekter Rand" im REM gegenüber. Erst unter Hinzuziehen des Kriteriums "Quellung", den Bauer (1998) als möglichen zusätzlichen Abdichtungseffekt anführt, werden beide Ergebnisse angeglichen.

Im Dentinbereich ist für die Kompomere unter Verwendung des PSA<sup>®</sup> Primers durch Zunahme an "perfektem Rand" und Abnahme an "Spalt" tendenziell eine verbesserte Randabdichtung feststellbar.

Das Vergleichspaar mit PUB 3<sup>®</sup> als Dentinadhäsiv zeigte dagegen keinen Einfluß der Wasserlagerung.

Bei gleichem verwendetem Füllungsmaterial sind die Veränderungen auf die Dentinadhäsive zurückzuführen, mit dem Ergebnis, daß Adhäsive welche die Schmier-schicht auflösen auf Grund der größeren Oberfläche und daraus bedingt größerem Volumen eher einer Veränderung durch Wasserlagerung unterliegen, als Adhäsive, die die Schmierschicht belassen (Haller et al., 1993b; Mehl et al., 1994).

"Quellung" beziehungsweise Volumenzunahme führt also im Farbstoffpenetrationsversuch zum dichten Randschluß ohne das Bild eines "perfekten Randes" im REM darzustellen.

Nachdem in Klasse-V-Füllungen bereits die Verringerung der Randqualitäten sichtbar werden, kann die Befürchtung von Bauer (1998) geteilt werden, daß bei anderen Füllungsklassen, wie zum Beispiel der Klasse II, in stark geschwächten Zahnbereichen Frakturen auftreten können (Dietschi et Herzfeld, 1998; Haller et Trojanski, 1998).

Während Bauer (1998) zwischen der Wasserlagerung vor oder nach TWL keinen Unterschied festgestellt ist in der REM-Analyse tendenziell sowohl im Schmelz als auch im Dentin ein erhöhter Wert des Kriteriums "perfekter Rand" als auch ein niedriger für das Kriterium "Spalt" feststellbar, was mit Beobachtungen von Kemp-Scholte et Davidson (1989), Torstenson et Brännström (1988) und Hanning et al. (1994) übereinstimmt.

Bei den zwei GIZ-Gruppen ist die Verbesserung der Abdichtung durch "Quellung" im Schmelzbereich auch im REM nachvollziehbar, im Bereich zum Dentin ist die Steigerung der dichten Meßpunkte vom Farbstoffpenetrationsversuch nicht nach-

vollziehbar, da der Anteil an "perfektem Rand" gleich und die Spaltrate in der was-sergelagerten Gruppe sogar erhöht ist.

Bauer (1998) führt eine mögliche starke Schrumpfung und verminderte Dehngrenze des Materials an. Bedenkt man noch die Sensibilität der chemisch härtenden GIZ-Anteile in der Anfangsphase der Verarbeitung, können auch bei den verbesserten lighthärtenden Glasionomorzementen Brüche im Füllungsmaterial nicht ausgeschlossen werden (Hickel, 1989, Croll et Killian, 1992; Garcia-Godoy et Perez, 1993), die ,wenn sie in unmittelbarer Nähe des Meßpunktes gelegen sind, zu einem negativen Ergebnis führen.

Durch die Selbsthärtung des lighthärtenden GIZ der Füllung (Burke et al., 1990), aber auch durch "Quellung" des Kunststoffanteils während der Wasserlagerung ist ein möglicher Verschuß dieser Risse denkbar und somit auch die Ergebnisverbesserung im Penetrationsversuch ohne Auswirkung im REM.

#### 6.2.7 Schlußfolgerung aus dem Analysenvergleich und klinische Relevanz

Gemäß der Feststellung von Hickel (1994), daß die Bewertung von Dentinadhäsiven im direkten Vergleich auf Grund unterschiedlicher Ergebnisse verschiedener Untersuchungen derzeit nicht möglich ist, sind die Unterschiede in den Ergebnissen aus beiden Analyseverfahren zu groß, um bedenkenlos beide Verfahren in ihrer Aussagekraft gleichstellen zu können.

Der Grund für diese teilweise höchst unterschiedlichen Auswertungsergebnisse liegt mit Sicherheit in der Natur der Auswertungsverfahren .

Während beim Farbstoffpenetrationsversuch lediglich eine Alles-oder-Nichts-Reaktion an einem bestimmten Punkt der Füllung untersucht wird, kann mit der Analyse am Rasterelektronenmikroskop der gesamte Füllungsrand unter Berücksichtigung mehrerer Kriterien beurteilt werden.

Während ein positives Farbstoffpenetrationsergebnis nicht allgemein ein negatives an einer anderen Stelle der Füllung ausschließen kann, so ist am Rasterelektronenmikroskop über die Bindungsqualität in der Tiefe zwischen Haftvermittler und /oder verwendetem Füllungsmaterial einerseits und Zahnschubstanz andererseits keine Aussage möglich.

Eine dreidimensionale Auswertung der Farbstoffpenetration, wie sie Gale et al. (1994) beschreiben oder die fotodensitometrische Auswertung von Hofmann et al. (1998), die ebenfalls zu einer Gesamtbetrachtung des Randes führt, könnte zu einer Unterschiedsminimierung der Ergebnisse beitragen.

Pashley et al. (1994) und Sano et al. (1994) weisen zudem darauf hin, daß es auch an einem "perfekten Rand" im Farbstoffpenetrationsversuch Lösungen in die Verbundschicht eindringen können. Diese als Nanoleakage bezeichnete Tatsache erlaubt es nicht, eine Farbstoffpenetration mit einem Randspalt gleichzusetzen.

Vom klinischen Aspekt ist zudem noch von entscheidender Bedeutung, welche Auswirkung eine bestimmte Spaltenbreite überhaupt hat. Definitionen über akzeptable Spaltenbreiten liegen nicht vor und sind zudem vom verwendeten Füllungsmaterial abhängig. So konnte gezeigt werden, daß zum Beispiel bei GIZ-Füllungen im Vergleich zu Kompositfüllungen weniger Sekundärkaries gefunden wurde, obwohl bei GIZ im Vergleich zum Komposit/DBA im REM schlechtere Ergebnisse

bezüglich des "perfekten Randes" vorhanden waren (Hickel, 1994; Schneider, 1998b).

Abdalla und Davidson (1993) haben im Vergleich von in vitro und in vivo Ergebnissen wenig Zusammenhang herausgefunden. Sie stellten fest, daß in vivo die Glasionomere, in vitro die DBA's besser abschnitten.

Schneider (1998c) weist auf den Einfluß durch den Grad der Sklerosierung der Testzähne auf die Erfolgsraten hin.

Im sklerosierten Dentin erzielen Dentin-Bonding-Agents schlechtere Resultate, während Glasionomerzemente eher bessere Haftwerte aufweisen (van Meerbeek et al., 1994c).

## 7 Zusammenfassung

In dieser in vitro Studie wurde die Randdichtigkeit verschiedener Dentinadhäsivsysteme und ihrer Füllungsmaterialien in standardisierten Klasse-V-Kavitäten mittels der Quantitativen Randanalyse im Rasterelektronenmikroskop untersucht. Als Dentinadhäsive kamen One-Bottle-Systeme, Multi-step-Systeme sowie reine Dentinkonditionierer zum Einsatz. Die entsprechenden Füllungsmaterialien waren Kompomere, Komposit und kunststoffmodifizierte Glasionomerezemente. Der gesamte Füllungsrand wurde an Hand von vier Kriterien bewertet.

Die erzielten Ergebnisse aus der REM-Analyse und der Vergleich selbiger mit den Ergebnissen des Farbstoffpenetrationsversuches ließen erkennen, daß keines der verwendeten Materialien einen absolut dichten Randschluß im Schmelz und Dentin erzeugt.

Eine generelle Auswirkung der Temperaturwechselbelastung auf den Füllungsrand konnte nicht beobachtet werden. In einigen Gruppen wurde sogar nach TWL ein höherer Wert an "perfekten Randanteilen" gefunden, welcher jedoch im Dentin mit dem Kriterium "Quellung" und im Schmelz mit dem Kriterium "nicht beurteilbar" korrelierte.

Allgemein wurden im Dentinbereich gerade bei Verwendung der One-Bottle-Systeme hohe Werte für das Kriterium "Quellung" gefunden. Die Temperaturwechselbelastung scheint zum einen im Sinne einer möglichen thermischen Nachpolymerisation und zum anderen durch Wasseraufnahme und daraus resultierender "Quellung" des Dentinadhäsive Einfluß auf die Verbundschicht zwischen Zahn und DBA/Füllungsmaterial zu nehmen.

Da das Bewertungskriterium "Quellung" in dieser Untersuchung bezüglich seiner Aussagekraft für die Verbundqualität als neutral betrachtet wurde, muß es

Ziel weiterer Studien sein das Kriterium in qualitativer Hinsicht zu quantifizieren.

Tendenziell nimmt die Gruppe der mit PSA<sup>®</sup> Primer behandelten Proben und der lichthärtende Glasionomerezement Fuji LC II eine führende Stellung ein. Bei den Multi-step-Systemen zeigte sich ein bessere Haftung im Schmelz, was mit großer Sicherheit auf die Verwendung der Säure-Ätz-Technik zurückzuführen ist.

Die Klasse der reinen Dentinkonditionierer zeigte mit Ausnahme des GC Dentinconditionierer<sup>®</sup> im Schmelz schlechtere Ergebnisse als die der One-Bottle-Systeme.

**8 Literaturverzeichnis**

- Abdalla AI, Davidson CL (1993). Comparison of the marginal and axial wall integrity of in vivo and in vitro made adhesive class V restorations. *J Oral Rehabil* May 20(3):257-69.
- Airoldi RL, Krejci I, Lutz F (1992). In vitro evaluation of dentinal bonding agents in mixed Class V cavity preparations. *Quintessence Int* 23 5:355-361.
- Asmussen E, Antonucci JM, Bowen RL (1988). Adhesion to dentin by means of Gluma resin. *J Dent Res* 96:584-9.
- Asmussen E, Munksgaard EC (1985). Bonding of restorative resins to dentine promoted by aqueous mixtures of aldehydes and active monomers. *Int Dent J* 35:160-165.
- Attin T, Vataschki M, Kielbassa AM, Prinz H, Hellwig E (1996). Randqualität von lighthärtenden Glasionomerzementen und Dyract® in keilförmigen Defekten Klasse I und Klasse V Kavitäten. *DZZ* 51:117-22.
- Bagis YH, Ruegggeberg FA (2000). The effect of post-cure heating on residual, unreacted monomer in a commercial resin composite. *Dent Mater* 16(4):244-7
- Barkmeier W, Erickson RLL (1994). Shear bond strength of composite to enamel and dentin using Scotchbond Multi-Purpose. *Am J Dent* 7:175-179.
- Bagis YH, Ruegggeberg FA (1995). Mass loss in urethane/TEGDMA- and Bis-GMA/TEGDMA-based resin composites during post-cure heating. *Dent Mater* (6):377-380.
- Barkmeier W, Los SA, Triolo PT Jr (1995). Bond strengths and SEM evaluation of Clearfil Liner Bond 2. *Am J Dent* Dec 8(6):289-93.
- Barnes DM, Thompson VP, Blank LW, McDonald NJ (1993). Microleakage of Class 5 composite resin restorations: a comparison between in vivo and in vitro. *Oper Dent* Nov-Dec 18(6):237-45.
- Bauer M (1998). Optimierung des Dentinverbundes von Kompomerfüllungen in gemischten Klasse-V-Kavitäten. Eine in-vitro-Studie. Med. Diss. München.

- Blunck U (1989). Vergleich zweier Kavitätenformen für die Prüfung der Wirksamkeit von Dentinhaftmitteln. *Dtsch Zahnärztl Z* 44:513-516.
- Blunck U (1997). Die Versorgung von Zahnhalsdefekten. *zm* 87 Nr 9:53-61.
- Bowen RL (1988). Bonding Agents and Adhesives: Reactor Response. *Dent Res* 2(1):155-157.
- Bowen RL, Nemoto K, Rapson JE (1983). Adhesive bonding of various materials to hard tooth tissues forces developing in composite materials during hardening. *J Am Dent Assoc* 106:474.
- Bowen RL, Rodriguez MS (1962). Tensile Strength and Modulus of Elasticity of Tooth Structure and Several Restorative Materials. *J Am Dent Assoc* 64:378-387.
- Burgess JO, Barghi N, Chan DCN, Hummert T (1993). A comparative study of three glass ionomer base materials. *Am J Dent* 6:3.
- Burke FJT, Hamlin PD, Lynch EJ (1990). Depth of cure of light-cured glass-ionomer cements. *Quintessence Int* 21:977-981.
- Carracho AJL, Chapell RP, Glaros AG, Purk JH, Eick JD (1991). The effect of storage and thermocycling on the shear bond strength of three dentinal adhesives. *Quintessence Int* 22:745-752.
- Cattani-Lorente MA, Dupuis V, Moya F, Payan J, Meyer JM. (1999a). Comparative study of the physical properties of a polyacid-modified composite resin and a resin-modified glass ionomer cement. *Dent Mater* 15:21-32.
- Cattani-Lorente MA, Dupuis V, Payan J, Moya F, Meyer JM. (1999b). Effect of water on the physical properties of resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater* 15:71-78.
- Chan KC, Denchey GE, Swift EJ (1990). Microleakage of seven dentin bonding agents. *J Esthet Dent* Nov-Dec 2(6):159-61.
- Christensen GJ: Glass ionomer-resin (1993). a maturing concept. *JADA* Vol 124 Juli:248-9.

- Closhen R, Ketterl W (1974). Experimentelle Untersuchung über das Verhalten der Versiegelung bei thermischer und mechanischer Beanspruchung. *Dtsch Zahnärztl Z* 29:546-547.
- Cox CF (1994). Evaluation and treatment of bacterial microleakage. *Am J Dent* Oct 7(5):293-5.
- Crim GA (1990). Assessment of microleakage of three dentinal bonding systems. *Quintessence Int* Apr 21(4):295-7.
- Crim GA (1991). Microleakage of three resin placement techniques. *Am J Dent* Apr 4(2):69-72.
- Crim GA, Mattingly S (1981). Evaluation of two methods for assassing marginal leakage. *J Prosth Dent* 45 2.
- Crim GA, Shay JS (1987). Mikroleakage pattern of a resin-veneered glass-ionomer cavity liner. *J Prosth Dent* Sept Vol 58 Nr 3:273-6.
- Croll ThP (1993). Light-hardened Class I glass-ionomer-resin cement restoration of a permanent molar. *Quintessence Int* 24:109-113.
- Croll ThP, Killian CM (1992). Visible light-hardened glass-ionomer-resin cement restorations for primary teeth: new developments. *Quintessence Int* 23:697-682.
- Davidson CL, De Gee AJ (1984). Relaxation of polymeratation contraction stresses by flow in dental composites. *J Dent Res* 63 146.
- Davidson CL, De Gee AJ, Feilzer A (1984). The competition between the composite dentin bond strength and the polimerization contraction stress. *J Dent Res* 63 1396.
- Davidson CL, Abdalla AI (1994). Effect of occlusal load cycling on the marginal integrity of adhesive Class V restorations. *Am J Dent* 7:111-114.
- De Gee AJ, Pallav P, Werner A, Davidson CL (1990). Annealing as a mechanism of increasing wear resistance of composites. *Dent Mater* 6:266-270.

- Dietschi D, Maeder M, Campanile G, Holz J (1992). Influence of a new experimental bonding agent on marginal seal of Class V restorations: an in-vitro study. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102(12):1455-60.
- Dietschi D, Herzfeld D (1998). In vitro evaluation of marginal and internal adaptation of class II resin composite restorations after thermal and occlusal stressing. *Eur J Oral Sci* Dec 106(6):1033-42
- Douglas WH, Zakariasen KL (1981). Volometric assesment of apical leakage utilizing a spectrophometric dye-recovery method. *J Dent Res* 60A (abstr 512) 627.
- Eick JD, Robinson SJ, Byerley TJ, Chappelow CC (1993a). Adhesives and nonshrinking dental Resins of the future. *Quintessence Int* 24:632.
- Eick JD, Robinson SJ, Chapell RP, Spencer P (1993b). The dentinal surface: Its influence on dentinal adhesion Part III. *Quintessence Int* 24:571.
- Feilzer AJ, de Gee AJ, Davidson CL (1990a). Quantitativ determination of stress reduction by flow in composite restorations. *Dent Mater* 6:167-1771.
- Feilzer AJ, Kakaboura AI, de-Gee AJ, Davidson CL (1995). The influence of water sorption on the development of setting shrinkage stress in traditional and resin-modified glass ionomer cements. *Dent Mater* May 11(3):186-90.
- Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL (1990b). Relaxation of polymerisation contraction shear stress by hygroscopic expansion. *J Dent Res* 66:1636-1642.
- Ferracane JL, Matsumoto H, Okabe T (1985). Time-dependent Deformation of Composite Resins – Compositional. *J Dent Res* 64:1332-1336.
- Ferracane JL, Marker VA (1992). Solvent degradation and reduced fracture toughness in aged composites. *J Dent Res* 71(1):13-19.
- Ferracane JL, Berge HX, Condon JR (1998). In vitro aging of dental composites in water-effect of degree of conversion, filler volume, and filler/matrix coupling. *J Biomed Mater Res* 42(3):465-472.
- Finger JW (1988). Dentin Bonding Agents Relevance of in vitro investigations. *Am J Dent* 1:184-188.

- Fitchie JG, Puckett AD, Hembree JH, Williams M (1993). Evaluation of a new dentinal bonding system. *Quintessence Int* 24(1):65-70.
- Fitchie JG, Reeves GW, Scarbrough AR, Hembree JH (1990). Microleakage of two new dentinal bonding systems. *Quintessence Int* 21(9):749-52.
- Fusayama T, Nakamura M, Kurosaki N, Iwaku M (1979). Non-pressure adhesion of a new adhesive restorative resin. *J Dent Res* 58:1364-1370.
- Gale MS, Darvell BW, Cheung GS (1994). Three-dimensional reconstruction of microleakage pattern using a sequential grinding technique. *J Dent Dec* 22(6):370-5.
- Gängler P, Hoyer I, Krehan F, Niemalla S, Weinert W (1990). Biologic testing and clinical trial of a visible light-curing composite resin restorative material. *Quintessence Int* 21:833-842.
- Garcia-Godoy F, de Perez SL (1993). Effect of Fluoridated gels on a light-cured glass ionomer cement: An SEM study. *J Clin Ped Dent* Vol17 Nr2:83-87.
- Gladys S, Van Meerbeek B, Lambrechts P, Vanherle G (1998). Marginal adaptation and retention of a glass-ionomer, resin-modified glass-ionomers and a polyacid-modified resin composite in cervical Class-V lesions. *Dent Mater* 14:294-306.
- Gwinnett AJ, Kanca III J (1992). Micromorphological relationship between resin and dentin in vivo and in vitro. *Am J Dent* Feb 5(1):19-23.
- Haller B (1994). Mechanismus und Wirksamkeit von Dentinhaftvermittlern. *Dtsch Zahnärztl Z* 49:750-759.
- Haller B, Hofman N, Klemen J, Klaiber B:Er (1993a). YAG- laserpräparation und Komposit Dentinhaftung in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 48:707.
- Haller B, Hofmann N, Klaiber B, Pfannkuch A (1993b). Beständigkeit des Komposit-Dentinverbundes bei künstlicher Alterung. *Dtsch Zahnärztl Z* 48:100-104.

- Haller B, Trojanski A (1998). Effect of multi-step dentin bonding systems and resin-modified glass ionomer cement liner on marginal of dentin-bonded resin composite Class II restorations. *Clin Oral Investig* Sept 2(3):130-136.
- Hallett KB, Garcia-Godoy F (1993). Microleakage of resin-modified glass ionomer cement restorations: an in vitro study. *Dent Mater* Sep 9(5):306-11.
- Hallett KB, Garcia-Godoy F (1993). Microleakage of resin-modified glass ionomer cement restorations: an in vitro study. *Dent Mater* 9:306-311.
- Hanning M, Kreuzkamp H, Albers HK (1994). Zur Bedeutung der Wasserlagerung für die marginale Adaptation von Kompositfüllungen. *DZZ* 49:595-600.
- Harris JS, Jacobsen PH, O'Doherty DM (1999). The effect of curing light intensity and test temperature on the dynamic mechanical properties of two polymer composites. *J Oral Rehabil* 26(8):635-639.
- Hellwig E, Klimek J, Attin T (1995). Einführung in die Zahnerhaltung. *Urban & Schwarzenberg* München S133-170.
- Hickel R (1989). Einsatzgebiete und- verfahren von Glasionomerzement als Füllungsmaterial. *Zahnärztl Mitt* 79:914-919.
- Hickel R (1994). Die zervikale Füllung. *Dtsch Zahnärztl Z* 49:13-19.
- Hirano S, Hirasawa T (1990). Water sorption and desorption on experimental composite resins. *Shika Zairyo Kikai* 9(6):878-883.
- Ho CT, Vijayaraghavan TV, Lee SY, Tsai A, Huang HM, Pan LC (2001). Flexural behavior of post-cured composites at oral-simulating temperatures. *J Oral Rehabil* 28(7):658-667.
- Hofmann N, Hugo B, Dietrich M, Klaiber B (1998). Vergleich unterschiedlicher Methoden zur Randdichtigkeitsprüfung am Beispiel von Klasse V-Kompositfüllungen. 12. Jahrestagung der Dtsch. Gesellschaft für Zahnerhaltung vom 15 – 17 Oktober in Bremen.

- Holtan JR, Nystrom GP, Douglas WH, Phelps RA (1990). 2d Microleakage and marginal placement of a glass-ionomer liner. *Quintessence Int* Feb 21(2):117-22.
- Hoppenbrouwers PMM, Driessens FCM, Borggreven JPM (1987). The mineral solubility of human tooth roots. *Archs Oral Biol* 32:319-322.
- Imazato S, Tarumi H, Kobayashi K, Hiraguri H, Oda K, Tsuchitani Y (1995). Relationship between the degree of conversion and internal discoloration of light-activated composite. *Dent Mater J* 14(1):23-30
- Indrani DJ, Cook WD, Televantos F, Tyas MJ, Harcourt JK (1995). Fracture toughness of water aged resin composite restorative materials. *Dent Mater* 11(3):201-207.
- Jensen ME, Chan DCN (1985). Polymerization shrinkage and microleakage in *Vanherle G Smith DC* (eds): Posterior Composite Resin Dental Restorative Materials Minnesota Mining Co S243-262.
- Kalachandra S. (1989).
- Kanchanasavita W, Anstice HM, Pearson GJ. (1997). Water sorption characteristics of resin-modified glass-ionomer cements. *Biomaterials* 18:343-349.
- Kemp-Scholte CM, Davidson CL (1988). Marginal sealing of curing contraction gaps in class V composite resin restorations. *J Dent Res* 67:841.
- Kemp-Scholte CM, Davidson CL (1989). Overhang of Class V composite resin restorations from hygroscopic expansion. *Quintessence Int* 20:551-553.
- Kemp-Scholte CM, Davidson CL (1990b). Marginal integrity related to bond strength and strain capacity of composite resin restorative systems. *J Prosthet Dent* 64:658 - 664.
- Krejci I, Hausler T, Sagesser D, Lutz F (1994b). New adhesives in Class V restorations under combined load and simulated dentinal fluid. *Dent Mater Sep* 10(5):331-5.
- Krejci I, Kuster M, Lutz F (1993). Influence of dentinal fluid and stress on marginal adaptation of resin composites. *J Dent Res* Feb 72(2):490-4.

- Krejci I, Lutz F (1991). Marginal adaptation of Class V restorations using different restorative techniques. *J Dent* Feb 19(1):24-32.
- Krejci I, Lutz F, Oddera M (1995). Aktueller Stand der Kompomere. *Der freie Zahnarzt* 9:52-57.
- Krejci I, Lutz F, Perisic U (1992a). Auswirkungen der Verarbeitungstechnik auf die Dentinhaftung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102:924-929.
- Krejci I, Reich T, Lutz F, Albertoni M (1990). In vitro testverfahren zur evaluation dentaler Restaurationssysteme: 1 Computergesteuerter Kausimulator. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100:953.
- Krejci I, Sagässer D, Lutz F (1992b). Optimierung der Dentinhaftung in gemischten Klasse V Kavitäten. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 102:36.
- Krejci I, Schüpach P, Lutz F (1994a). Klinik der Dentinadhäsive - Das Konzept der differenzierten Applikation: Totales und Selektives Bonding und Dentinversiegelung. *DFZ* 34-48 S243-262,
- Krejci I, Petrac M, Lutz F (1996). Wear and marginal adaptation of resin-reinforced glass-ionomer class II restoration. *Acta Med Dent Helv* 1:117-122.
- Kullmann W (1990). Sorption and solution in autopolymerizing and light-cured composite materials. *Dtsch Zahnärztl Z* 45(5):286-288.
- Kunzelmann KH, Krause F, Hickel R (1993). Dentinhaftung von Kompositfüllungen und Keramikinlays in Klasse-II-Kavitäten. *Dtsch Zahnärztl Z* 48:724-727.
- Leinfelder KF, Russell CM, Thorton RJ, Cowen RG, Walker CK (1986). Efficacy of The Dentine Bonding Agents Part I. Their Effectiveness in Reducing Microleakage. *J Ala Dent Ass* Winter Vol70:13-20.
- Lösche AC, Lösche GM, Roulet JF (1996). Lichthärtende Glasionomerzemente und Kompomere zur Versorgung ausgedehnter Klasse-III-Kavitäten. *Dtsch Zahnärztl. Z* 51:11,683-686.
- Lösche AC, Lösche GM, Roulet JF (1996). The effect of prolonged waterstorage on marginal adaptation of class II fillings. *J Dent Res* 75:394 (Abstr. No. 3013).

- Lösche AC, Lösche GM, Roulet JF (1997). Klasse-III-Füllungen aus lighthärtenden Glasionomercementen und Kompomeren mit und ohne Schmelzätzung. *Dtsch Zahnärztl. Z* 52:12,819-823.
- Lutz F, Krejci I, Barbakov F (1991). Quality and durability of marginal adaptation in bonded composite restorations. *Dent Mater* April 7:107-113.
- Lutz F, Krejci I, Schüpbach P (1993). Adhäsysysteme für Zahnfarbene Restaurationen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 103:684-695.
- Lutz F, Lüscher B, Ochsenbein H, Mühlemann HR (1976). Adhäsive Zahnheilkunde. *Jurisverlag Zürich* S32-51.
- Manolakis K, Paul SJ, Schärer P (1995). Schmelzhaftung ausgewählter adhäsiver Dentinhaftsysteme. *DZZ* 50:582-584.
- Martin FE, O'Rourke M (1993). Marginal seal of cervical tooth-coloured restorations A laboratory investigation of placement techniques. *Aust Dent J* Apr 38(2):102-7.
- Matis BA, Carlson T, Cochran M, Philips RW (1991). How finishing affects Glass Ionomers. *JADA* Vol 122 Juli S43-46.
- Mante F, Saleh N, Mante M (1993). Softening patterns of post-cure heat-treated dental composites. *Dent Mater* Sep;9(5):325-331.
- McCabe JF, Kagi S (1991). Mechanical properties of a composite inlay material following post-curing. *Br Dent J* Oct 19;171(8):246-248.
- Mc Lean JW, et al. (1985). The use of glass-ionomer cements in bonding composite resins to dentin. *Br Dent J* 158:410-414.
- Mc Lean JW, Nicholson JW, Wilson AD (1994). Proposed nomenclature for glass-ionomer dental cements and related materials. *Quintessence Int* 9 Vol 25 587-89.
- Mehl A, Hartl S, Kunzelmann KH, Hickel R (1994). Quantitative und qualitative Randspaltanalyse zervikaler Füllungen. *Dtsch Zahnärztliche Z* 49:815.

- Milleding P, Ahlgren F, Wennerberg A, Ortengren U, Karlsson S (1998). Microhardness and surface topography of a composite resin cement after water storage. *J Prosthodont* Jan-Feb;11(1):21-26.
- Mitra S (1991b). Adhesion to Dentin and Physical Properties of a light-cured Glass-ionomer Liner/Base. *J Dent Res* 70(1):72-74.
- Mohsen NM, Graig RG, Filisko FE (1998). Effects of curing time and filler concentration on curing and postcuring of urethan dimethacrylate composites: A microcalorimetric study. *J Biomed Mater Res* 40:224-232.
- Mount GJ (1993). Clinical placement of modern glass-ionomer cements. *Quintessence Int* 24:99-107.
- Mount GJ (1994). Glassionomercements and future research. *Am J Dent* 7:286-292.
- Munksgaard EC, Irie M, Asmussen E (1985). Dentin-Polymer bond promoted by Gluma and various resins. *J Dent Res* 64(12):1409-1411.
- Noack MJ (1988b). Quantitative Füllungsrandanalyse von Frontzahnkompositen im Rasterelektronenmikroskop nach thermischer Wechselbelastung. *Dtsch Zahnärztl Z* 43:295-299.
- Oilo G, Austrheim EK (1993). In vitro quality testing of dentin adhesives. *Acta Odontol Scand* Aug 51(4):263-9.
- Ott H, Weinert W (1993). Die Kompositentwicklung aus Werkstoffkundlicher Sicht *Dental Forum* Jahg 3 Heft 2 (blend-a- med Forschung).
- Pachuta SM, Meiers JC (1995). Dentin surface treatments and glass ionomer microleakage. *Am J Dent* 8:187-190.
- Pashley DH, Ciucch H, Sano H (1994). Dentin as a Bonding Substrate. *Dtsch Zahnärztl Z* 49:760-763.
- Pashley DH, Ciucchi B, Sano H, Horner JA (1993). Permeability of dentin to adhesive agents. *Quintessence Int* 24:618-631.

- Peutzfeld A, Asmussen E (1989). Bonding and gap formation of glass-ionomer cement used in conjunction with composite resin. *Acta Odontol Scand* 47:141-148.
- Peutzfeld A, Asmussen E (2000). The effect of postcuring on quantity of remaining double bonds, mechanical properties, and in vitro wear of two resin composites. *J Dent* 28(6):447-452.
- Prati C, Nucci C, Montanari G (1991). Shear bond strength and microleakage of dentin bonding systems. *J Prosthet Dent* Mar 65(3):401-7.
- Prati C, Chersoni S, Cretti L, Mongiorgi R (1997). Marginal morphology of Class V composite restorations. *Am J Dent* 10:231-236.
- Quinn F (1995). 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* Mar 3(3):119-25.
- Reinhardt KJ (1991). Restdoppelbindungen und Grenzflächeneffekt von Kunststoffmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 46:204-208.
- Reinhardt KJ (1995). Ein Compomer als Amalgamersatz ? *Phillip Journal* 9:395-399.
- Retief DH (1994). Do adhesives prevent microleakage? *Int Dent J* Feb 44(1):19-26.
- Riethe P (1994). Restauration mit Kunststoffen In: Farbatlanten der Zahnmedizin 6. *Thieme Verlag* 2 Auflage S189-196.
- Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ. (1998). Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent* 80:280-301.
- Roulet JF (1987a). A materials scientist's view: assesment of wear and marginal integrity. *Quintessence Int* 18:543-552.
- Roulet JF (1987b). Degradation of Dental Polymers. Karger Verlag.
- Roulet JF (1988). Werkstoffkundliche Parameter und ihre Auswirkungen auf die Klinik. *Dtsch Zahnärztl Z* 43:887-892.

- Roulet JF, Reich T, Blunck U, Noack M (1989). Quantitative margin analysis in the scanning electron microscope. *Scanning Microscopy* 3:147-159.
- Rueggeberg FA (1991). Substrate for adhesion testing to tooth structure- review of the literature. *Dent Mater* 7:2.
- Sakar NK (2000). Internal corrosion in dental composite wear. *Biomed Mater Res* 53(4):371-380.
- Sano H, Takkatsu T, Ciucchi B, Horner JA, Pashley DH (1994). Nanoleakage Leakage within the hybridlayer. *J Dent Res* 73 Abstr. No.1398.
- Schaller HG, Götze W, Bertrams U (1988). Prüfung der Randständigkeit verschiedener Kompositkunststoffe im Seitenzahnbereich. *Phillip Journal* 3-4:914-918.
- Schmid O, Krejci I, Lutz F (1991). Ausarbeitung von adhäsiven zahnfarbenen Inlays aus Komposit und Keramik. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 101:177-184.
- Schneider H (1998a). Kompomere. *Apollonia Verlag* S. 19
- Schneider H (1998b). Kompomere. *Apollonia Verlag* S. 117
- Schneider H (1998c). Kompomere. *Apollonia Verlag* S. 73
- Schneider H (1998d). Kompomere. *Apollonia Verlag* S. 63
- Shortall AC, Wilson HJ (1988). New materials bonding treatments and changes in restorative practice. *Br Dent J* 164:396-400.
- Söderholm KJ, Zigan M, Ragan M, Fischlschweiger W, Bergman M (1984). Hydrolytic Degradation of Dental Composites. *J Dent Res* 63:1248-1254.
- Swift EJ, Perdigao J, Heymann HO (1995). Bonding to enamel and dentin: A brief history and state of the art (1995). *Quintessence Int* 26:95-110.
- Tanoue N, Matsumura H, Atsuta M (2000). Comparative evaluation of secondary heat treatment and a high intensity light source for the improvement of properties of prosthetic composites. *J Oral Rehabil* Apr;27(4):288-293.
- Tao L, Pashley DH, Boyd L (1988). Effect of different types of smear layers on dentin and enamel shear bond strengths. *Dent Mater* 4:208-216.
- Taylor MJ, Lynch E (1992). Microleakage. *J Dent* Feb 20(1):3-10.

- Torstensen B, Brännström M (1988). Contraction gap under composite resin restorations: Effekt of hygroskopische expansion and thermal stress. *Oper Dent* 13:24.
- van Dijken JW, Horstedt P (1997). Marginal adaptation to enamel of a polyacid-modified resin composite (compomer) and a resin-modified glass ionomer cement in vivo. *Clin Oral Investig* 1:185-190.
- van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G (1994a). Dentinhaftung: Mechanismen und klinische Resultate. *Dtsch Zahnärztl Z* 49:977-984.
- van Meerbeek B, Peumans M, Verschueren M, Gladys S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G (1994b). Clinical Status of Ten Adhesive Systems. *J Dent Res* 73:1690-1702.
- van Meerbeek B, Lambrechts B, Braem M (1994c). Morphological characterization of the interface between resin and sklerotische dentine. *J Dent* 22:141-146.
- Weber Ch (1997). Neue Entwicklungen auf dem Gebiet der Kompomer-Füllungsmaterialien. *ZMK* 13 Okt S39-41.
- Wieczkowski G Jr, Yu XY, Davis EL, Joynt RB (1992). Microleakage in various dentin bonding agent/composite resin systems. *Oper Dent Suppl* 5:62-7.
- Yu XY, Wieczkowski G, Davis EL (1990). Scanning electron microscopic study of dentinal surfaces treated with various dentinal bonding agents. *Quintessence Int* 21 12:989-998.

## 9 Anhang

### 9.1 Abkürzungen

#### Randqualitäten:

- |      |   |   |
|------|---|---|
| VSP  | = | vor TWL im Bereich zum <u>S</u> chmelz perfekter Rand   |
| VSS  | = | vor TWL im Bereich zum <u>S</u> chmelz Spalt  |
| VSN  | = | vor TWL im Bereich zum <u>S</u> chmelz <u>n</u> icht beurteilbar                              |
| VSQ  | = | vor TWL im Bereich zum <u>S</u> chmelz <u>Q</u> uellung                                       |
| NSP  | = | <u>n</u> ach TWL im Bereich zum <u>S</u> chmelz perfekter Rand                                |
| NSS  | = | <u>n</u> ach TWL im Bereich zum <u>S</u> chmelz Spalt   |
| NSN  | = | <u>n</u> ach TWL im Bereich zum <u>S</u> chmelz <u>n</u> icht beurteilbar                     |
| NSQ  | = | <u>n</u> ach TWL im Bereich zum <u>S</u> chmelz <u>Q</u> uellung                              |
| N3SP | = | <u>n</u> ach TWL und <u>3</u> monatiger Lagerung im <u>S</u> chmelz perfekter Rand            |
| N3SS | = | <u>n</u> ach TWL und <u>3</u> monatiger Lagerung im <u>S</u> chmelz Spalt                     |
| N3SN | = | <u>n</u> ach TWL und <u>3</u> monatiger Lagerung im <u>S</u> chmelz <u>n</u> icht beurteilbar |
| N3SQ | = | <u>n</u> ach TWL und <u>3</u> monatiger Lagerung im <u>S</u> chmelz <u>Q</u> uellung          |
| VDP  | = | vor TWL im Bereich <u>D</u> entin perfekter Rand  |
| VDS  | = | vor TWL im Bereich <u>D</u> entin Spalt   |
| VDN  | = | vor TWL im Bereich <u>D</u> entin <u>n</u> icht beurteilbar                                   |
| VDQ  | = | vor TWL im Bereich <u>D</u> entin <u>Q</u> uellung  |
| NDP  | = | <u>n</u> ach TWL im Bereich <u>D</u> entin perfekter Rand                                     |
| NDS  | = | <u>n</u> ach TWL im Bereich <u>D</u> entin Spalt  |
| NDN  | = | <u>n</u> ach TWL im Bereich <u>D</u> entin <u>n</u> icht beurteilbar                          |
| NDQ  | = | <u>n</u> ach TWL im Bereich <u>D</u> entin <u>Q</u> uellung                                   |

- N3DP = nach TWL und 3monatiger Lagerung im Dentin perfekter Rand  
 N3DS = nach TWL und 3monatiger Lagerung im Dentin Spalt  
 N3DN = nach TWL und 3monatiger Lagerung im Dentin nicht beurteilbar  
 N3DQ = nach TWL und 3monatiger Lagerung im Dentin Quellung

### Gruppeneinteilung:

1 – 20 = Gruppe 1 bis 20 nach Tabelle

### Statistische Signifikanz:

- Kein Eintrag =  $p > 0,05$  nicht signifikant  
 ° / \* =  $p < 0,05$  signifikant  
 °° / \*\* =  $p < 0,01$  hoch signifikant  
 °°° / \*\*\* =  $p < 0,001$  höchst signifikant

- °, °°, °°° = Signifikanz vor thermischer Belastung  
 \*, \*\*, \*\*\* = Signifikanz nach thermischer Belastung

## 9.2 Meßdaten der In-vitro-Untersuchung

### 9.2.1 Abkürzungen

In den folgenden Aufstellungen sind die einzelnen Meßdaten der quantitativen Randanalyse, nach Materialgruppen geordnet, aufgelistet. Die Spalten geben an:

ZR: Zahnnummer

- VB: Vorbehandlungsmaterial
- |    |   |                          |
|----|---|--------------------------|
| 1  | = | Syntac®                  |
| 2  | = | Syntac Single Component® |
| 3  | = | Prisma Universal Bond 3® |
| 5  | = | GC Dentin Conditioner®   |
| 6  | = | Tri Cure® Primer         |
| 7a | = | PSA® exp Primer I        |
| 7b | = | PSA® exp Primer III      |
| 9  | = | Ketac Conditioner®       |

- FM: Füllungsmaterial
- |     |   |                              |
|-----|---|------------------------------|
| 21  | = | Tetric®                      |
| 31  | = | Photac-Phil®                 |
| 41  | = | Vari Glass®                  |
| 61  | = | TPH®                         |
| 71a | = | Dyract®                      |
| 71b | = | Compoglass®                  |
| 81  | = | Fuji LC II®                  |
| 91  | = | Tri Cure® Glasionomerezement |

Gruppe: Gruppeneinteilung nach Tabelle 4.3 (Seite 29)

- L1: 1. Lagerung
- |   |   |            |
|---|---|------------|
| 1 | = | 24 Stunden |
| 3 | = | 3 Monate   |
- L2: 2. Lagerung
- |    |   |                   |
|----|---|-------------------|
| 00 | = | keine 2. Lagerung |
| 03 | = | 3 Monate          |

## 9.2.2 Die Gruppe der Kompomere

ZR	VB	FM	LI	GRUPPE	VDP	VDS	VDN	VDQ	NDP	NDS	NDN	NDQ
31	7a	71a	1	1	113	110	34	3.857	627	00	240	3.307
32	7a	71a	1	1	409	00	50	3.195	332	00	00	3.168
33	7a	71a	1	1	72	00	00	3.938	00	00	00	3.968
34	7a	71a	1	1	00	00	257	2.977	00	305	00	2.950
35	7a	71a	1	1	987	00	00	2.540	95	00	00	3.351
37	7a	71a	1	1	9.282	00	00	00	2.838	00	00	471
38	7a	71a	1	1	3.839	00	60	00	00	00	00	3.561
39	7a	71a	1	1	3.292	00	00	00	00	00	198	3.669
40	7a	71a	1	1	55	00	00	2.710	2.170	931	00	00
36	7a	71a	1	1					00	00	00	3.774
51	7a	71a	1	3	175	00	204	2.916	2.493	00	368	454
52	7a	71a	1	3	00	00	00	4.468	2.432	00	00	1.421
53	7a	71a	1	3	2.264	00	1.076	00	310	00	00	3.276
54	7a	71a	1	3	588	00	00	3.013	1.957	546	00	771
55	7a	71a	1	3	3.426	00	00	00	1.834	00	00	1.247
56	7a	71a	1	3	812	00	00	1.450	134	00	142	2.993
57	7a	71a	1	3	00	00	00	3.006	00	00	00	3.773
58	7a	71a	1	3	00	00	100	3.555	1.071	346	29	2.633
59	7a	71a	1	3	2.044	00	00	2.978	216	347	1.640	2.144
60	7a	71a	1	3	1.557	207	00	2.091				
61	7a	71a	2	4	98	00	00	3.062	807	00	2.229	99
62	7a	71a	2	4	2.004	00	99	1.680	1.384	00	2.464	259
63	7a	71a	2	4	3.440	00	46	00	2.236	00	00	1.082
64	7a	71a	2	4	978	00	00	2.979	2.751	00	89	863
65	7a	71a	2	4	666	00	165	3.211	3.379	00	00	44
66	7a	71a	2	4	2.666	00	52	1.607	3.378	00	00	00
67	7a	71a	2	4	2.658	00	112	859	190	00	119	3.863
68	7a	71a	2	4	1.557	207	00	2.091	319	00	317	2.636
69	7a	71a	2	4	506	00	00	3.221	325	00	00	3.540
70	7a	71a	2	4	128	00	00	3.129	386	00	00	2.897
170	7a	71a	1	5					1.282	00	00	2.027
171	7a	71a	1	5					1.480	00	00	2.332
172	7a	71a	1	5					1.084	00	00	2.317
173	7a	71a	1	5					4.418	00	116	00
174	7a	71a	1	5					4.659	00	00	00
181	7b	71a	1	7	60	1.552	193	2.105	755	00	00	3.142
183	7b	71a	1	7	3.863	00	00	00	124	00	208	3.200
184	7b	71a	1	7	1.516	752	371	1.534	1.981	00	742	1.567
187	7b	71a	1	7	1.716	00	112	1.614	2.690	626	485	140
188	7b	71a	1	7	1.058	00	00	3.480	437	00	00	3.607
189	7b	71a	1	7	865	00	1.211	1.579	00	00	2.611	588

Tabelle 9.1: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Kompomere im Bereich zum Dentin

ZR	VB	FM	LI	GRUPPE	VDP	VDS	VDN	VDQ	NDP	NDS	NDN	NDQ
141	2	71b	1	9	2.914	00	00	00	42	00	297	3.445
142	2	71b	1	9	2.413	541	00	00	613	00	747	2.103
143	2	71b	1	9	2.879	00	00	00	805	00	93	3.525
144	2	71b	1	9	4.858	00	00	00	815	00	534	2.825
145	2	71b	1	9	4.195	00	00	00	00	00	00	4.293
146	2	71b	1	9	3.181	00	138	00	801	00	00	2.704
147	2	71b	1	9	3.057	00	00	00	00	00	00	2.714
148	2	71b	1	9	385	00	00	3.344	00	00	100	3.259
149	2	71b	1	9	2.771	00	00	1.619	00	00	00	3.977
150	2	71b	1	10	89	44	177	3.273	00	00	287	3.207
151	2	71b	1	10	00	00	00	4.463	00	00	00	3.658
152	2	71b	1	10	489	00	00	4.529	00	198	847	3.665
153	2	71b	1	10	00	00	00	3.684	00	00	00	4.155
154	2	71b	1	10	00	00	282	3.633	648	00	00	3.107
155	2	71b	1	10	329	00	00	3.211	00	00	00	3.557
156	2	71b	1	10	1.321	00	68	3.426	00	00	104	4.793
157	2	71b	1	10	00	00	00	3.182	00	00	00	3.302
158	2	71b	1	10	00	00	00	3.937	00	00	00	3.804
159	2	71b	1	10	110	00	00	2.746	737	852	55	2.328
21	3	71a	1	17	1.377	00	00	2.265	1.343	49	31	1.995
22	3	71a	1	17	212	00	00	3.891	1.295	00	00	2.955
23	3	71a	1	17	1.088	00	933	2.249	00	00	00	4.524
24	3	71a	1	17	1.071	00	379	3.499	859	00	00	3.773
25	3	71a	1	17	1.986	00	1.495	404	108	1.183	00	2.683
26	3	71a	1	17	716	985	102	2.320	1.165	829	521	1.523
27	3	71a	1	17	344	803	179	1.822	468	1.679	38	1.279
28	3	71a	1	17	00	00	3.533	617	2.537	00	00	1.694
29	3	71a	1	17	1.879	00	68	1.873	2.099	186	41	1.423
30	3	71a	1	17	00	541	126	3.180	2.321	1.086	555	00
41	3	71a	1	18	00	00	00	3.342	00	00	00	3.772
42	3	71a	1	18	1.942	00	486	967	1.277	00	67	2.568
43	3	71a	1	18	1.645	984	179	561	792	1.707	520	273
44	3	71a	1	18	00	476	00	2.651	1.414	515	859	355
45	3	71a	1	18	573	1.727	00	1.100	1.202	1.325	49	926
46	3	71a	1	18	1.779	00	00	2.154	522	132	00	2.508
47	3	71a	1	18	00	00	00	2.802	1.425	119	00	2.183
48	3	71a	1	18	3.458	00	00	00	56	00	00	3.741
49	3	71a	1	18	1.544	146	00	1.707	680	507	325	1.762
50	3	71a	1	18	378	00	00	3.220	351	1.125	578	1.527

Tabelle 9.1: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Kompomere im Bereich zum Dentin

ZR	VB	FM	LI	GRUPPE	VSP	VSS	VSN	VSQ	NSP	NSS	NSN	NSQ
31	7a	71a	1	1	2.420	59	442	00	2.638	00	276	00
32	7a	71a	1	1	2.591	1.422	00	00	3.109	832	00	00
33	7a	71a	1	1	1.153	00	1.773	00	2.924	93	00	00
34	7a	71a	1	1	1.581	186	1.888	87	2.429	974	623	00
35	7a	71a	1	1	2.941	00	101	130	2.883	00	00	125
37	7a	71a	1	1	3.030	414	00	00	3.973	00	65	00
38	7a	71a	1	1	2.796	233	404	00	1.255	1.045	1.325	00
39	7a	71a	1	1	2.510	692	300	00	2.737	519	101	00
40	7a	71a	1	1	3.749	00	00	577	3.361	58	148	00
36	7a	71a	1	1					3.197	51	101	00
51	7a	71a	1	3	2.325	00	1.177	00	2.602	106	911	95
52	7a	71a	1	3	1.482	86	234	00	2.180	1.012	00	00
53	7a	71a	1	3	2.509	00	1.059	00	1.234	948	1.349	00
54	7a	71a	1	3	1.764	404	1.448	00	1.572	771	1.200	00
55	7a	71a	1	3	2.261	481	881	00	3.251	419	00	00
56	7a	71a	1	3	4.217	80	494	00	693	562	2.536	00
57	7a	71a	1	3	2.359	454	1.074	00	1.424	1.746	00	00
58	7a	71a	1	3	1.355	1.764	00	00	201	2.111	00	00
59	7a	71a	1	3	1.307	00	00	00	1.906	502	00	00
60	7a	71a	1	3	00	00	00	2.225				
61	7a	71a	3	4	3.463	00	00	00	3.256	00	00	00
62	7a	71a	3	4	1.892	372	70	00	1.217	669	351	00
63	7a	71a	3	4	2.477	699	330	00	2.208	848	484	00
64	7a	71a	3	4	2.607	00	00	126	2.113	214	20	00
65	7a	71a	3	4	1.159	1.137	976	00	937	1.516	726	00
66	7a	71a	3	4	2.685	00	174	00	3.002	00	1.270	00
67	7a	71a	3	4	2.205	00	1.554	00	923	00	1.928	00
68	7a	71a	3	4	00	00	00	2.225	1.634	00	420	1.061
69	7a	71a	3	4	2.079	00	808	00	1.697	54	1.041	260
70	7a	71a	3	4	3.844	34	66	00	3.022	253	668	00
170	7a	71a	1	5					1.635	00	00	461
171	7a	71a	1	5					2.130	00	1.701	00
172	7a	71a	1	5					2.367	00	00	00
173	7a	71a	1	5					4.018	00	00	00
174	7a	71a	1	5					00	00	00	00
181	7b	71a	1	7	00	4.345	00	00	2.205	2.053	00	00
183	7b	71a	1	7	3.074	00	00	4.957	1.962	1.462	946	00
184	7b	71a	1	7	3.349	1.470	728	00	3.263	265	00	00
187	7b	71a	1	7	2.643	00	1.474	00	1.164	00	1.274	00
188	7b	71a	1	7	2.083	908	00	00	3.622	316	32	142
189	7b	71a	1	7	1.389	749	1.761	00	2.386	00	947	00

Tabelle 9.2: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Kompomere im Bereich zum Schmelz

ZR	VB	FM	LI	GRUPPE	VSP	VSS	VSN	VSQ	NSP	NSS	NSN	NSQ
141	2	71b	1	9	2.861	42	00	00	1.756	352	00	1.801
142	2	71b	1	9	2.890	100	00	00	1.676	1.655	142	70
143	2	71b	1	9	2.598	57	88	00	629	876	84	489
144	2	71b	1	9	1.934	2.081	247	00	00	2.924	00	00
145	2	71b	1	9	3.360	154	00	00	2.148	735	510	00
146	2	71b	1	9	2.761	00	1.418	00	2.996	832	121	00
147	2	71b	1	9	4.701	3.337	00	00	757	3.296	487	00
148	2	71b	1	9	2.451	1.787	00	00	1.239	1.695	869	00
149	2	71b	1	9	2.244	00	00	00	1.717	953	486	00
150	2	71b	1	10	2.712	1.101	78	00	171	397	2.302	55
151	2	71b	1	10	2.406	00	515	00	2.255	535	607	00
152	2	71b	1	10	1.040	1.315	00	00	811	1.386	104	00
153	2	71b	1	10	2.431	425	644	00	2.261	00	626	00
154	2	71b	1	10	2.045	518	527	00	966	00	2.017	00
155	2	71b	1	10	2.448	685	104	00	324	707	2.084	00
156	2	71b	1	10	2.673	00	80	104	2.196	00	553	00
157	2	71b	1	10	2.299	746	1.070	00	351	1.093	1.871	00
158	2	71b	1	10	3.498	00	00	00	3.260	113	80	00
159	2	71b	1	10	3.146	1.049	457	170	00	2.562	127	00
21	3	71a	1	17	2.848	00	479	00	3.332	00	00	00
22	3	71a	1	17	2.775	00	00	00	2.625	00	00	00
23	3	71a	1	17	2.605	00	622	00	2.124	83	1.025	00
24	3	71a	1	17	1.507	00	673	00	1.602	600	506	85
25	3	71a	1	17	2.520	00	00	00	2.104	498	00	00
26	3	71a	1	17	1.518	380	742	329	1.533	1.328	00	00
27	3	71a	1	17	3.976	00	329	00	3.362	00	41	00
28	3	71a	1	17	2.300	00	829	00	2.477	308	203	00
29	3	71a	1	17	2.711	00	00	00	1.966	596	121	00
30	3	71a	1	17	2.863	00	70	00	2.219	668	00	00
41	3	71a	1	18	192	138	1.990	00	2.478	679	00	00
42	3	71a	1	18	2.055	216	222	00	2.714	57	267	00
43	3	71a	1	18	3.239	60	260	00	2.609	626	00	00
44	3	71a	1	18	796	382	2.083	00	2.111	374	771	00
45	3	71a	1	18	2.945	00	40	00	2.716	444	00	00
46	3	71a	1	18	2.625	00	00	00	1.888	371	1.245	00
47	3	71a	1	18	4.112	00	194	00	3.431	00	00	00
48	3	71a	1	18	3.312	00	00	00	3.279	218	130	80
49	3	71a	1	18	3.234	00	172	00	2.988	127	136	00
50	3	71a	1	18	3.254	299	00	00	1.177	731	1.485	139

Tabelle 9.2: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Kompomere im Bereich zum Schmelz

ZR	VB	FM	L1	GRUPPE	L2	N3DP	N3DS	N3DN	N3DQ	N3SP	N3SS	N3SN	N3SQ
51	7a	71	1	3	03	1.344	00	338	1.781	2.476	00	1.092	00
52	7a	71	1	3	03	00	00	48	1.672	2.459	00	00	805
53	7a	71	1	3	03	2.137	00	00	1.787	1.569	766	985	00
54	7a	71	1	3	03	3.377	410	00	00	2.467	920	00	00
55	7a	71	1	3	03	2.694	00	00	319	1.206	715	2.035	00
56	7a	71	1	3	03	00	00	00	3.888	1.021	1.985	346	00
57	7a	71	1	3	03	00	00	00	2.827	951	2.471	1.243	00
58	7a	71	1	3	03	2.061	1.089	704	394	805	797	914	00
61	7a	71	3	4	00	3.463	00	00	00	3.256	00	00	00
62	7a	71	3	4	00	1.892	372	70	00	1.217	669	351	00
63	7a	71	3	4	00	2.477	699	330	00	2.208	848	484	00
64	7a	71	3	4	00	2.607	00	00	126	2.113	214	20	00
65	7a	71	3	4	00	1.159	1.137	976	00	937	1.516	726	00
66	7a	71	3	4	00	2.685	00	174	00	3.002	00	1.270	00
67	7a	71	3	4	00	2.205	00	1.554	00	923	00	1.928	00
68	7a	71	3	4	00	00	00	00	2.225	1.634	00	420	1.061
69	7a	71	3	4	00	2.079	00	808	00	1.697	54	1.041	260
70	7a	71	3	4	00	3.844	34	66	00	3.022	253	668	00
41	3	71	1	18	03	00	00	63	3.579	1.471	1.022	702	00
42	3	71	1	18	03	723	00	00	3.080	2.404	240	350	00
43	3	71	1	18	03	1.676	225	954	358	2.999	00	374	00
44	3	71	1	18	03	162	1.389	232	1.631	1.978	825	838	00
45	3	71	1	18	03	1.108	185	00	2.371	1.873	759	631	00
46	3	71	1	18	03	59	00	00	3.103	3.393	146	00	00
47	3	71	1	18	03	2.775	874	00	00	1.434	739	2.081	00
48	3	71	1	18	03	592	00	00	3.057	2.787	713	00	00
49	3	71	1	18	03	1.102	1.928	134	190	1.602	407	1.497	00
50	3	71	1	18	03	1.321	00	85	2.165	2.046	85	1.296	118

Tabelle 9.3: Meßdaten der quantitativen Randanalyse in der Gruppe der Kompomere nach TWL und 3monatiger Lagerung im Bereich Schmelz und Dentin

## 9.2.3 Die Gruppe der Glasionomerzemente

ZR	VB	FM	L1	GRUPPE	VDP	VDS	VDN	VDQ	NDP	NDS	NDN	NDQ
81	6	91	1	12	00	00	78	3.578	00	00	00	3.602
82	6	91	1	12	208	00	101	4.044	1.422	00	776	1.601
83	6	91	1	12	00	00	00	3.992	209	00	115	1.996
84	6	91	1	12	314	69	00	3.789	1.539	00	416	2.424
85	6	91	1	12	2.056	00	616	2.003	2.786	00	120	1.511
86	6	91	1	12	510	00	91	3.940	3.010	00	62	1.301
87	6	91	1	12	73	00	272	3.840	3.324	00	263	580
88	6	91	1	12	00	00	30	4.523	3.615	00	330	985
89	6	91	1	12	00	00	474	2.948	00	00	444	2.998
90	6	91	1	12	00	00	00	3.855	2.198	00	41	1.408
101	6	91	3	13	39	00	215	3.954	3.831	00	517	412
103	6	91	3	13	00	00	120	4.009	3.680	00	739	00
105	6	91	3	13	607	00	171	2.592	2.937	00	119	00
106	6	91	3	13	49	371	1.376	2.027	663	00	00	4.172
107	6	91	3	13	00	00	71	2.210	1.209	00	383	1.776
108	6	91	3	13	1.660	00	00	1.905	2.128	00	393	1.468
109	6	91	3	13	272	280	558	2.618	759	220	1.573	898
110	6	91	3	13	1.373	00	392	2.114	111	00	159	3.163
102	6	91	3	13					00	273	122	3.668
104	6	91	3	13					1.321	601	854	806
71	5	81	1	14	3.188	00	208	00	3.886	00	00	00
72	5	81	1	14	774	00	00	2.703	996	00	00	2.336
73	5	81	1	14	1.189	00	00	2.995	1.865	00	00	2.341
74	5	81	1	14	3.572	61	91	00	3.479	42	178	00
75	5	81	1	14	3.658	00	00	00	3.858	00	345	24
76	5	81	1	14	2.693	118	858	00	2.744	390	00	410
77	5	81	1	14	1.849	64	807	507	3.180	172	389	546
78	5	81	1	14	3.474	00	176	00	3.527	00	144	00
79	5	81	1	14	1436	101	0	1494	3758	289	0	0
80	5	81	1	14	1.380	00	132	1.359	2.361	00	189	423
111	9	31	1	15	00	3.331	14	54	1.001	323	2.385	00
112	9	31	1	15	105	760	2.097	00	1.205	1.362	1.959	00
113	9	31	1	15	462	897	1.659	00	1.873	796	1.169	00
114	9	31	1	15	00	415	2.541	252	708	1.885	1.506	00
115	9	31	1	15	981	594	916	00	1.093	855	1.621	00
116	9	31	1	15	1.183	905	1.093	00	664	1.773	1.433	00
117	9	31	1	15	300	640	2.864	00	1.115	1.467	805	00
118	9	31	1	15	323	00	3.480	390	2.455	597	766	00
119	9	31	1	15	1.734	572	1.556	00	972	373	2.468	00
120	9	31	1	15	115	101	3.608	00	3.185	00	182	00

Tabelle 9.4: Meßdaten der quantitativen Randanalyse in der Gruppe der Glasionomerzemente im Bereich zum Dentin

ZR	VB	FM	LI	GRUPPE	VDP	VDS	VDN	VDQ	NDP	NDS	NDN	NDQ
160	93	41	1	16	68	00	00	3.138	920	00	1.211	856
161	3	41	1	16	00	00	84	3.846	00	00	544	3.267
162	3	41	1	16	204	00	744	2.180	00	00	308	3.041
163	3	41	1	16	00	00	2.637	2.209	301	00	1.911	2.078
164	3	41	1	16	00	00	976	3.404	396	00	1.038	3.111
165	3	41	1	16	00	00	00	3.762	1.318	00	323	2.018
166	3	41	1	16	00	00	2.459	1.171	00	00	64	3.535
167	3	41	1	16	00	00	190	3.987	00	225	446	1.680
168	3	41	1	16	718	00	2.833	352	280	00	1.711	1.976
169	3	41	1	16	00	00	00	3.833	00	00	86	3.947

Tabelle 9.4: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Glasionomermemente im Bereich zum Dentin

ZR	VB	FM	LI	GRUPPE	VSP	VSS	VSN	VSQ	NSP	NSS	NSN	NSQ
81	6	91	1	12	0	834	1.174	1.752	731	303	1.229	1.308
82	6	91	1	12	1121	329	1.490	00	152	537	820	1.763
83	6	91	1	12	1634	300	241	1.380	3.471	1.481	80	418
84	6	91	1	12	942	1910	485	20	1.110	1.737	510	00
85	6	91	1	12	1284	307	212	324	826	1.522	46	219
86	6	91	1	12	286	1198	524	958	511	1.318	1.269	107
87	6	91	1	12	638	2460	161	00	653	1.113	1.469	00
88	6	91	1	12	392	0	40	2.161	00	00	70	2.438
89	6	91	1	12	0	709	2.108	1.063	1.619	1.258	488	1.032
90	6	91	1	12	691	1001	1.849	256	822	1.497	1.194	152
101	6	91	3	13	1309	1355	961	85	1.887	00	668	535
103	6	91	3	13	337	361	1.404	824	2.761	00	162	00
105	6	91	3	13	1826	0	1.866	441	1.665	342	2.552	00
106	6	91	3	13	623	2360	137	340	864	579	331	1.139
107	6	91	3	13	1792	2100	788	00	1.753	33	1.047	793
108	6	91	3	13	0	530	99	3.140	1.006	1.712	495	00
109	6	91	3	13	1764	407	890	00	1.237	2.579	381	00
110	6	91	3	13	1143	1432	859	436	486	557	3.004	00
102	6	91	3	13					305	748	2.010	00
104	6	91	3	13					1.872	00	1.677	50
71	5	81	1	14	2933	0	26	00	2.082	217	495	00
72	5	81	1	14	1615	279	1.710	00	2.169	724	649	181
73	5	81	1	14	810	0	1.781	00	2.451	147	163	00
74	5	81	1	14	2609	589	243	00	2.660	778	242	00
75	5	81	1	14	2803	0	00	00	2.120	569	526	00
76	5	81	1	14	1229	1589	688	00	1.368	1.486	694	00
77	5	81	1	14	2484	102	668	00	1.983	639	00	00
78	5	81	1	14	2166	0	654	00	2.231	600	646	00
79	5	81	1	14	3292	259	58	0	2360	73	61	0
80	5	81	1	14	3215	172	66	00	2.528	698	262	00

Tabelle 9.5: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Glasionomermemente im Bereich zum Schmelz

ZR	VB	FM	L1	GRUPPE	VSP	VSS	VSN	VSQ	NSP	NSS	NSN	NSQ
111	9	31	1	15	77	3886	504	00	00	2.299	1.212	00
112	9	31	1	15	180	1439	1.763	00	00	160	1.239	1.330
113	9	31	1	15	1062	416	1.751	00	00	1.254	1.923	00
114	9	31	1	15	1097	1278	385	00	67	2.945	113	00
115	9	31	1	15	164	3169	1.475	00	00	2.735	1.712	00
116	9	31	1	15	287	3015	981	00	1.170	1.979	587	00
117	9	31	1	15	708	1647	1.154	00	199	2.304	1.717	00
118	9	31	1	15	0	0	2.745	00	00	1.273	2.332	00
119	9	31	1	15	1017	1427	1.279	00	510	1.697	1.141	00
120	9	31	1	15	675	687	1.926	00	3.226	540	00	838
160	93	41	1	16	2909	104	574	135	2.836	63	843	00
161	3	41	1	16	3147	0	140	89	2.522	00	706	00
162	3	41	1	16	1401	0	1.934	00	443	00	2.525	496
163	3	41	1	16	2658	0	414	46	2.500	00	924	114
164	3	41	1	16	1794	96	892	450	1.367	00	1.913	00
165	3	41	1	16	2000	0	1.611	666	3.898	00	226	166
166	3	41	1	16	3265	0	737	00	3.090	276	458	00
167	3	41	1	16	430	0	3.395	00	2.089	280	1.660	53
168	3	41	1	16	2890	0	342	00	2.374	230	425	00
169	3	41	1	16	2919	0	1.232	00	3.885	74	364	00

Tabelle 9.5: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Glasionomerelemente im Bereich zum Schmelz

## 9.2.4 Die Gruppe der Komposite

ZR	VB	FM	L1	GRUPPE	VDP	VDS	VDN	VDQ	NDP	NDS	NDN	NDQ
11	7a	61	1	2	180	00	00	2.976	00	00	00	3.751
12	7a	61	1	2	860	00	00	4.190	2.156	861	282	1.784
14	7a	61	1	2	69	473	279	2.952	208	1.120	00	2.901
15	7a	61	1	2	00	202	140	4.872	123	1.381	26	2.015
16	7a	61	1	2	329	583	825	3.070	1.073	00	00	4.117
17	7a	61	1	2	227	254	00	3.866	513	1.410	00	3.239
18	7a	61	1	2	00	503	00	2.656	00	377	00	3.842
19	7a	61	1	2	480	791	00	2.821	659	1.410	00	1.103
20	7a	61	1	2	522	1.189	00	2.411	1.219	204	106	2.546
13	7a	61	1	2					291	744	00	2.910
190	7b	61	1	6	00	00	736	3.341	3.054	00	187	289
191	7b	61	1	6	00	00	00	3.840	393	334	312	2.409
192	7b	61	1	6	00	315	253	2.941	3.518	293	285	00
193	7b	61	1	6	660	520	186	00	00	00	2.843	782
194	7b	61	1	6	00	00	265	3.655	00	00	1.303	1.080
196	7b	61	1	6	279	861	902	2.213	158	00	2.419	1.053
198	7b	61	1	6	00	207	2.501	1.603	653	370	1.463	1.093
199	7b	61	1	6	802	279	1.083	2.147	206	00	562	3.265
1	3	61	1	19	393	1.504	00	1.351	00	00	878	2.211
3	3	61	1	19	00	00	416	1.902	00	1.924	594	843
4	3	61	1	19	00	00	1.324	2.325	51	332	55	1.757
5	3	61	1	19	34	80	1.095	1.457	00	00	00	3.815
6	3	61	1	19	00	00	134	3.335	00	1.113	269	1.008
7	3	61	1	19	00	813	248	3.195	00	110	121	3.267
8	3	61	1	19	00	00	00	2.083	00	2.622	300	1.127
9	3	61	1	19	00	350	877	2.273	00	513	518	1.547
10	3	61	1	19	00	00	1.078	2.187	79	858	405	1.956
2	3	61	1	19					670	00	1.494	1.345
200	1	21	1	20	173	00	1.507	2.233	00	342	529	3.026
204	1	21	1	20	773	00	370	3.182	00	00	270	3.528
205	1	21	1	20	331	00	1.499	1.630	76	273	2.223	1.220
206	1	21	1	20	00	00	1.125	3.490	00	00	1.792	3.094
207	1	21	1	20	1.632	1.498	00	00	00	1.426	2.226	00
209	1	21	1	20	294	00	2.970	624	00	00	3.229	305

Tabelle 9.6: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Komposite im Bereich zum Dentin

ZR	VB	FM	LI	GRUPPE	VSP	VSS	VSN	VSQ	NSP	NSS	NSN	NSQ
11	7a	61	1	2	5.189	00	369	00	5.494	83	517	00
12	7a	61	1	2	1.264	00	1.675	00	2.482	69	783	00
14	7a	61	1	2	2.973	00	1.127	00	3.520	235	00	00
15	7a	61	1	2	3.028	00	560	00	2.791	612	931	251
16	7a	61	1	2	2.874	00	00	00	3.107	314	00	00
17	7a	61	1	2	983	1.628	1.261	00	3.200	00	00	00
18	7a	61	1	2	5.382	00	00	00	1.169	2.275	538	00
19	7a	61	1	2	3.326	399	112	00	5.319	96	00	00
20	7a	61	1	2	3.873	199	00	00	3.590	00	857	00
13	7a	61	1	2					3.837	358	00	00
190	7b	61	1	6	2.733	00	2.235	00	3.921	00	00	00
191	7b	61	1	6	2.114	00	3.373	00	2.850	00	1.965	00
192	7b	61	1	6	3.316	392	1.254	00	00	00	00	00
193	7b	61	1	6	3.638	00	00	00	1.253	00	323	00
194	7b	61	1	6	3.245	00	1.501	00	3.819	00	1.729	00
196	7b	61	1	6	3.640	00	00	00	1.935	00	00	00
198	7b	61	1	6	3.956	00	166	00	2.158	00	00	00
199	7b	61	1	6	3.328	00	00	00	1.844	00	100	00
1	3	61	1	19	3.608	00	00	00	3.517	00	00	00
3	3	61	1	19	3.303	00	1.536	00	4.142	00	46	00
4	3	61	1	19	00	00	3.997	00	1.477	00	2.357	198
5	3	61	1	19	2.451	00	2.453	00	2.401	00	1.201	112
6	3	61	1	19	3.993	00	104	00	856	00	3.743	77
7	3	61	1	19	473	166	3.207	00	3.686	00	00	312
8	3	61	1	19	4.141	00	1.255	00	2.705	429	1.169	00
9	3	61	1	19	2.064	00	2.171	168	3.587	00	318	00
10	3	61	1	19	723	00	2.681	00	3.010	91	941	00
2	3	61	1	19					2.418	00	798	00
200	1	21	1	20	3.527	00	00	00	3.642	00	00	00
204	1	21	1	20	2.986	00	543	00	1.836	1.389	1.527	623
205	1	21	1	20	1.587	00	1.045	63	2.675	00	1.537	00
206	1	21	1	20	3.594	00	729	92	4.321	00	00	00
207	1	21	1	20	3.347	00	102	00	3.987	00	00	00
209	1	21	1	20	3.575	00	293	00	2.947	00	519	00

Tabelle 9.7: Meßdaten der quantitativen Randalanalyse in der Gruppe der Komposite im Bereich zum Schmelz

9.3 Mittelwerte und Standardabweichung

9.3.1 Die Gruppe der Kompomere

In den folgenden Aufstellungen sind die Mittelwerte und die zugehörigen Standardabweichungen der prozentualen Anteile der Randqualitätskriterien aufgelistet.

Die Gruppeneinteilung entspricht Tabelle 4.3 auf Seite 30.

Randsituation im Dentin

Vor und nach Temperaturwechselbelastung

GRUPPE		VDP (%)	VDS (%)	VDN (%)	VDQ(%)	NDP (%)	NDS (%)	NDN (%)	NDQ (%)
1	Mittelwert	38,24	0,30	1,30	60,16	18,30	3,94	1,09	76,67
	Standardabweichung	+/- 46,7	+/- 0,89	+/- 2,57	+/- 45,78	+/- 32,02	+/- 9,63	+/- 2,30	+/- 37,35
3	Mittelwert	30,64	0,54	4,11	64,71	33,51	3,68	5,99	56,82
	Standardabweichung	+/- 33,46	+/- 1,70	+/- 10,08	+/- 37,99	+/- 30,53	+/- 6,04	+/- 12,47	+/- 31,65
4	Mittelwert	38,87	0,54	1,23	59,36	43,43	0,00	14,60	41,97
	Standardabweichung	+/- 32,18	+/- 1,70	+/- 1,53	+/- 32,81	+/- 38,10	+/- 0	+/- 27,14	+/- 41,21
5	Mittelwert					61,38	0,00	0,51	38,11
	Standardabweichung					+/- 34,22	+/- 0	+/- 1,14	+/- 34,91
7	Mittelwert	39,12	9,62	8,37	42,90	24,69	2,65	19,52	53,15
	Standardabweichung	+/- 33,85	+/- 16,40	+/- 12,58	+/- 25,12	+/- 26,98	+/- 6,48	+/- 31,18	+/- 38,47
9	Mittelwert	83,44	2,03	0,46	14,06	8,82	0,00	5,25	85,92
	Standardabweichung	+/- 30,18	+/- 6,10	+/- 1,39	+/- 30,86	+/- 10,30	+/- 0	+/- 7,54	+/- 15,11
10	Mittelwert	5,28	0,12	1,36	93,24	3,58	2,57	2,97	90,88
	Standardabweichung	+/- 58,67	+/- 0,39	+/- 2,58	+/- 8,81	+/- 7,56	+/- 6,77	+/- 5,86	+/- 13,92
17	Mittelwert	21,87	6,35	16,63	55,15	30,79	13,26	3,00	52,95
	Standardabweichung	+/- 18,99	+/- 10,63	+/- 26,98	+/- 26,46	+/- 22,41	+/- 17,25	+/- 5,54	+/- 28,34
18	Mittelwert	32,41	9,95	1,96	55,68	22,28	16,03	7,23	54,45
	Standardabweichung	+/- 32,76	+/- 17,30	+/- 4,65	+/- 36,30	+/- 15,44	+/- 18,48	+/- 9,65	+/- 32,82

Tabelle 9.8: Mittelwert und Standardabweichung in der Gruppe der Kompomere im Dentin

## Randsituation im Schmelz

## Vor und nach Temperaturwechselbelastung

GRUPPE		VSP (%)	VSS (%)	VSN (%)	VSQ (%)	NSP (%)	NSS (%)	NSN (%)	NSQ (%)
1	Mittelwert	72,17	9,00	16,63	2,20	82,67	9,58	7,33	0,42
	Standardabweichung	+/- 19,71	+/- 11,72	+/- 22,85	+/- 4,43	+/- 20,56	+/- 11,53	+/- 11,38	+/- 1,31
3	Mittelwert	62,23	9,91	17,86	10,00	50,81	30,74	18,17	0,28
	Standardabweichung	+/- 27,86	+/- 17,25	+/- 15,11	+/- 31,62	+/- 27,54	+/- 27,06	+/- 24,27	+/- 0,85
4	Mittelwert	70,46	7,15	11,93	10,46	62,36	11,89	21,49	4,26
	Standardabweichung	+/- 32,01	+/- 12,24	+/- 15,26	+/- 31,49	+/- 22,70	+/- 16,52	+/- 19,51	+/- 10,81
5	Mittelwert					83,40	0,00	11,10	5,50
	Standardabweichung					+/- 21,24	+/- 0	+/- 22,20	+/- 11,00
7	Mittelwert	44,69	29,34	15,68	10,29	66,10	16,14	17,18	0,58
	Standardabweichung	+/- 25,96	+/- 36,95	+/- 20,09	+/- 25,20	+/- 20,98	+/- 19,978	+/- 21,15	+/- 1,41
9	Mittelwert	79,26	15,97	4,77	0,00	40,59	43,11	8,35	7,95
	Standardabweichung	+/- 21,86	+/- 21,29	+/- 11,13	+/- 0	+/- 23,47	+/- 28,28	+/- 8,02	+/- 16,24
10	Mittelwert	72,22	17,41	9,66	0,72	41,35	24,38	34,09	0,19
	Standardabweichung	+/- 16,65	+/- 16,89	+/- 9,40	+/- 1,51	+/- 35,41	+/- 31,28	+/- 29,91	+/- 0,59
17	Mittelwert	85,01	1,28	12,61	1,11	78,94	14,53	6,23	0,30
	Standardabweichung	+/- 16,46	+/- 4,05	+/- 12,17	+/- 3,50	+/- 17,06	+/- 14,96	+/- 10,61	+/- 0,96
18	Mittelwert	78,68	3,64	17,68	0,00	76,68	10,93	11,77	0,61
	Standardabweichung	+/- 33,48	+/- 4,58	+/- 30,72	+/- 0	+/- 20,33	+/- 7,92	+/- 16,03	+/- 1,35

Tabelle 9.9: Mittelwerte und Standardabweichung in der Gruppe der Komomere im Schmelz

## 9.3.2 Die Gruppe der Glasionomere

## Randsituation im Dentin

## Vor und nach Temperaturwechselbelastung

GRUPPE		VDP (%)	VDS (%)	VDN (%)	VDQ (%)	NDP (%)	NDS (%)	NDN (%)	NDQ (%)
12	Mittelwert	6,93	0,17	4,06	88,84	42,69	0,00	6,60	50,71
	Standardabweichung	+/- 13,60	+/- 0,52	+/- 5,34	+/- 16,99	+/- 30,89	+/- 0	+/- 6,30	+/- 30,28
13	Mittelwert	13,68	2,15	9,66	74,51	42,49	2,99	12,98	41,54
	Standardabweichung	+/- 18,14	+/- 4,03	+/- 11,62	+/- 19,71	+/- 34,59	+/- 5,56	+/- 13,47	+/- 36,85
14	Mittelwert	66,18	1,02	6,64	26,17	77,95	2,33	3,23	16,49
	Standardabweichung	+/- 29,45	+/- 1,40	+/- 9,54	+/- 32,04	+/- 23,40	+/- 3,88	+/- 3,70	+/- 25,37
15	Mittelwert	15,89	25,29	56,94	1,87	38,48	24,40	37,12	0,00
	Standardabweichung	+/- 17,64	+/- 27,50	+/- 28,86	+/- 3,58	+/- 24,40	+/- 16,53	+/- 18,64	+/- 0
16	Mittelwert	2,70	0,00	24,75	72,55	8,96	0,96	20,62	69,46
	Standardabweichung	+/- 5,89	+/- 0	+/- 29,40	+/- 32,89	+/- 13,41	+/- 3,02	+/- 16,63	+/- 23,70

Tabelle 9.10: Mittelwerte und Standardabweichung in der Gruppe der Glasionomere im Dentin

## Randsituation im Schmelz

## Vor und nach Temperaturwechselbelastung

GRUPPE		VSP (%)	VSS (%)	VSN (%)	VSQ (%)	NSP (%)	NSS (%)	NSN (%)	NSQ (%)
12	Mittelwert	23,51	27,37	24,03	25,10	24,89	30,70	20,94	23,47
	Standardabweichung	+/- 19,75	+/- 23,58	+/- 20,51	+/- 26,65	+/- 18,00	+/- 18,51	+/- 16,62	+/- 31,43
13	Mittelwert	29,31	28,29	24,22	18,19	40,48	18,12	33,43	7,97
	Standardabweichung	+/- 18,68	+/- 22,34	+/- 16,75	+/- 27,85	+/- 24,97	+/- 22,53	+/- 25,22	+/- 13,64
14	Mittelwert	72,35	8,55	19,10	0,00	70,52	17,78	11,21	0,49
	Standardabweichung	+/- 26,15	+/- 13,99	+/- 22,92	+/- 0	+/- 15,62	+/- 11,15	+/- 7,43	+/- 1,54
15	Mittelwert	15,78	43,12	41,10	0,00	12,35	47,19	33,77	6,69
	Standardabweichung	+/- 14,27	+/- 26,88	+/- 26,35	+/- 0	+/- 22,67	+/- 25,86	+/- 21,74	+/- 15,84
16	Mittelwert	65,35	0,58	30,35	3,72	67,01	2,51	28,21	2,27
	Standardabweichung	+/- 26,07	+/- 1,22	+/- 25,76	+/- 5,96	+/- 24,62	+/- 3,33	+/- 22,41	+/- 4,48

Tabelle 9.11: Mittelwerte und Standardabweichung in der Gruppe der Glasionomere im Schmelz

## 9.3.3 Die Gruppe der Komposite

## Randsituation im Dentin

Vor und nach Temperaturwechselbelastung

GRUPPE		VDP (%)	VDS (%)	VDN (%)	VDQ (%)	NDP (%)	NDS (%)	NDN (%)	NDQ (%)
2	Mittelwert	6,78	10,94	3,03	79,25	13,95	18,69	0,89	66,47
	Standardabweichung	+/- 5,96	+/- 9,59	+/- 5,85	+/- 12,91	+/- 14,130	+/- 15,61	+/- 1,83	+/- 21,25
6	Mittelwert	9,18	9,82	18,75	62,25	26,44	3,40	34,48	35,68
	Standardabweichung	+/- 17,11	+/- 13,27	+/- 17,90	+/- 33,81	+/- 37,37	+/- 4,77	+/- 29,50	+/- 28,31
19	Mittelwert	1,49	8,71	18,12	71,68	2,38	23,28	14,57	59,78
	Standardabweichung	+/- 4,00	+/- 15,55	+/- 16,35	+/- 18,86	+/- 5,95	+/- 24,79	+/- 13,19	+/- 26,44
20	Mittelwert	15,26	7,98	31,86	44,90	0,33	9,17	44,72	45,78
	Standardabweichung	+/- 19,02	+/- 19,54	+/- 27,47	+/- 30,88	+/- 0,82	+/- 15,16	+/- 31,88	+/- 37,96

Tabelle 9.12: Mittelwerte und Standardabweichung in der Gruppe der Komposite im Dentin

## Randsituation im Schmelz

Vor und nach Temperaturwechselbelastung

GRUPPE		VSP (%)	VSS (%)	VSN (%)	VSQ (%)	NSP (%)	NSS (%)	NSN (%)	NSQ (%)
2	Mittelwert	77,83	6,37	15,80	0,00	80,98	9,97	8,51	0,55
	Standardabweichung	+/- 26,54	+/- 13,85	+/- 19,73	+/- 0	+/- 0	+/- 17,17	+/- 9,81	+/- 1,73
6	Mittelwert	78,09	0,99	20,92	0,00	86,06	0,00	13,94	0,00
	Standardabweichung	+/- 24,14	+/- 2,79	+/- 23,77	+/- 0	+/- 16,94	+/- 0	+/- 16,94	+/- 0
19	Mittelwert	52,54	0,48	46,56	0,42	71,51	1,22	25,53	1,74
	Standardabweichung	+/- 36,23	+/- 1,44	+/- 35,60	+/- 1,27	+/- 27,07	+/- 3,15	+/- 26,49	+/- 2,72
20	Mittelwert	85,73	0,00	13,53	0,74	80,45	4,31	13,31	1,93
	Standardabweichung	+/- 14,95	+/- 0	+/- 13,00	+/- 1,14	+/- 26,82	+/- 10,55	+/- 16,12	+/- 4,73

Tabelle 9.13: Mittelwerte und Standardabweichung in der Gruppe der Komposite im Schmelz

## 9.4 Materialliste

Material/Gerät	Genauere Bezeichnung	Hersteller/Bezugsadresse
Abformmaterial	Optosil® Xantopren L blau®	Fa. Heraeus Kulzer Philipp-Reis-Straße 8 61273 Wehrheim
Ätzelgel	Esticid Gel	Fa. Heraeus Kulzer Philipp-Reis-Straße 8 61273 Wehrheim
Dentinhaftmittel	PSA® exp Primer I	De Trey, Dentsply De-Trey-Str. 1 78467 Konstanz
Dentinhaftmittel	PSA® exp Primer III	De Trey, Dentsply De-Trey-Str. 1 78467 Konstanz
Dentinhaftmittel	SCA Liquid®	Vivadent Bendererstraße 2 Fürstentum Lichtenstein 9494 Schaan
Dentinhaftmittel	Syntac Single Component®	Vivadent Bendererstraße 2 Fürstentum Lichtenstein 9494 Schaan
Dentinhaftmittel	Tri cure® EXM 156 Primer	3M St Paul Mn 55144-1000, USA

Material/Gerät	Genauere Bezeichnung	Hersteller/Bezugsadresse
Dentinhaftmittel	Ketac Conditioner®	Espe Dental AG Espe Platz 82229 Seefeld
Dentinhaftmittel	GC Dentin Conditioner®	GC Corporation 76-1, Hasunoma-cho, Itabashi-Ku Tokio 174-8585 Japan
Dentinhaftmittel	Prisma Universal Bond 3®	De Trey, Dentsply De-Trey-Str. 1 78467 Konstanz
Dentinhaftmittel	Syntac®	Vivadent Bendererstraße 2 Fürstentum Lichtenstein 9494 Schaan
Finierscheibchen	Sof-Lex™ 3M Nr. 1982 C, M, F, SF	3M St Paul Mn 55144-1000, USA
Hybridglassionomer	Fuji IILC®	GC Corporation 76-1, Hasunoma-cho, Itabashi-Ku Tokio 174-8585 Japan
Hybridglassionomer	Photac-Fil®	Espe Dental AG Espe Platz 82229 Seefeld
Hybridglassionomer	Tri cure EXM 156 GIZ®	3M St Paul Mn 55144-1000, USA

Material/Gerät	Genauere Bezeichnung	Hersteller/Bezugsadresse
Hybridglassionomer	Vari Glass VLC®	Caulk / Dentsply Milford, DE 19963-0359, USA
Karbonkleber LEIT-C	LEIT-C-PLAST® Plastic Conductive Carbon Cement	Neubauer Chemikalien 48153 Münster
Kompomer	Dyract® exp.	De Trey, Dentsply De-Trey-Str. 1 78467 Konstanz
Kompomer	Compoglass®	Vivadent Bendererstraße 2 Fürstentum Lichtenstein 9494 Schaan
Komposit	TPH®	De Trey, Dentsply De-Trey-Str. 1 78467 Konstanz
Komposit	Tetric®	Vivadent Bendererstraße 2 Fürstentum Lichtenstein 9494 Schaan
Mikromotor	Mikromotor für Tauchvor- gänge	Isel-Automatic, Hugo Isert Im Leibolzgraben 16 36132 Eiterfeld

Material/Gerät	Genaue Bezeichnung	Hersteller/Bezugsadresse
Modellkunststoff für die Replikaherstellung	EPOXY-DIE®	Ivoclar Bendererstraße 2 Fürstentum Lichtenstein 9494 Schaan
Polymerisationslampe	Translux CL	Fa. Heraeus Kulzer Philipp-Reis-Straße 8 61273 Wehrheim
Präparierdiamant	FG 852-011 C	Fa. ISO Diamant München
Präparierdiamanten	FG 201      FG 3113 S FG 255 GS	Intensiv 6962 Viganello-Lugano
Rasterelektronenmikroskop	Leitz AMR 1200	Leitz Siegmond-Hiepestr. 2-13 35578 Wetzlar
Software für Quantitative Randanalyse	Quanti-Gap®	Stefan Küppers Med. Softwarelösung Haagstr. 10 91054 Erlangen
Software für Statistik	SPSS for Windows 9.0	SPSS Inc. Chicago IL 60611, USA
Sputteranlage	SEM Autocoating Unit E5200	Polaron Equipment LTD Watford, England
Wasserbäder	Tauchbäder mit Temperierung	Haake Meßtechnik GmbH & Co. Dieselstr. 4 76227 Karlsruhe

## 10 Danksagung

Herrn Prof. Dr. K.-H. Kunzelmann gilt mein besonderer Dank für die Überlassung des Dissertationsthema, die jederzeit gewährte Unterstützung und die Anleitung zum wissenschaftlichen Arbeiten bei der Durchführung dieser Untersuchung.

Herrn Dipl.-Ing. (FH) Th. Obermeier danke ich herzlichst für seine freundliche und unermüdliche Unterstützung bei der Versuchsdurchführung am Rasterelektronenmikroskop und der Bereitschaft zur Lösung auftretender Computerprobleme.

Dank gilt auch Herrn M. Bauer für die Zusammenarbeit bei der Erstellung der Proben.

Schließlich möchte ich meinen Eltern für die Ermöglichung dieses Studiums und die großzügige Unterstützung während meiner Ausbildung danken, und meiner Christl für das viele Verständnis und ihren moralischen Beistand.

## 11 Lebenslauf

### Persönliche Angaben

- Familienstand: ledig
- Staatsangehörigkeit: deutsch
- Geburtsdatum: 20.06.1969
- Geburtsort: Traunstein
- Eltern: Dr. Harald von Knoerzer-Suckow, Zahnarzt  
Johanna von Knoerzer-Suckow, geb. Seehuber
- Geschwister: Markus, Julia

### Schulbildung

1975 - 1980 Volksschule Ruhpolding

1980 - 1989 Chiemgau-Gymnasium Traunstein

### Wehrdienst

01.06.1989 - 18.12.1989 Gebirgsjägerbataillon 232 Strub

### Studium

12.1989 - 08.1996 Studium der Zahnheilkunde an der Ludwig-Maximilians-Universität  
(LMU), München

06.08.1996 Erteilung der Approbation als Zahnarzt

### Beruf

20.08.1996 - 30.09.1996 Assistenz Zahnarzt bei Dr. Harald von Knoerzer- Suckow, Bad  
Reichenhall

01.10.1996 - 30.09.1997 Assistenz Zahnarzt bei Dr. Dr. Wilhelm Blech, Rosenheim-Aising

01.10.1997 - 31.12.1998 Assistenz Zahnarzt bei Dr. Harald von Knoerzer- Suckow, Bad  
Reichenhall

seit 01.01.1999 Niedergelassener Zahnarzt mit eigener Zulassung in der Praxisgemeinschaft  
Dr. Harald von Knoerzer- S., Bad Reichehill