



Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf

Zentrum für Zahn-, Mund-, Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde
Direktorin: Prof. Dr. Ursula Platzer

Intraorale Reparatur von festsitzendem Zahnersatz

Dissertation
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg

vorgelegt von
Süleyman Selçuk
aus Alaattin (Denizli, Türkei)

Hamburg 2006

Angenommen von dem Fachbereich Medizin der
Universität Hamburg am:

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs Medizin
der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, die/der Vorsitzende/r:

Prüfungsausschuss, 2. Gutachter/in:

Prüfungsausschuss, 3. Gutachter/in:

In Dankbarkeit
meiner Familie gewidmet

INHALTSVERZEICHNIS

1	EINLEITUNG.....	1
2	LITERATURÜBERSICHT	4
2.1	Aufbau von Verblendmetallkeramikronen.....	4
2.1.1	Legierungen	4
2.1.2	Verblendkeramiken	6
2.2	Probleme abgeplatzter Verblendungen.....	7
2.3	Prinzipien der Oberflächenkonditionierung bei Reparaturen mit Kunststoff.....	9
2.3.1	Prinzipien der Konditionierung von Keramikoberflächen für die Kunststoffreparatur	10
2.3.2	Prinzipien der Konditionierung von Metalloberflächen für die Kunststoffreparatur	14
2.4	Erfahrungen mit Reparatursystemen	17
3	FRAGESTELLUNG	22
4	MATERIAL UND METHODE	22
4.1	Versuchsablauf und Materialien	22
4.2	Prüfkörperherstellung.....	26
4.2.1	Prüfkörperherstellung mit Keramikoberfläche.....	26
4.2.2	Prüfkörperherstellung aus Metall.....	29
4.3	Verarbeitung der Reparatursysteme	31
4.4	Versuchsdurchführung.....	38
4.5	Statistische Auswertung.....	39
5	ERGEBNISSE.....	40
5.1	Ergebnisse des Kunststoffverbundes auf Keramikoberflächen.....	40

5.2	Ergebnisse des Kunststoffverbundes auf Metalloberflächen	43
5.2.1	Degunorm.....	43
5.2.2	Pors-On 4	46
5.2.3	Remanium 2000	49
5.2.4	Vergleich der Basismaterialien	52
6	DISKUSSION	57
6.1	Methodenkritik.....	57
6.2	Ergebniskritik	59
7	SCHLUSSFOLGERUNG	63
8	ZUSAMMENFASSUNG	64
9	LITERATURVERZEICHNIS	66
10	DANKSAGUNG	75
11	LEBENS LAUF	76
12	ERKLÄRUNG	77

1 EINLEITUNG

Festsitzende prothetische Restaurationen bestehen heutzutage üblicherweise aus einem Metallgerüst mit keramischer Verblendung. Mitunter frakturiert die Keramikverblendung nach der Eingliederung unter Funktion. Dies ist für Patient und Behandler aus ästhetischen und funktionellen Gründen unangenehm [ÖZCAN 2003a].

Ursachen für die Fraktur der keramischen Verblendungen an Kronen- und Brückengerüsten können labortechnische Verarbeitungsfehler oder ungünstige dynamische Belastungen sein. Beispielsweise kann durch eine unzureichende Vakuumbildung im Keramikbrennofen eine Porenbildung in der Keramikverblendung entstehen. Bruxismus oder starke dynamische Belastungen erzeugen hohe Scherkräfte, die die Keramikverblendung im Laufe der Zeit bis zum Bruch belasten können [SCHWICKERATH & BANTELMANN 1989, GEHRE 1996, LINDEMANN 2000, PFEIFFER et al. 2002, ÖZCAN 2003b].

Wenn ein solcher Defekt der Verblendung auftritt, bestand schon immer der Wunsch, die Restauration wiederherzustellen. Da es sich um festsitzenden Zahnersatz handelt, erforderte dieser Wunsch in der Vergangenheit oft die Neuanfertigung der Restauration. Eine solche Neuanfertigung von hochwertigem Zahnersatz ist teuer und zeitaufwendig. Um dies zu umgehen, wünschten sich Patient und Zahnarzt Möglichkeiten zur Reparatur der defekten Keramikverblendung direkt im Mund. Der Teil der abgeplatzten Keramikverblendung sollte intraoral ergänzt werden, wozu sich Komposit bewährt hat [THURMOND et al. 1994, PFEIFFER et al. 1996, FOITZIK & ATTIN 2004]. Mit Frontzahnkompositen ist eine individuelle farbliche Gestaltung möglich. Die Reparatur mit Kunststoff soll nicht nur in Form und Farbe der ursprünglichen Verblendung entsprechen, sondern auch unter Funktion dauerhaft halten.

Frakturen von Keramikverblendungen können innerhalb der Keramik liegen oder die gesamte Keramik betreffen, so dass die Metalloberfläche des Gerüsts frei liegt [BERTOLOTTI et al. 1989, CHUNG & HWANG 1997]. Dementsprechend muss der Kunststoff auf der Keramik oder der Metallegierung des Gerüsts haften. Lange Zeit bestand das Problem,

dass sich das angeklebte Kunststoffteil nach kurzer Funktionsdauer von dem Metallgerüst bzw. der keramischen Frakturfläche wieder ablöste. Daher wurde diese Art der Reparatur von abgeplatzten Verblendungen als nicht dauerhaft angesehen. Der Grund für das Misslingen der Reparaturversuche mit Komposit war, dass der Kunststoff ohne spezielle Konditionierung der Defektfläche auf die betroffene Restauration aufgetragen wurde. Ein mechanisches Anrauen der Frakturfläche allein reichte als Retention für das Kompositmaterial nicht aus [FAN 1991, MARX et al. 1991, FOITZIK & ATTIN 2004].

Zur Lösung des Problems wurden Reparatursysteme entwickelt, die einen chemischen Verbund zwischen der Metalllegierung des Gerüsts bzw. der verbliebenen Keramikverblendung und dem Komposit, der zur Reparatur verwendet wurde, herstellen sollen [PROÃÑO et al. 1998, EDELHOFF et al. 1999, ROBIN et al. 2002]. Diese Systeme beruhen auf kombiniert chemischer und mechanischer Konditionierung der Frakturfläche durch Silanisierung und/ oder Silikatisierung [WOLFART & KERN 2000, ÖZCAN 2003a].

Zuerst wurden solche Verbundsysteme für den Gebrauch im zahntechnischen Labor angeboten. MUSIL und TILLER stellten 1984 das Silicoater-Verfahren (Heraeus-Kulzer, Hanau) zur Silikatisierung der Oberfläche metallischer Gerüste vor, um eine Verbindung mit dem Verblendungsmaterial herzustellen. Von der Firma 3M ESPE (Seefeld) wurde 1989 ein weiteres Laborverfahren, das Rocatec-Verfahren, entwickelt, das auf der tribochemischen Beschichtung beruht [GUGGENBERGER 1989]. Hierbei wird Sand aus Korund und Siliziumoxid auf die zu konditionierende Oberfläche gestrahlt, wodurch nicht nur die Oberfläche mikromechanisch angeraut, sondern auch die Oberflächenenergie erhöht wird. Anschließend erfolgt eine Silanisierung. Das extraorale Rocatec-Verfahren wurde zum CoJet -System (3M ESPE) modifiziert, so dass es auch intraoral - bei entsprechendem Schutz durch Kofferdam- angewendet werden kann. Die Effizienz des CoJet -Systems wurde bereits wissenschaftlich für intraorale Reparaturen von Verblendungen nachgewiesen [PFEIFFER 1993, PROÃÑO 1997, EDELHOFF et al. 1999, COBB et al. 2000].

Alternativ wurde zur Reparatur reiner Keramikfrakturen bereits 1989 die Ätzung mit Flusssäure bzw. angesäuertem Fluorphosphat (APF) verwendet, wobei diese Methoden heute aufgrund der Gesundheitsgefährdung obsolet sind [BERTOLLI et al. 1989, JARDEL et al. 1999a und 1999b, SCHMAGE et al. 2003]. Darüberhinaus werden von verschiedenen Herstellern intraorale Reparatursysteme angeboten, die alle auf dem Prinzip der Silanisierung oder der Verwendung eines funktionellen Monomers beruhen [TILLER et al. 1989, MARX et al. 1991, SHAHVERDI et al. 1998, BEHR et al. 2003]. Teilweise sind diese Systeme ausschließlich zur Haftvermittlung des Komposits auf Metall –z.B. Alloy Primer (Kuraray, Okayama, Japan) und Metal Primer (GC, Tokyo, Japan) – oder auf Keramik – z.B. Clerafil Repair (Kuraray) – geeignet. Mit den meisten Systemen lassen sich jedoch auch Mischfrakturen, d.h. Frakturflächen mit Keramik- und Metallbeteiligung ergänzen. Dabei ist zu beachten, dass Verblendkronen aus unterschiedlichen Legierungen bestehen können, und dass dem Behandler die vorliegende Legierung mitunter nicht bekannt ist [BIENIEK et al. 1991]. Demzufolge sollten die verschiedenen Reparatursysteme gleichermaßen den Verbund zu den verschiedenen Legierungstypen, die für Verblend-Metall-Restaurationen verwendet werden, herstellen [WOLFART & KERN 2000]. Die Effizienz der angebotenen Reparatursysteme wurde bislang kaum in Bezug auf ihre Haftung auf verschiedenen Metalllegierungen bzw. Keramik vergleichend getestet [BEHR et al. 2003, SCHMAGE et al. 2003, VALLITTU & KURUNMÄKI 2003]. Darüber hinaus wurde der Einfluss des verwendeten Reparaturkunststoffs wenig beachtet [DE WET et al. 2003, YANAGIDA et al. 2003].

Daher ist das Ziel dieser Untersuchung, die Haftfestigkeit zwischen zwei Kompositen und drei verschiedenen Legierungen bzw. Keramik nach Konditionierung mittels sechs verschiedener Systeme zur intraoralen Reparatur zu vergleichen.

2 LITERATURÜBERSICHT

2.1 Aufbau von Verblendmetallkeramikkrone

Die ersten Versuche, Keramik in der Zahnmedizin einzusetzen, gehen auf *Fauchard* 1728 zurück [GEHRE et al. 1984]. Die Verwendung von Keramik zur Verblendung von Metallgerüsten ist seit einigen Jahrzehnten etabliert. Basierend auf einem Patent von WEINSTEIN et al. [1962] für Aufbrennkeramiken gelang es erstmals, einen dauerhaften metallkeramischen Verbund herzustellen. Inzwischen ist der Werkstoff so weit entwickelt, dass auch vollkeramische Restaurationen zuverlässige Ergebnisse anbieten.

Die Verblendmetallkeramikkrone (VMK-Krone) besteht aus einem 0,3 bis 0,5 mm dicken metallischen Gerüst aus einer aufbrennfähigen Edelmetall- oder Nichtedelmetall-Legierung. Die Keramik wird auf das Gerüst nach der Verblendtechnik in der gewünschten Farbe und Formgestaltung im Keramikofen aufgebrannt. Bei der Keramikverblendung ist streng darauf zu achten, dass nur aufeinander abgestimmte Materialien verwendet werden, da sie sonst herstellungsbedingt wieder abplatzen kann [ÖZCAN & NIEDERMEIER 2002]. Früher wurden Verblendungen auch aus Kunststoff angefertigt. Aufgrund ihrer biologischen Inertheit, Gewebefreundlichkeit, Dauerfestigkeit und guten Ästhetik hat sich die Keramikverblendung durchgesetzt, während der Kunststoffverblendung heute für Dauerprovisorien und Konuskronen ein sehr eingeschränkter Indikationsbereich vorbehalten ist [TRUMM & TRUMM 1986, JONES 1989, KAPPERT 1994].

2.1.1 Legierungen

Um die Mundbeständigkeit zu gewährleisten [SCHWICKERATH 1988] enthalten die aufbrennfähigen Edelmetall-Legierungen Gold zwischen 55-90 Massen- %. Weitere Komponenten wie Platin, Palladium und Silber und geringe Mengen von Nichtedelmetallen wie Zinn, Indium, Eisen oder

Titan werden zugesetzt [STÜMKE 1994]. Die Nichtedelmetalle erhöhen die Festigkeit der Legierungen und sind verantwortlich für die Entstehung der Oxide (Haftoxide) auf der Gerüstoberfläche. Die Oxide stellen die chemische Verbindung zwischen Legierung und Keramik her [GEISGERSTORFER 1996].

Übliche Edelmetall-Legierungen für VMK- Kronen sind beispielsweise Degudent[®] G (DeguDent, Hanau), Degudent[®] H (DeguDent) und Degunorm[®] (DeguDent). Sie besitzen einen Goldanteil zwischen 75 bis 85 Massen- % und einen Platinanteil zwischen 10 bis 15 Massen- %. Der restliche Anteil der Legierungen sind Nichtedelmetalle wie Indium, Kupfer und Zinn.

Die Nichtedelmetall-Legierungen bestehen meist aus den Hauptkomponenten Nickel oder Chrom mit bis zu 65 Massen- %. Dazu werden um 20 Massen- % Chrom und 10 Massen- % Molybdän hinzulegiert. Sie haben im Vergleich zu den Edelmetall-Legierungen eine gleichwertige oder sogar bessere metallkeramische Haftung [KAPPERT 1988]. Um mundbeständig zu sein, benötigen die Nichtedelmetall-Legierungen mindestens 25 Massen- % Chrom. Übliche Nichtedelmetall-Legierungen sind Legierungen wie Remanium[®] 2000 (Dentaurum, Ispringen) und Wiron[®] 88 (Bego, Bremen). Sie sind zu 93 bis 98 Massen- % aus Kobalt-Chrom-Molybdän zusammengesetzt.

Den Edelmetall-Legierungen werden leicht oxidierbare Elemente hinzulegiert, um Haftoxide auf dem Gerüst zu bilden. Im Gegensatz dazu werden den Nichtedelmetall-Legierungen Elemente mit einer höheren Affinität zu Sauerstoff wie Lanthan hinzulegiert, um eine übermäßige Oxidation zu verhindern. Eine zu dicke Oxidationsschicht würde wiederum die Verbindung zur Verblendung schwächen, weshalb die Oxidschicht der aufbrennfähigen Nichtedelmetall-Legierungen durch Abstrahlen vermindert wird [KAPPERT 1989].

2.1.2 Verblendkeramiken

Verblendkeramiken sind aufgrund ihrer Biokompatibilität in der restaurativen Zahnheilkunde sehr beliebt [LINDEMANN 2000]. Sie sind weitgehend unlöslich und können nur durch starke Reagenzien wie Flusssäure oder phosphorsäurehaltige Fluoridgele gelöst werden. Diese Eigenschaft beruht auf der starken Gitterbindung der Atomgruppen, da die Verblendkeramik aus Metalloxiden in gesättigten Oxidationsstufen besteht [MARX 1993].

Die meisten Verblendkeramiken gehören zu den Silikatkeramiken [LINDEMANN 2000]. Silikate sind Salze der Kieselsäure. Als Kieselsäuren werden Sauerstoffsäuren des Siliziums ($\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$) bezeichnet. Die mineralogische Bezeichnung für Silikat ist Feldspat. Feldspat ist ein Mischkristall-System bestehend aus Kalifeldspat (Orthoglas), Natronfeldspat (Albit) und Kalkfeldspat (Anorthit) [GEHRE 1996]. Der Hauptbestandteil der Verblendkeramiken ist im Gegensatz zum Porzellan Feldspat. Traditionelle Verblendkeramiken bestehen vorrangig aus Kali- und Natronfeldspat mit Leuzitkristallen in disperser Verteilung als charakteristische kristalline Phase [CLAUS 1980, MARXKORS & MEINERS 1988].

Bei der Herstellung der Verblendkeramiken wird das kristalline Material gebrannt (gefrittet), wodurch die Kristallpartikel oberflächlich verglasen. Die Verglasung der Kristallpartikel wird bei der Herstellung der Verblendung im Keramikbrennofen verstärkt. Strukturell bestehen Verblendkeramiken aus einer Glasmatrix mit eingelagerten kristallinen Strukturen. Die mechanischen Eigenschaften der Verblendkeramiken werden überwiegend durch den Glascharakter, das SiO_2 -Grundgerüst, bestimmt. Die zugesetzten Metall-Ionen mindern die mechanischen Parameter durch Auflockerung des SiO_2 -Grundgerüsts, die kristallinen Phasen verstärken sie [MC LEAN & HUGHES 1965].

So besitzen die gebrannten Verblendkeramiken eine hohe Vickers-Härte von 4000-5000 MPa und eine hohe Druckfestigkeit von 800-1000 MPa. Dagegen ist der Schwachpunkt der Verblendkeramiken die mangelhafte Zug-, Biege- und Scherfestigkeit. Die Zugfestigkeit beträgt nur

40-100 MPa und die Biegefestigkeit 100-180 MPa. Dies hat zur Folge, dass sich bei Druckspannungen beginnende Risse schließen und somit die weitere Ausbreitung stoppen. Im Gegensatz dazu öffnen die Zug- und Scherbeanspruchungen die Rissflanken und vertiefen den Riss [MARX 1993]. Die Verblendkeramik als sprödes Material verformt sich unter Belastung kaum. Diese Formbeständigkeit macht Verblendkeramiken empfindlich für geringe Fehler in ihrem Gefüge, die Ausgangspunkte für Risse darstellen. Fehler wie Porenbildung in der Keramik durch schlechte Verdichtung oder ungenügende Vakuumerzeugung im Vakuum-Brennofen können bei der Herstellung entstehen, aber vor der Eingliederung nicht erkannt werden und sich erst später auswirken, indem die Keramikschicht frakturiert.

2.2 Probleme abgeplatzter keramischer Verblendungen

Eine festsitzende prothetische Versorgung mit einer keramischen Verblendung unterliegt im Mund den physiologischen Kaukräften. In der Literatur werden mittlere maximale Kaukräfte von 140 N bis 200 N im Front- und von ca. 300 N im Seitenzahnbereich angegeben [KÖRBER & LUDWIG 1983, LUDWIG 1991]. Frakturen der Keramikverblendungen werden häufig beobachtet, wenn unphysiologisch hohe Kräfte einwirken [PFEIFFER et al. 1996]. Demzufolge führen neben materialbedingten Fehlern eine falsch eingestellte dynamische oder statische Okklusion, Bruxismus und andere Parafunktionen zur Abplatzung der keramischen Verblendung [ANUSAVICE & ZHANG 1998, ÖZCAN 2003b]. Keramiken nutzen sich unter Funktion intraoral nicht ab oder schleifen sich ein. Dadurch wird die VMK-Krone u.U. überbelastet, der Zahn wird geschädigt oder die Keramik bricht ab [SCHWICKERATH & BANTELMANN 1989]. Wenn bei der Präparation der Pfeilerzähne der benötigte interokklusale Platz für die Schichtdicke der Verblendkeramikkrone von 1,5 mm nicht eingehalten wird, kann auch dies zur Fraktur der Keramikverblendung führen [CREUGERS et al. 1992]. Das Einschleifen der Okklusion kann ebenfalls die Fraktur der Verblendung initiieren, da durch die

Diamantschleifer Kerben entstehen und den Ursprung von Rissen in der Keramikverblendung bilden [LLOBELL et al. 1992.]. Bei Traumata kommt es durch exogene Krafteinwirkung zu unphysiologisch hohen Belastungen auf die Keramik, die zu Frakturen von Keramikverblendungen führen können [MARX 1993, KAPPERT 1994].

SCHMIDT stellte 1990 insgesamt 10% keramische Defekte nach drei Jahren fest. Dagegen nannten WOLFART & KERN 2000 mit unter 3% Abplatzungen nach sieben Jahren deutlich geringere Zahlen. Meist ist die Fraktur auf einen Teil der prothetischen Restauration begrenzt, so dass die Verblendung nur partiell abplatzt. Zu 75% befinden sich die Frakturen im Oberkiefer, da bei allen Unterkieferbewegungen Scherkräfte auf die Labialflächen der Keramikverblendung im Oberkiefer und Druckkräfte auf die Keramikverblendungen im Unterkiefer ausgeübt werden. Da der Schwachpunkt der Keramik in der geringen Scherfestigkeit gegenüber der hohen Druckfestigkeit liegt, kommt es zur Fraktur, wenn die Haftung an der Phasengrenze zwischen Keramik und Legierung durch Scherkräfte überschritten wird [MCLEAN & KEDGE 1989]. In den anterioren OK- und UK-Regionen beträgt die Frakturrate der Keramikverblendungen 65%, weil sie einerseits ungeschützten exogenen Traumata und andererseits bei Eckzahnführung bzw. Protrusion Scherkräften ausgesetzt sind. Nach ÖZCAN & NIEDERMEIER (2002) betreffen Verblendungsfrakturen zu 60% die Labialfläche und nur zu 27% die Bukkalfläche. Die restlichen Frakturen befinden sich zu 8% auf der Okklusalfäche und zu 5% an der Schneidekante der Frontzähne.

Die Abplatzung der keramischen Verblendung führt in der Frontzahnregion zur Einschränkung der Ästhetik und im Seitenzahnbereich zur Einschränkung der mastikatorischen Funktion [AUGTHUN & SPIEKERMANN 1994]. Die Erneuerung der prothetischen Restauration stellt im klinischen Alltag häufig aus zeitlichen und finanziellen Gründen ein Problem dar. Daher ist es wünschenswert, eine Fraktur intraoral ohne eine Erneuerung der prothetischen Restauration unmittelbar mit Komposit reparieren zu können [ÖZCAN 2003a, FOITZIK & ATTIN 2004].

2.3 Prinzipien der Oberflächenkonditionierung bei Reparaturen mit Kunststoff

Bei der Fraktur einer Keramikverblendung sind drei Situationen möglich [BERTOLOTTI et al. 1989, CHUNG & HWANG 1997]. In der ersten Situation liegt die Fraktur ausschließlich in der Keramik (Kohäsivbruch). In der zweiten Situation liegt eine Mischfraktur in Keramik und Metall vor, da das Metallgerüst frakturbedingt teilweise frei liegt. In der dritten Situation ist die gesamte Verblendung frakturiert und das Metallgerüst liegt komplett frei (Adhäsivbruch). Die angebotenen Reparatur-Systeme stellen den Verbund des Reparaturkunststoffs entweder zur Keramik oder zum Metall oder zu beiden her. Zur Reparatur der frakturierten Verblendung bietet sich universell Komposit an [FOITZIK & ATTIN 2004]. Andernfalls könnte auch das frakturierte Verblendungsfragment oder ein laborgefertigtes Veneer zur Ergänzung dienen. Zu deren Befestigung müsste aber ebenfalls ein Kompositzement eingesetzt werden [WOLFART & KERN 2000]. Kunststoff und Metall bzw. Keramik stellen vollkommen verschiedene Phasen dar. Sie unterscheiden sich nicht nur in ihren werkstofflichen Eigenschaften, sondern auch in ihrem chemischen Aufbau, dadurch ist eine direkte Verbindung der Materialien schwierig und nur durch Konditionierung möglich [LUDWIG 1989].

Prinzipiell kann die Veränderung der Oberfläche durch physikalische Konditionierung, chemische Konditionierung oder eine Kombination beider Methoden erfolgen [ÖZCAN et al. 1998].

Bei der physikalischen Veränderung wird eine mikromechanische Konditionierung der Oberfläche erreicht, indem mit einem Korundschleifer (Steinchen) oder Diamanten rotierend bzw. mit Hilfe des intraoralen Sandstrahlverfahrens Rauigkeiten, Unterschnitte oder Kerben angebracht werden. Diese stellen Retentionen für den Kunststoff dar und vergrößern die Oberfläche [WOOD et al. 1986, 1997, ZACHRISSON et al. 1993, BÜYÜKYILMAZ et al. 1995].

Von den physikalischen Konditionierungsmethoden ist das Sandstrahlverfahren am effektivsten. Nachteil der Anrauhung mit Korundschleifern und Diamanten ist, dass ein hoher Randneigungswinkel

entsteht. Durch diesen wird die Benetzung der Oberfläche verschlechtert. Im Gegensatz dazu erzeugt das Sandstrahlverfahren einen geringen Randneigungswinkel und infolgedessen ein günstiges Benetzungsverhalten. Zusätzlich erhöhen die auftreffenden Strahlpartikel die kinetische Energie der Oberfläche, was ebenfalls die Benetzung verbessert [LUDWIG 1996].

Bei Keramikoberflächen wird durch Strahlverfahren die beim Anschleifen mit Diamanten mögliche Rissbildung vermieden.

Früher wurden intraorale Reparaturen mittels mechanischer Retentionen durchgeführt, um die Fraktur dann mit Kunststoff abzudecken [ÖZCAN 1999]. Diese Methoden waren selten langfristig stabil, weshalb andere Reparatur-Systeme präferiert wurden, die eine chemische Haftung zwischen den Grenzflächen boten [FAN 1991, ÖZCAN et al. 1998, FOITZIK & ATTIN 2004]. Die chemischen Konditionierungsmethoden können mit den mikromechanischen Vorbehandlungen kombiniert werden [ÖZCAN 2003a].

2.3.1 Prinzipien der Konditionierung von Keramikoberflächen für die Kunststoffreparatur

Damit die frakturierte Verblendkeramik mit Komposit repariert werden kann, stehen verschiedene Methoden zur Konditionierung der Keramikoberfläche zur Verfügung.

Zur chemischen Konditionierung der Keramikoberfläche muss der chemische Charakter der Oberfläche verändert werden, damit kovalente-, Ionen-, Dipol-Dipol- oder Wasserstoffbrückenbindungen zwischen der Keramikoberfläche und dem Kunststoff entstehen können. Die Reaktionsträgheit des Werkstoffes erschwert die chemische Verbindung mit dem Reparaturkunststoff [PFEIFFER 1993].

Sowohl auf Keramik als auch auf Metall kann die Silanisierung und/ oder Silikatisierung zur chemischen Haftvermittlung eingesetzt werden. Zusätzlich empfehlen verschiedene Autoren eine mechanische Konditionierung der frakturierten Oberfläche mit einem Korundschleifer,

mit Diamanten, mit Hilfe des Sandstrahlverfahrens oder anderen Konditionierungsverfahren, um so eine mikromechanisch retentive Oberfläche zu erhalten, bevor der Reparaturkunststoff appliziert wird [CALAMIA et al. 1984, HAYAKAWA et al. 1992, EDELHOFF & MARX 1995, HOOSHMAND et al. 2002, SCHMAGE et al. 2003, SPOHR et al. 2003].

Die Silikatisierung bildet als chemische Konditionierung eine Brücke zwischen der Keramik und dem Kunststoff und steigert die Haftfestigkeit der Klebung [PRÖBSTER & KOURTIS 1991, ÖZCAN et al. 1998, PFEIFFER et al. 2003]. Bei der Silikatisierung wird die Metalloberfläche mit Silizium-Ionen beschichtet. Über diese Silizium-Ionen wird die chemische Verbindung zwischen Metall und Kunststoff hergestellt [KNISCHEWSKI & RAU 1984, PFEIFFER 1993]. Dies kann durch Aufbrennen von Dentalkeramikschichten, durch Beschichtung im Vakuum mittels Verdampfung, durch pyrolytische Strahlprozesse oder durch tribochemische Beschichtung der Oberfläche geschehen. Aufgrund der einfachen Handhabung hat sich bei der labortechnischen Silikatisierung das Rocatec[®]-Verfahren (3M ESPE) durchgesetzt [GUGGENBERGER 1989]. Es beruht auf tribochemischer Beschichtung und erzeugt eine energiereiche, reaktionsbereite, mit SiO₂ angereicherte Oberfläche. Auf diese wird anschließend eine Silan-Lösung aufgebracht. Zur intraoralen Anwendung wird das auf den gleichen Prinzipien basierende CoJet -System angeboten [PFEIFFER 1993, PROÑANO 1997, EDELHOFF et al. 1999, COBB et al. 2000]. Zum Schutz der Weichgewebe ist das Anlegen von Kofferdam obligat [MARX et al. 1991]. Die Verwendung von 30 µm Rocatec-Sand hat sich beim CoJet -System bewährt [PFEIFFER 1993].

Der Vorteil ist, dass das Werkstück nicht in toto erhitzt werden muss, um die Siliziumoxidschicht aufzunehmen. Beim Strahlprozess wird die kinetische Energie der einzelnen Strahlpartikel isoliert auf die Oberfläche übertragen und in chemische sowie in Wärmeenergie umgewandelt. Auf diese Weise brennen sich die einzelnen Siliziumoxidkörner bei einer hohen, lokal begrenzten Temperaturentwicklung in die Oberfläche ein und eine silikatreiche (SiO₂) Oberfläche entsteht. Die SiO₂-Oberfläche kann

über das Silanisieren einen hydrolysebeständigen Verbund zu Kunststoffen erzeugen [GUGGENBERGER 1989].

Das Silanisieren ist ein Verfahren, das den Kunststoff und die auf die Keramik- bzw. Metalloberfläche tribochemisch aufgebrauchte Silikatschicht oder die silikatischen Anteile z.B. der Dentalkeramiken chemisch verbindet. Chemisch sind Silane Abkömmlinge der Siliziumwasserstoffe, die einen ähnlichen Aufbau wie Kohlenwasserstoffe haben. Eine Kohlenwasserstoffkette verbindet eine Acrylat-Gruppe mit einem vierwertigen Siliziumatom, an dem drei Methoxygruppen gebunden sind (Abb. 1) [GEIS-GERSTORFER 1996].

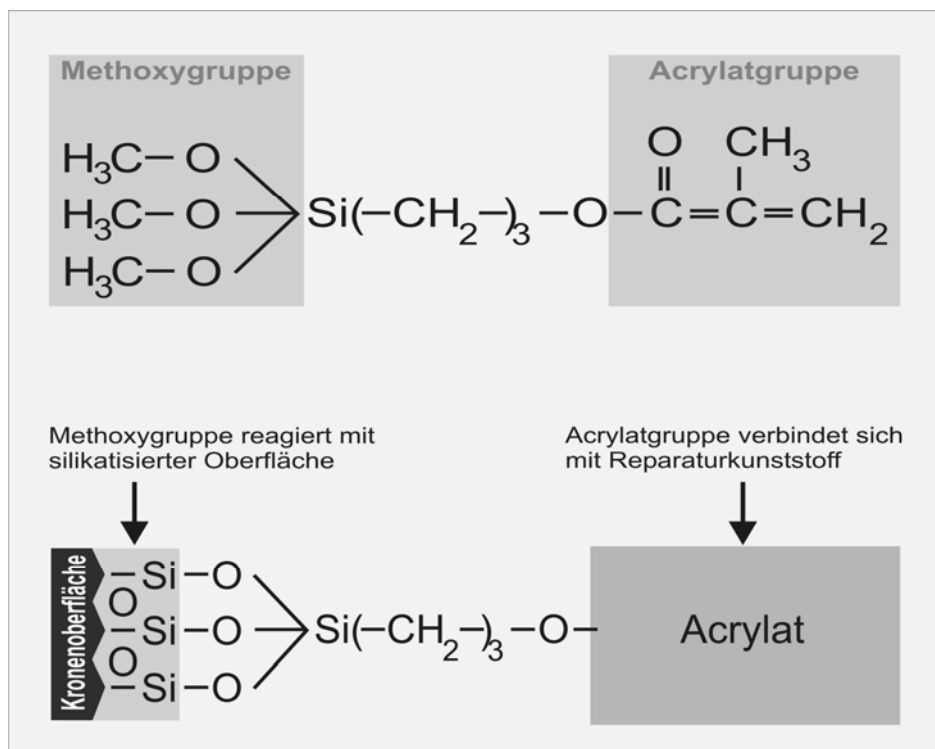


Abb. 1: Prinzipielle Grundstruktur der Silane. Oben die Strukturformel von Silan und unten die Verbindung des Silans mit der silikatisierten Oberfläche

Die Methoxygruppe ist dabei für den Verbund zu den silikatischen Anteilen der Keramikoberfläche verantwortlich. Die Bindung des Silanmoleküls erfolgt unter Abspaltung von Methanol (Hydrolyse) entweder kovalent oder über Wasserstoffbrückenbindung. Die Acrylat-Gruppe übernimmt die Aufgabe, durch Polymerisation ein Teil des Kunststoffmoleküls zu werden. Auf diese Weise entsteht eine chemische Verbindung zwischen den unterschiedlichen Stoffklassen [KERN et al. 1991, STRUB et al. 1994].

Silane werden als Lösung auf die vorbehandelte Bindungsfläche aufgepinselt. Nach Verdunstung der flüssigen Anteile der Lösung haben die Silanmoleküle mit den silikatischen Anteilen reagiert, so dass anschließend der Kunststoff auf die Bindungsfläche aufgetragen werden kann [PLUEDDEMANN 1982, RIEDER 1991].

Auf Keramikoberflächen kann ein retentives Muster außerdem durch chemische Agenzien wie Flusssäure und angesäuertes Fluorphosphat geschaffen werden [LACY et al. 1998, SORENSEN et al. 1991, WOLF et al. 1993, TYLKA et al. 1994, JARDEL et al. 1999b, SCHMAGE et al. 2003, SPOHR et al. 2003]. Als Flusssäure wird in der Chemie eine wässrige Lösung von Hydrogenfluorid (HF) bezeichnet. Es handelt sich dabei um eine mittelstarke Säure, die in der Lage ist, Glas chemisch zu zersetzen.

Die dentalkeramischen Massen nehmen in Bezug auf ihre Zusammensetzung, Struktur und Verarbeitung eine Zwischenstellung zwischen Glas und Keramik ein. Flusssäure kann durch ihre besonderen Eigenschaften die Glasmatrix aus den dentalkeramischen Massen herauslösen und so ein retentives Muster für mikromechanische Retentionen erzeugen [CALAMIA et al. 1984]. Um zusätzlich eine chemische Bindung zwischen Verblendkeramik und Verblendkunststoff zu schaffen, werden dafür Silane verwendet [WOOD et al. 1986, JARDEL et al. 1999a]. In der Literatur wird neben den guten Konditionierungseigenschaften der Säuren auch auf ihre Gesundheitsgefährdung hingewiesen [WOLFART & KERN 2000]. Schleimhautkontakt kann zu Erythemen, Gewebsverlust und Tage andauernden starken Schmerzen führen. Daher sollte auf die intraorale Anwendung verzichtet werden [BARBOSA et al. 1973]. Allerdings war ihre Verwendung in der Kieferorthopädie zum Kleben von Brackets auf bestehende Keramikrestorationen bis in die neunziger Jahre üblich [AKIN-NERGIZ et al. 1996]. Seit Alternativen wie das CoJet -System zur Verfügung stehen, sollten diese präferiert werden [JARDEL et al. 1999b, HOOSHMAND et al. 2002, SCHMAGE et al. 2003].

Konventionell für Verblendmetallkeramiken verwendete Feldspatkeramiken verhalten sich anders als die für vollkeramische Restaurationen verwendeten aluminium- bzw. zirkoniumoxidverstärkten

Dentalkeramiken. Typische Vertreter für Aluminiumoxidkeramik sind In-Ceram und Hi-Ceram (VITA, Bad Säckingen) und für Zirkoniumoxidkeramik z.B. ER-Wurzelstifte Cerapost (Komet, Lemgo). Feldspatkeramiken besitzen zwar eine geringe Druck-, Zug- und Biegefestigkeit, aber eine gute Säurelöslichkeit. Dagegen verhält es sich bei den Materialien für vollkeramische Restaurationen umgekehrt. Deswegen lassen sie sich schlechter mit Flusssäure konditionieren als konventionelle Feldspat-Keramiken. Bei solchen Keramiken gelingt es nicht, durch Konditionierung mit Säuren und Silanisieren einen stabilen Verbund zu herkömmlichen Bis-GMA-Kunststoffen zu erreichen [GEHRE 1996]. Daher wird zur Konditionierung von aluminium- bzw. zirkoniumoxidverstärkten dentalkeramischen Oberflächen das Strahlen bzw. Silikatisieren mit anschließendem Silanisieren empfohlen [KAPPERT 1989, EDELHOFF et al. 2000].

2.3.2 Prinzipien der Konditionierung von Metalloberflächen für die Kunststoffreparatur

Beim kompletten Verlust einer Keramikverblendung liegt das Metallgerüst der Krone frei und erfordert eine Reparatur zur Wiederherstellung von Ästhetik und Funktion durch Aufbau mit Kunststoff.

Die Konditionierungsprinzipien der Metalloberflächen ähneln denen der Keramikoberflächen: Zur physikalischen Konditionierung werden die Metalloberflächen mikromechanisch angeraut und zur chemischen Konditionierung stehen Silikatisierung und Silanisierung zur Verfügung [PROÃNO et al. 1998, EDELHOFF et al. 1999, WIRZ et al. 1999, ROBIN et al. 2002]. Beide Methoden können wiederum kombiniert werden [PFEIFFER et al. 2003, ÖZCAN 2003a, NERGIZ et al. 2004]. Zusätzlich zum chemischen Verbund sollte die mechanische Anrauhung genutzt werden, um die Haftung des Reparaturkunststoffes zu steigern. Besonders das Bestrahlen beeinflusst die Benetzbarkeit positiv: NEM-Legierungen erfahren als härtere und wenig duktile Legierungen einen höheren Energiegewinn als Edelmetall-Legierungen, bei denen ein Teil

der Energie durch plastische Deformation verloren geht [LUDWIG 1996]. Gerade bei Edelmetall-Legierungen ist der Substanzabtrag und die Deformation dünner Bereiche durch das Bestrahlen zu beachten [PRÖBSTER & KOURTIS 1991]. Mögliche Varianzen in der Haftfestigkeit der Klebung in Abhängigkeit von der Metalllegierung sollten berücksichtigt werden [WIRZ et al. 1999, BEHR et al. 2003, VALLITTU & KURUNMÄKI 2003, ÖZCAN et al. 2004].

Weitere geeignete Verfahren, den chemischen Verbund zwischen Metall und Keramik zu erlangen, sind zum einen das Verzinnen und zum anderen die Konditionierung mit Säuren. Das Verzinnen wird in der Literatur als labortechnische Methode angegeben [KRINGS 1991]. Bei Nicht-Edelmetall-Legierungen (NEM) entsteht im Gegensatz zu Edelmetall-Legierungen durch Oxidation der unedlen Komponenten leichter eine Oxidschicht, die zur Verbesserung des Kunststoffverbundes beiträgt [ISHIJIMA 1992]. Bei Edelmetall-Legierungen ist die Haftung dagegen schlechter, weil sie einen sehr geringen Nichtedelmetall-Anteil besitzen, der oxidieren und eine chemische Verbindung zum Metall-Adhäsiv aufbauen kann [TANAKA et al. 1988]. Die Bildung einer Oxidschicht auf edlen Oberflächen wird durch das Verzinnen unterstützt [KRINGS 1991]. Diese Art der Oberflächenkonditionierung wird in der Zahntechnik z.B. beim OVS-System angewendet (Opaquer-Verbund-System) (Fa. De Trey) [VAN DER VEEN & BRONSDIJK 1984,1988; VAN DER VEEN 1990, KRINGS 1991]. Das Verzinnen kann auf zwei Arten durchgeführt werden: das elektrochemische Verzinnen, wobei eine dünne Schicht aufgalvanisiert wird, oder das Auftragen eines Flüssigkeitsgemisches aus Gallium und Zinn, wodurch auch eine unedle Schicht entsteht [OHNO et al. 1992]. Das Verzinnen ist intraoral nicht zugelassen.

Zur Konditionierung der Frakturfläche mit Säuren dienen beispielsweise Salzsäure, Schwefelsäure und Salpetersäure. Hierbei greifen die Säuren bevorzugt die Substanz an den Korngrenzen an. Die Korngrenzen erscheinen im konditionierten Bereich als Furchen [THOMPSON & PFEIFFER 1986]. Ein ähnliches Resultat an der Metalloberfläche ergibt sich durch die elektrolytische Konditionierung [LIVADITIS & THOMPSON

1982]. Diese Konditionierungsarten sind labortechnische Verfahren und für den intraoralen Gebrauch ungeeignet, weil sie mit sehr starken Säuren durchgeführt werden, die erhebliche Gesundheitsschäden anrichten können.

Für die intraorale Reparatur geeignete und zugelassene Verfahren sind das bereits für die Keramikoberflächen beschriebene CoJet -System und die funktionellen Monomere [BERTOLOTTI et al. 1989, PROÃÑO et al. 1998, EDELHOFF et al. 1999, WOLFART & KERN 2000, ROBIN et al. 2002, BEHR et al. 2003, YANAGIDA et al. 2003]. Diese stellen mittels einer Silikatschicht und einem Silan-Molekül bzw. einem reaktiven Primer einen Verbund zwischen dem Metall und der Acrylatgruppe des Kunststoffes her. Neben den Silanen können sogenannte funktionelle Monomere oder Metall-Adhäsive, die Metalloberfläche und den Kunststoff chemisch verbinden. Beispiele dafür sind der Metalprimer II (GC, Tokyo, Japan) und der Alloy Primer (Kuraray, Okayama, Japan). Die Adhäsion zwischen der oxidierten Metalloberfläche und den Methacrylsäure-Molekülen wird durch den Primer aktiviert [TANAKA et al. 1981, ÖZCAN et al. 1998, YOSHIDA et al. 2001, BEHR et al. 2003]. Der Verbund durch die Metall-Adhäsive erfolgt folgendermaßen: Die unedlen Bestandteile der Legierungsoberfläche oxidieren unter normalen Raumbedingungen spontan oberflächlich. Die Metall-Adhäsive beinhalten polare Karbonsäuren, die sich gegenüber der oxidierten Legierungsoberfläche ausrichten und über Wasserstoffbrückenbindungen und Dipol-Wechselwirkungen an die Legierungsoberfläche binden. Die angelagerten Metall-Adhäsive besitzen an ihrem freien Ende Methacrylat-Gruppen, die eine chemische Verbindung zum Komposit herstellen. Darüberhinaus beinhalten die Metall-Adhäsive langkettige organische Verbindungen mit offenen Kohlenstoffketten, die ihre hydrophoben Eigenschaften bewirken.

2.4 Erfahrungen mit Reparatursystemen

Die Möglichkeit, abgeplatzte Verblendungen mittels Silanen oder Metall-Adhäsiven zu reparieren, stand bereits 1989 zur Verfügung [BERTOLOTTI et al. 1989, TILLER et al. 1989]. Allerdings wurde die Keramikreparatur damals, obwohl chemische Verbundsysteme genutzt wurden, noch nicht zufriedenstellend bewertet [MARX et al. 1991]. Selbst wenn die mit Gesundheitsrisiken behaftete Ätzung mit Flusssäure angewendet wurde, garantierte dies nicht einen langfristigen Erfolg der Reparatur [KUPIEC et al. 1996]. Erst seit das CoJet -System 1997 zur Nutzung für die intraorale Reparatur zur Verfügung stand, können abgeplatzte Verblendungen mit zufriedenstellender Zuverlässigkeit repariert werden [PROÃÑO 1997, SINDEL et al. 1997, EDELHOFF et al. 1998].

Bei der vorliegenden Literatur handelt es sich um In vitro-Studien, die die Scherfestigkeit des Klebeverbundes z.T. nach thermo-mechanischer Dauerwechselbelastung testeten, und In vivo-Fallstudien, während evidenzbasierte In vivo-Nachuntersuchungen fehlen [MARX et al. 1991, SINDEL et al. 1997, PROÃÑO et al. 1998, WOLFART & KERN 2000, HASELTON et al. 2001, ROBIN et al. 2002]. In vivo-Untersuchungen zu diesem Thema gestalten sich schwierig, da die auftretenden Frakturen unterschiedlich groß sind, unterschiedlich große Anteile von Metall und Keramik freiliegen und die funktionellen Einflüsse variieren. Die vorliegenden Studien verglichen meist das CoJet -System mit den anderen Reparaturverfahren bzw. die verschiedenen Reparaturverfahren miteinander. Zur In vitro-Testung der Haftfestigkeit ist in der DIN/ ISO-Norm der Scherfestigkeitstest vorgeschrieben, weshalb dieser standardmäßig angewendet wurde. Allerdings variierte die Dauer der Lagerung und der künstlichen Alterung in der Literatur. Ein Versuchsdesign mit thermomechanischer Wechselbelastung bzw. einer Lagerung von 150 Tagen und Thermocycling diente der künstlichen Alterung und simulierte eine Funktionsdauer von ca. zwei Jahren [MARX et al. 1991, LEIBROCK et al. 1999, ROSENTRITT et al. 1999 und 2001, BEHR et al. 2003]. Eine erfolgreiche Reparatur erfordert einen spaltfreien Kunststoff-Keramik- bzw. Kunststoff-Metall-Verbund, um eine dem

Mundmilieu widerstehende Klebung zu erzielen [MARX et al. 1991, EDELHOFF et al. 1998]. Deshalb wird zusätzlich der Bruchmodus evaluiert und ein kohäsiver Bruchmodus bevorzugt.

Nach allgemeiner Auffassung sollten dauerhafte Klebungen in der Mundhöhle mindestens eine Festigkeit gemäß ISO 10477 (Dentistry-Polymer-based crown and bridge materials) von 10 N/mm^2 besitzen [PFEIFFER 1990, SINDEL et al. 1997, ROSENTRITT et al. 1999, WOLFART & KERN 2000]. Wie erfolgreich die Reparatur einer Keramikverblendung und damit die erzielbare Scherfestigkeit ist, hängt anscheinend vom Anteil der Keramikfläche ab, die am Verbund beteiligt ist [SINDEL et al. 1997]. Reparaturen mit vollständig oder teilweise in der Keramik liegenden Bruchflächen konnten bessere Ergebnisse aufweisen als Reparaturen auf Metall. Die Reparatursysteme CoJet (ESPE) und Cimara (VOCO, Cuxhaven) sowie die Flusssäureätzung wurden in einer In-vitro-Studie hinsichtlich ihrer Scherfestigkeiten verglichen [SINDEL et al. 1997]. Dabei wurde eine Klebung auf eine Keramikoberfläche von einer Mischfraktur mit 50% Metall- und 50% Keramikoberfläche differenziert. Beide Reparatursysteme, Cimara und CoJet, überschritten sowohl für die Keramik- als auch für die Mischfraktur den geforderten Wert von 10 N/mm^2 . Bei alleiniger Beteiligung der Metalloberfläche erzielte PROÃNO (1997) Scherfestigkeitswerte um $16,5 \text{ N/mm}^2$ und stimmte somit mit den Ergebnissen von SINDEL et al. (1997) überein. Die guten Scherfestigkeitswerte vom CoJet -System wurden darauf zurückgeführt, dass durch das Abstrahlen der Oberfläche mit $30 \mu\text{m}$ Korngröße keine Trümmerschicht in der Keramik entsteht, wie es mit dem Rocatec-System mit $110 \mu\text{m}$ Korngröße der Fall ist. Ferner entfernte das Cimara-System eine solche Trümmerschicht [SINDEL et al. 1997]. In einer In-vitro-Studie verglichen HASELTON et al. (2001) die Scherfestigkeiten vom CoJet -System mit Ceramic Repair (Vivadent) bei Metall-, Keramik- und Mischfrakturen. In dieser Untersuchung war das CoJet -System bei allen Frakturarten Ceramic Repair überlegen, die erzielten Werte lagen zwischen 22 und 25 N/mm^2 . Ceramic Repair erbrachte Scherfestigkeitswerte zwischen 14 und 19 N/mm^2 . Der niedrigste Wert bei

Ceramic Repair von 14 N/mm^2 wurde bei alleiniger Beteiligung der Metalloberfläche gemessen.

2003 wurden von DE WET et al. fünf verschiedene Keramik-Reparatursysteme, u.a. Ceramic Repair (Vivadent) und Clearfil Repair (Kuraray) auf Cerec-Keramik angewendet. Der Schertest ergab Werte um 20 N/mm^2 , allerdings wurde kein Thermocycling durchgeführt. Für Silistor (Kulzer) wurden von LEIBROCK et al. (1999) in einer In-vitro-Studie auf Feldspatkeramik nach thermomechanischer Dauerbelastung im Scherversuch Werte um 12 N/mm^2 bestimmt, was den Werten der Kontrollgruppe mit Rocatec entsprach.

YANAGIDA et al. (2002) verglichen in einer In-vitro-Studie die Scherfestigkeiten von Komposit auf Metalloberflächen mit Alloy Primer (Kuraray), Metalprimer II (GC) und anderen Primern. Dabei stellten sie fest, dass für Alloy Primer der Scherfestigkeitswert von $21,8 \text{ N/mm}^2$ am höchsten war. Dahinter folgte Metalprimer II mit $17,8 \text{ N/mm}^2$. YOSHIDA et al. (2001) testeten ebenfalls die Scherfestigkeiten von drei Metallprimern auf Metalllegierungen. Dabei war der Alloy Primer signifikant dem Metalprimer II überlegen. In Tabelle 1 sind die Untersuchungen, in denen Haftfestigkeiten verschiedener Reparatursysteme gemessen wurden, aufgeführt. Einigkeit besteht heutzutage darüber, dass die Proben einer künstlichen Alterung unterzogen werden sollten, um klinisch übertragbare Ergebnisse zu erzielen. Uneinigkeit herrscht jedoch in der Bewertung der verschiedenen Reparatursysteme. In der Übersicht fällt auf, dass viele Untersucher die Reparatursysteme entweder auf Metall oder Keramik getestet haben. Diejenigen, die beide Materialien als Basis gewählt haben, haben dafür nur einzelne Reparatursysteme evaluiert. Die verwendeten Reparatursysteme und -komposite variierten. Unklar blieb jedoch, welche Werte die verschiedenen Reparatursysteme mit unterschiedlichen Kompositen erzielen würden. Außerdem wurden die verschiedenen Reparatursysteme noch nicht vergleichend auf unterschiedlichen Legierungen, aus denen das VMK-Gerüst bestehen könnte, erprobt. Da eine direkte Gegenüberstellung der Effizienz der aktuell auf dem Markt angebotenen Reparatursysteme bislang aussteht, sollte dies das Ziel der vorliegenden Arbeit sein.

	Autor/Journal/Jahr	Basis			Reparatursysteme	Ergebnisse	
		Prüfkörper je Gruppe	Wasser= lagerung	Thermo= cycling		Haftfestigkeit in N/mm ²	Bruchmodi
1.	Bertolotti et al. Int J Prosthodont 1989	10 Keramik 10 Metall	24 h	-	Vergleich von HF- und APF- Ätzung, mit Diamant, Strahlung u. Silan Edelm. Verzinnt	HF und APF mit Silan höher als ohne, Strahlung besser als Diamantanrau. Haftung auf Metall höher als Keramik	keine Bestimmung
2.	Marx et al. Dtsch Zahnärztl Z 1991	Je 5 Paare Keramik	24 h 30 d 60 d 150 d	-	Vergleich von Strahlung, Korundstein, Silentstein u. unbehandelt mit u. ohne Silan-Primer/ Haftvermittler	Strahlung hatte höchste Werte mit Haftvermittler (21 ± 4) und Haftvermittler/Silan-Primer (41 ± 6) wurden Werte gesteigert	keine Bestimmung
3.	Kupiec et al. J Prosthet Dent 1996	20 Keramik	24 h 90 d	2500 Zyklen	Vergleich v. Strahlung , Ätzung (HF) u. Strahlung/Ätzung mit 8 versch. Oberfl.-Behandl.	HF erzielte höchste Werte in Kombination mit Silan 13,7 ± 1,8	kohäsiv zur Keramik
4.	Sindel et al. Dtsch Zahnärztl Z 1996	15 Keramik	24 h	-	Vergleich von Cimara® mit Ätzen (HF) u. intr.-oral. Rocatec-Syst.	Cimara® 18,5 ± 3,6 Ätzen (HF) 12,1 ± 1,6 intr.-oral. Rocatec-Syst. 8,6 ± 1,5	keine Bestimmung
5.	Brosh et al. J Prosthet Dent 1997	360Komposit	14 d	300 Zyklen	Vergleich von Strahlung, Korundschleifer, Silan und HF.	Strahlung und Karborundstein hatten die höchsten Werte erreicht	keine Bestimmung
6.	Chung & Hwang J Prosthet Dent 1997	10 Keramik 10 Metall 10 Ker./Met.	7 d	-	Vergleich von Strahlung, HF und Kombination Strahlung/HF	Kombination Strahlung/HF erreichte die höchsten Werte 16,8	keine Bestimmung
7.	Proano, F.P. Med. Diss., Köln 1997	10 Keramik 10 Metall (Pd-Ag u. Co-Cr-Leg.)	28 d	2000 Zyklen	intr.-oral. Rocatec-Syst. (CoJet)	Keramik-Prüf. 15 N/mm ² . Met.-Prüf. 16,5 N/mm ²	keine Bestimmung
8.	Sindel et al. Dtsch Zahnärztl Z 1997	15 Prüfkörper 50% Ker. u. 50% Met. (Edelmetall)	24 h	-	Vergleich von Cimara® Ätzen (HF), Rocatec-Syst. u. CoJet-Syst.	Cimara® 10,4 ± 3,0 Ätzen (HF) 7,9 ± 1,4 Rocatec-Syst. 13,8 ± 3,0 CoJet 16,3 ± 2,8	alle Gruppen adhäsiv zum Metall u. kohäsiv zur Keramik

9.	Rosentritt et al. Dtsch Zahnärztl Z 1999	10 Metall (Cr-Co-Mo- Legierung)	150 d	6000 Zyklen	Vergleich v. MetalPrimerII mit Rocatec-Syst.	Rocatec-Syst. 15 N/mm2 Metal Primer II 10 N/mm2	keine Bestimmung
10.	Leibroek et al. J Oral Rehabil. 1999	Keramik	24 h	-	Vergleich von Silistor mit anderen Reparatur- Systemen	Silistor erreichte 12 N/mm2, andere Reparatur-Syst. lagen darunter	keine Bestimmung
11.	Rosentritt et al. Int J Prosthodont 2001	150Komposit	24 h	3000 Zyklen	Vergleich von CoJet, Diamant und Strahlung.	CoJet erzielte die höchsten Werte um um 21.	keine Bestimmung
12.	Yoshida et al. J Oral Rehabil. 2001	Metall (Ag-Pd-Cu-Au)	24 h	20000 Zyklen	Vergleich v. MetalPrimerII u. Alloy Primer gegenüber anderen Reparatur-Syst.	Alloy Primer erreicht höhere Haftfestigkeit gegenüber Metal Primer II	keine Bestimmung
13.	Haselton et al. J Prosth Dent 2001	je 20 Prüfk. Ker.; Ker./Met.; Met.	24 h	300 Zyklen	Vergleich v. CoJet (CJ) mit Ceramic Repair (CR)	Keramik: CJ:22,4±5,6; CR: 18,3±4,2 Ker./Met.:CJ:25,0±3,1; CR: 19,3±4,1 Metall: CJ: 23,0±2,3; CR: 14,3±4,9	Keramik/kohäsiv Ker./koh., Met./adh. Metall/adhäsiv
14.	Robin et al. Dent Mater 2002	20 Keramik 20 Metall	-	1000 Zyklen	Vergleich von Keramik und einer edlen Legierung mit Rocatec-Syst. konditioniert	Kontr.-Gr.ohne Rocatec-Syst. 7,5 Keramik mit Rocatec-Syst. 28 Metall mit Rocatec-Syst. 18	keine Bestimmung
15.	Behr et al. J Dent 2003	je 10 Metall	150 d	6000 Zyklen	Vergleich von verschiedenen Legierungen (edle Leg,NEM, Tit.) kond. m. funkt. Monomer	Titan erzielte höchste Werte um 21.	kohäsiv, adhäsiv koh./adhäs.
16.	De Wet et al. AADR 2003 No.207	Cerec- Porzellan	24 h	-	Vergleich von Ceramic Rep. mit Clearfil Repair	Ceramic Repair 20,9 ± 3,4 Clearfil Repair 19,4 ± 5,3	keine Bestimmung
17.	Oonsambat et al. AADR 2003 No. 0567	Komposit	-	500 Zyklen	Vergleich Strahlung und Diamant.	Strahlung erreichte höhere Werte als Diamant mit 28,7 ± 5,9	keine Bestimmung
18.	Yanagida et al. Eur J Oral Sci 2003	Metall (Ti-Al-Nb)	-	20000 Zyklen	Vergleich v. MetalPrimerII u. Alloy Primer gegenüber anderen Reparatur-Syst.	Alloy Primer 21,8 Metal Primer II 17,8 dahinter andere Rep.-Syst.	keine Bestimmung
19.	Özcan et al. Dent Mater 2004		30 d	5000 Zyklen	Vergleich von Degunorm und Wiron 99 (Ni-Cr-Mo) mit CoJet-Syst. Konditioniert	Wiron99 10,2 Degunorm 7,4	keine Bestimmung

Tab 1: Vergleich der erzielten Haftfestigkeiten der aufgeführten Reparatursysteme

3 FRAGESTELLUNG

In der folgenden Arbeit sollten sieben intraorale Reparatursysteme für die Wiederherstellung abgeplatzter Keramik von festsitzendem Zahnersatz untersucht werden.

Die Haftfestigkeiten zwischen drei Kunststoffen und drei Metalllegierungen bzw. einer Verblendkeramik wurden nach Konditionierung mit den verschiedenen Reparatursystemen mittels Schertest bestimmt.

4 MATERIAL UND METHODE

4.1 Versuchsablauf und Materialien

Die Reparatursysteme wurden zum einen auf Verblendkeramik und zum anderen auf Metalllegierungen getestet. Das Versuchsdesign ist in Abbildung 2 übersichtlich dargestellt. Als Metalllegierungen kamen drei für Verblendmetalllegierungen übliche Materialien zum Einsatz. Die drei gängigen Aufbrennlegierungen mit unterschiedlichem Edelmetallanteil wurden gewählt, weil sie häufig klinisch verwendet werden. Der Einfluss der Legierung sollte untersucht werden, weil sie klinisch im Falle einer Reparatur mitunter nicht bekannt ist und die Reparatursysteme deshalb auf allen in Frage kommenden Legierungen funktionieren sollten.

Als Reparatursysteme wurden die gängigen, für die Indikation der Reparatur frakturierter Verblendungen auf dem Markt angebotenen Produkte gewählt. Nach einer Marktanalyse im Jahre 2000 standen diese Produkte auf dem deutschen Markt zur Verfügung. Sie wurden entsprechend den Herstellerempfehlungen über die Einsatzmöglichkeiten bei Frakturen, die nur die Keramik betrafen, das Metallgerüst vollständig freilegten oder für beide Arten geeignet waren, angewendet. Da Mischfrakturen schwer definiert herzustellen sind, wurden die Versuche entweder auf Metall oder Keramik durchgeführt. Um den Einfluss des Kunststoffes zu prüfen, wurden bei den Systemen, die kein spezielles Produkt zur Ergänzung empfahlen, zwei verschiedene, in den

zahnärztlichen Praxen häufig eingesetzte Hybridkomposite genutzt. Es ist zu erwarten, dass in der Praxis zur Verblendungsreparatur ein Komposit herangezogen wird, das ohnehin vorrätig ist.

Insgesamt wurden drei verschiedene Komposite verwendet und sieben Reparatursysteme getestet. Die genauen Bezeichnungen der verwendeten Produkte und ihre Hersteller sind in Tabelle 2 aufgelistet. Die Konditionierung, d.h. die Vorbehandlung der zu beklebenden Oberflächen vor der Applikation des jeweiligen Reparatursystems erfolgte streng nach Herstellervorschrift und wird im einzelnen in Abschnitt 4.3 erläutert. Die vier Reparatursysteme: CoJet®, Silistor, Cimara und Ceramic Repair wurden sowohl für Keramikfrakturen als auch für Frakturen mit Teil- oder Gesamtbeteiligung der Legierungsoberfläche angegeben. Daher wurden diese vier Reparatursysteme sowohl auf den drei untersuchten Metalllegierungen als auch auf Keramik mit den beiden Kompositen Charisma und Pertac Hybrid untersucht. Alloy Primer und Metal Primer sind ausschließlich für Frakturen mit Beteiligung der Legierungsoberfläche geeignet. Daher wurden sie nur auf den drei Metalllegierungen getestet. Clearfil Repair wiederum war nur zur Konditionierung der Keramik geeignet und wurde ausschließlich auf Keramik verwendet. Die Herstellerempfehlung sah die Nutzung von Clearfil Repair und Alloy Primer nur in Kombination mit dem Komposit Clearfil vor, weshalb dies für diese beiden Reparatursysteme verwendet wurde. Alle anderen Reparatursysteme – CoJet, Silistor, Cimara, Ceramic Repair und Metal Primer - können mit verschiedenen Kompositen verarbeitet werden und wurden mit den beiden Kompositen Charisma und Pertac Hybrid getestet. Die verschiedenen Versuchsgruppen sind in Tabelle 3 detailliert angegeben.

Nach Applikation des Kunststoffes und 24 h Wasserlagerung wurden die Proben einem Thermocycling mit 5000 Zyklen zwischen 5° und 55°C von je 30 s Dauer unterzogen, bevor der Schertest durchgeführt wurde. Danach wurden die Bruchmodi bestimmt. Die Metallprüfkörper wurden anschließend poliert und einem erneuten Versuchsdurchgang zugeführt. Die verblendkeramischen Prüfkörper wurden nur einmal verwendet. Die Gruppengröße betrug n=5.

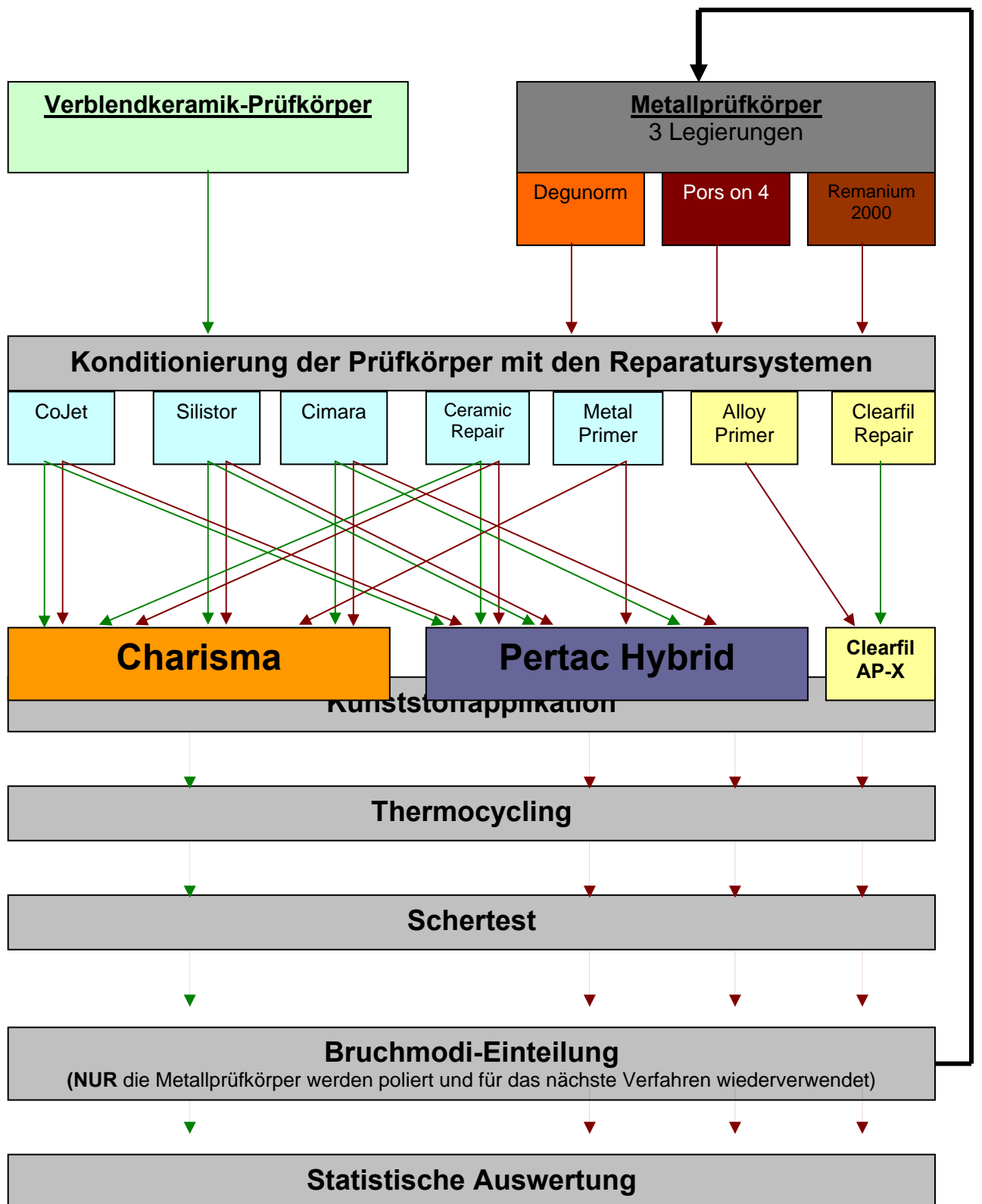


Abb.2: Das Versuchsdesign

	Produkt	Hersteller
Legierung		
	Degunorm	Degussa, Hanau
		(AU-AG), aufbrennfähig
	Pors On 4	Degussa, Hanau
		(Pd-AG), aufbrennfähig
	Remanium 2000	Dentaurum, Ispringen
		(CoCr), aufbrennfähig
Keramik		
	VITA-Omega-900	VITA Zahnfabrik,
		Bad Säckingen
Reparaturkunststoffe		
	Charisma	Heraeus Kulzer, Hanau
	Pertac Hybrid	ESPE, Seefeld
	Clearfil AP-X	Kuraray, Okayama, Japan
Reparatur-Systeme		
	CoJet	ESPE, Seefeld
	Silistor	Heraeus Kulzer, Hanau
	Cimara	VOCO, Cuxhaven
	Ceramic Repair	Vivadent, Schaan, FL
	Clearfil Repair	Kuraray, Okayama, Japan
	Alloy Primer	Kuraray, Okayama, Japan
	Metal Primer	GC, Tokyo, Japan
Handstrahlgerät		
	RONDOflex 2013	KaVo, Biberach
Polymerisationsgerät		
	POLYlux 2	KaVo, Biberach

Tab. 2: Materialliste

Prüfkörper	Kunststoff	Reparatursysteme						
		Cojet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Metal Primer	Alloy Primer	Clearfil Repair
Keramik	Charisma	5	5	5	5	-	-	-
	Pertac Hybrid	5	5	5	5	-	-	-
	Clearfil AP-X	-	-	-	-	-	-	5
Degunorm	Charisma	5	5	5	5	5	-	-
	Pertac Hybrid	5	5	5	5	5	-	-
	Clearfil AP-X	-	-	-	-	-	5	-
Pos on 4	Charisma	5	5	5	5	5	-	-
	Pertac Hybrid	5	5	5	5	5	-	-
	Clearfil AP-X	-	-	-	-	-	5	-
Remanium 2000	Charisma	5	5	5	5	5	-	-
	Pertac Hybrid	5	5	5	5	5	-	-
	Clearfil AP-X	-	-	-	-	-	5	-

Tab. 3: Versuchsgruppen

4.2 Prüfkörperherstellung

4.2.1 Prüfkörperherstellung mit Keramikoberfläche

Für jedes der fünf Reparatursysteme für Keramik (CoJet, Silistor, Cimara, Ceramic Repair, Clearfil Repair) wurden je fünf, also insgesamt 25 Prüfkörper hergestellt. Der internationale Standard ISO 10477 für „Dentistry - Polymer-based crown and bridge materials“ schreibt die Verwendung der in Abbildung 3 dargestellten Versuchsanordnung für die Durchführung von Scherversuchen zur Testung der Haftfestigkeit von Verbundsystemen vor.

Zunächst wurden Metallbasen aus der Legierung Remanium 2000 (Dentaurum, Ispringen) mit den Dimensionen 20 ± 1 mm x 10 ± 1 mm x $2 \pm 0,5$ mm hergestellt. Dazu wurden aus einer Wachsplatte Rohlinge mit

den vorgegebenen Maßen ausgeschnitten. Die Wachsrohlinge wurden mit der Einbettmasse GC Fujivest Super (GC, Tokyo, Japan) eingebettet und nach der dentalen Gusstechnik (Lost-Wax-Verfahren) in Remanium 2000 überführt. Die Prüfkörper wurden mit Glanzperlen 50 µm (Harnisch+Rieth, Winterbach) ausgebettet. Die Bearbeitung der Prüfkörper erfolgte mit der Tellerschleifmaschine Phoenix Beta (Buehler, Illinois, USA) und Schmirgelpapier in steigender Reihenfolge der Körnung 180-1200.

Auf diese Basis wurde eine Keramikschiicht von 1 mm Schichtstärke aufgebrannt. Die keramische Verblendung der Prüfkörper wurde nach Herstellerangaben durchgeführt. Die zu verblendenden Flächen wurden mit Korund (Aluminiumoxid 110 µm, Harnisch & Rieth) abgestrahlt und danach für fünf Minuten in ein Entfettungsbad (reines Ethylacetat >99%) gelegt. Nach der Entnahme aus dem Entfettungsbad wurde der Prüfkörper mit einem Dampfstrahler (Triton SL, BEGO, Bremen), der destilliertes Wasser enthielt, 60 Sekunden abgedampft. Der Opaker wurde als Pastenopaker (VITA OMEGA 900) auf die Rohlinge aufgetragen und im Keramikbrennofen Multimat MC II (Dentsply De Trey, Konstanz) aufgebrannt. Anschließend erfolgte die Verblendung mit Dentalkeramikmassen (Farbe A1, VITA OMEGA 900, VITA, Bad Säckingen) nach Herstellerangaben. Die Keramikschiicht wurde ca. 1,5 mm dick auf die Prüfkörper appliziert und im Keramikbrennofen Multimat MC II aufgebrannt. Um die Brandschrumpfung der Verblendkeramik auszugleichen, wurde die Schichtdicke im Überschuss aufgetragen. Die Dicke der Keramikschiicht wurde nach dem Keramikbrand mit Hilfe der Tellerschleifmaschine Phoenix Beta so weit reduziert, dass eine Gesamthöhe des Prüfkörpers von 3 mm erzielt wurde. Dieses wurde mit Hilfe einer Mikrometerschraube kontrolliert. Als letztes wurden die Prüfkörper einem Glanzbrand unterzogen.

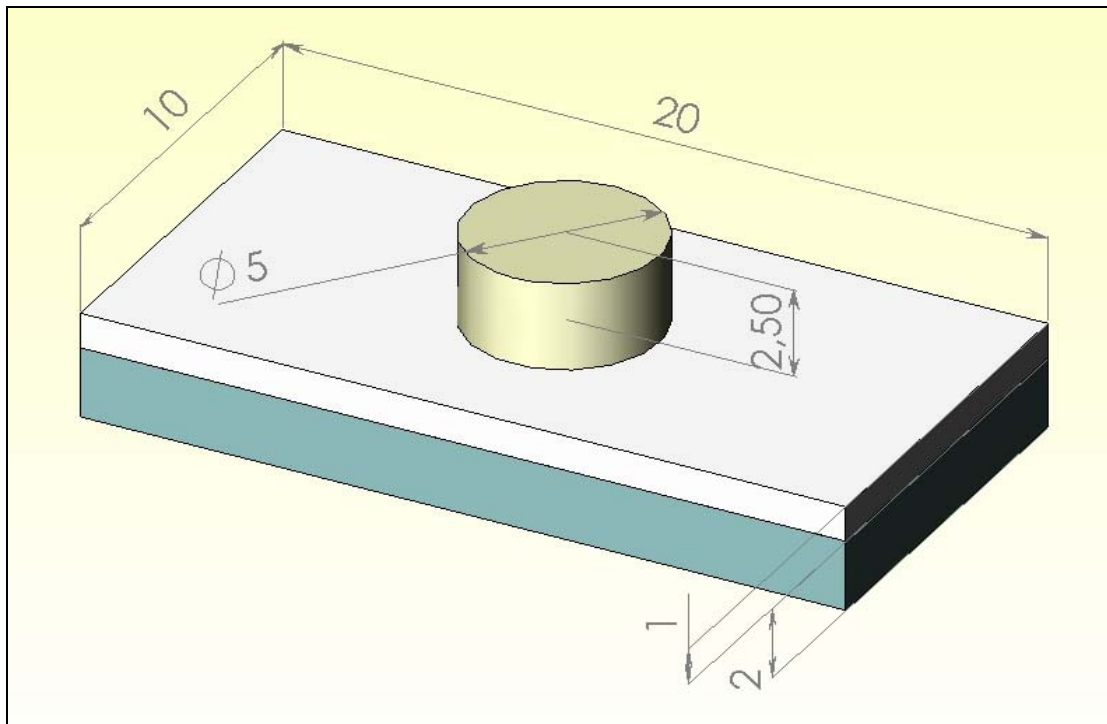


Abb. 3: Schematische Darstellung der Keramikprüfkörper

Die Keramikoberfläche wurde nach den Herstellerangaben der einzelnen Reparatursysteme konditioniert. Anschließend wurde der jeweilige Kunststoff in Zylinderform mit Hilfe einer Schablone auf die konditionierte Oberfläche appliziert (Abb. 3). Zu diesem Zweck wurden die vorbereiteten Prüfkörper in eine Schablone mit der aktiven Fläche nach unten eingelegt. Die Schablone enthielt am Boden eine kreisrunde Aussparung von 5 mm Durchmesser und 2,5 mm Höhe entsprechend der ISO 10477. Die Aussparung stellte einen sich nach außen leicht verjüngenden Zylinder dar. Der Durchmesser betrug innen, d.h. an der Basis zum Prüfkörper 5 mm und außen 4,9 mm. Dadurch konnte der Prüfkörper leichter entfernt werden. Die Schablone war als Prototyp aus Stahl hergestellt worden. Damit die Prüfkörper leichter aus der Schablone entfernt werden können, wurde die Aussparung vor dem Befüllen mit Kunststoff mit wenig Vaseline isoliert. Die Schablone wurde umgedreht, während der Prüfkörper darin fixiert wurde, und die Aussparung mit den jeweiligen Kompositen Charisma, Pertac Hybrid bzw. Clearfil entsprechend dem Protokoll (Abb. 2, Tab. 3) gefüllt und gehärtet. Die Kunststoffe wurden nach der Inkrementtechnik verarbeitet. Jede Schicht wurde 40 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät POLYlux 2 lichtgehärtet. Anschließend konnte der

Prüfkörper mit dem Kunststoffzylinder ausgestoßen werden. Danach wurde der Kunststoff ausgearbeitet und geglättet.

Nach der Applikation des Kunststoffs wurden die Prüfkörper in physiologischer Kochsalzlösung für 24 h gelagert, bevor sie dem Thermocycling unterzogen wurden.

4.2.2 Prüfkörperherstellung aus Metall

Für jede der drei Metalllegierungen – Degunorm, Pors On 4 und Remanium 2000 - wurden jeweils fünf Prüfkörper hergestellt. Diese durchliefen den Testzyklus entsprechend dem Versuchsdesign insgesamt elfmal. Jeweils sechs Reparatursysteme – CoJet, Silistor, Cimara, Ceramic Repair, Metal Primer und Alloy Primer – wurden für Metallfrakturen benutzt. Die fünf erstgenannten Systeme wurden zweimal, jeweils mit den beiden Kompositen Charisma und Pertac Hybrid, getestet, während Alloy Primer nur mit Clearfil eingesetzt wurde.

Die Prüfkörper wurden entsprechend dem internationalen Standard ISO 10477 für „Dentistry - Polymer-based crown and bridge materials“ angefertigt.

Ihre Dimensionen betragen 20 ± 1 mm x 10 ± 1 mm x $2 \pm 0,5$ mm. Aus einer 2 mm dicken Wachsplatte wurden die Wachsrohlinge mit den vorgegebenen Maßen ausgeschnitten. Die Wachsrohlinge wurden mit der Einbettmasse GC Fujivest Super (GC) eingebettet und nach der dentalen Gusstechnik (Lost-Wax-Verfahren) in die Legierungen Degunorm (Au-Ag, Degussa), Pors-on 4 (Pd-Ag, Degussa) und Remanium 2000 (Co-Cr, Dentaurum) überführt. Die Prüfkörper wurden mit Glanzperlen mit einer Krongröße von 50 µm (Harnisch & Rieth) ausgebettet. Die Arbeitsflächen der Prüfkörper wurden mit der Tellerschleifmaschine Phoenix Beta (Buehler) und Schmirgelpapier in steigender Reihenfolge der Körnung 180-1200 bearbeitet und poliert.

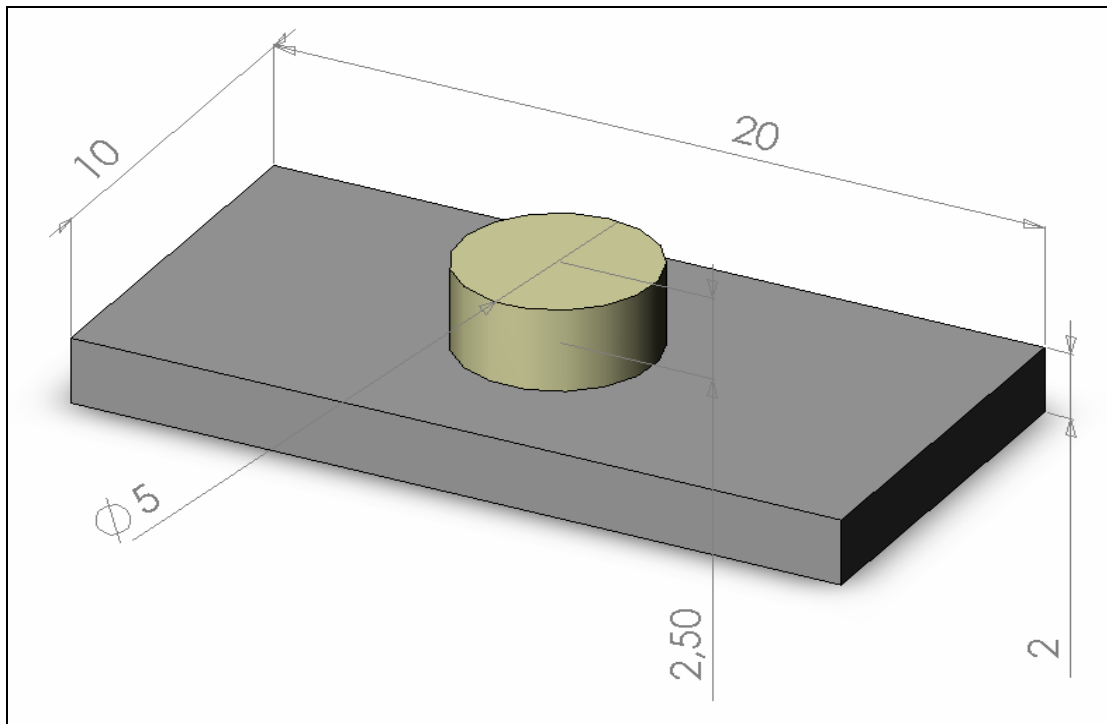


Abb. 4: Schematische Darstellung der Metallprüfkörper

Die Prüfkörperoberflächen wurden nach den Herstellerangaben der jeweiligen Reparatur-Systeme konditioniert und die Kunststoffe entsprechend dem Versuchsdesign in Zylinderform mit Hilfe einer Schablone darauf appliziert (Abb. 4). Zu diesem Zweck wurden die vorbereiteten Prüfkörper in die für die Keramikoberflächen beschriebene Schablone mit der aktiven Fläche nach unten eingelegt. Die Schablone enthielt am Boden eine kreisrunde Aussparung von 5 mm Durchmesser und 2,5 mm Höhe entsprechend der ISO 10477. Die Aussparung stellte einen sich nach außen leicht verjüngenden Zylinder dar. Die Schablone war als Prototyp aus Stahl hergestellt worden. Damit die Prüfkörper leichter aus der Schablone entfernt werden können, wurde die Aussparung vor dem Befüllen mit Kunststoff einvaseliniert isoliert. Die Schablone wurde umgedreht, während der Prüfkörper darin fixiert wurde, und die Aussparung mit den jeweiligen Kompositen Charisma, Pertac Hybrid bzw. Clearfil entsprechend dem Protokoll (Abb. 2, Tab. 3) gefüllt und gehärtet. Die Kunststoffe wurden nach der Inkremententechnik verarbeitet. Jede Schicht wurde 40 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät POLYlux 2 lichtgehärtet. Anschließend konnte der

Prüfkörper mit dem Kunststoffzylinder ausgestoßen werden. Danach wurde der Kunststoff ausgearbeitet und geglättet.

Nach der Applikation des Kunststoffs wurden die Prüfkörper in physiologischer Kochsalzlösung für 24 h gelagert, bevor sie dem Thermocycling unterzogen wurden.

4.3 Verarbeitung der Reparatursysteme

CoJet[®] (ESPE)

Das CoJet[®] -System wurde auf den Metall- und Keramikprüfkörpern angewendet (Abb. 5). Die Applikationsfläche wurde mit dem Handstrahlgerät (RONDOflex 2013, Abb. 6), welches das **Strahlmittel** vom CoJet-Sand (Korngröße 30 µm Korund und Siliziumoxid) enthielt, 15 Sekunden sandgestrahlt. Der Prüfkörper wurde dazu mittels einer Arterienklemme fixiert. Es wurde sorgfältig darauf geachtet, dass die Oberfläche nach der Konditionierung nicht mehr berührt wurde. Die Applikationsfläche wurde mit einer dünnen Schicht **ESPE-Sil** bestrichen und 5 Minuten bei Raumtemperatur getrocknet. Die konditionierte Fläche der Metallprüfkörper wurde nach der Silanisierung mit Opaker abgedeckt. Der **Opaker** wurde in einem Verhältnis von 1:1 mit einem Spatel 45 Sekunden angemischt und **nur** auf die Metallfläche aufgetragen. Bei den Keramikoberflächen wurde kein Opaker verwendet. Der Opaker wurde nach der Applikation 10 Sekunden lichtgehärtet. Im nächsten Schritt wurde bei beiden Prüfkörperarten mit einem Pinsel eine dünne Schicht **Visio-Bond** auf die Defektfläche aufgetragen und 20 Sekunden lichtgehärtet. Dann wurden die **Kunststoffe** Charisma bzw. Pertac Hybrid entsprechend dem Protokoll mit Hilfe einer Schablone in der bereits beschriebenen Zylinderform appliziert.



Abb. 5: Reihenfolge der Hilfsmittel des CoJet® -Systems von links nach rechts.



Abb. 6: Das Handstrahlgerät (RONDOflex 2013, KaVo) für das Rocatec-System

Silistor (Kulzer)

Silistor (Kulzer Hereaus) wurde bei den Metall- und Keramikprüfkörpern angewendet (Abb. 7). Mit Hilfe des beigefügten **Spezienschleifers K1** wurde die Oberfläche bei 8.000 U/Min. druckarm und **trocken** bearbeitet. Anschließend wurde die Applikationsfläche mit dem beiliegenden Kurzhaarpinsel **trocken** abgebürstet und mit einem frischen Pinsel **Silicer** aus der Einmal- Ampulle auf die jetzt staubfreien Fügeflächen hauchdünn aufgetragen. Diese Schicht wurde zwei Minuten an der Luft getrocknet. Nach der Applikation des Silicers wurden die Metallprüfkörper jeweils mit dem aus Silibond und Dentacolor-Opaker-Pulver (Volumenverhältnis 1:1)

angerührten **Opaker** beschickt und 40 Sekunden mit einem Handlichtgerät polymerisiert. Bei den Keramikoberflächen wurde kein Opaker verwendet. Mit einem frischen Pinsel wurde **Silibond** sehr dünn auf den silanisierten Flächen verteilt und 20 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät POLYlux 2 polymerisiert. Auf diese Versiegelungsschicht wurden die **Kunststoffe** Charisma bzw. Pertac Hybrid entsprechend dem Protokoll mit Hilfe einer Schablone in der bereits beschriebenen Zylinderform aufgetragen und polymerisiert.



Abb. 7: Reihenfolge der Hilfsmittel des Silistor-Systems von links nach rechts.

Cimara (Voco)

Cimara (Voco) wurde auf den Metall- und Keramikprüfkörpern angewendet (Abb. 8).

Die Metalloberfläche wurde mechanisch mit einem universellen Korundschleifer gereinigt und aufgeraut. Die Keramikoberfläche wurde mit dem beigefügtem **Cimara-Schleifkörper** bei 8.000 U/Min. druckarm und **trocken** bearbeitet, um eine von Schleifrückständen und Keramiktrümmern freie Fläche zu erhalten. Diese wurde anschließend mit dem beigefügten Kurzhaarpinsel sorgfältig trocken abgebürstet. Aus der Ampulle wurde mit einem frischen Pinsel dünn **Cimara Haftsilan** aufgetragen. Die Schicht wurde 2 Minuten an der Luft ohne Verwendung

des Luftbläusers getrocknet. Nur bei Metallprüfkörpern wurde als nächstes der **Opaker LC** auf die konditionierte Metalloberfläche aufgetragen und mit einem Pinsel dünn verteilt. Bei den Keramikoberflächen wurde kein Opaker verwendet. Anschließend wurde mit der Halogenlampe 40 Sekunden lichtgehärtet. Danach wurde die Fläche mit **reiner Opakerflüssigkeit** dünn überzogen und 20 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät POLYlux 2 polymerisiert. Als letztes wurden die **Kunststoffe** Charisma bzw. Pertac Hybrid entsprechend dem Protokoll mit Hilfe einer Schablone in der bereits beschriebenen Zylinderform appliziert.



Abb. 8: Reihenfolge der Hilfsmittel des Cimara-Systems von links nach rechts.

Ceramic Repair (Vivadent)

Ceramic Repair (Vivadent) wurde auf den Metall- und Keramikprüfkörpern angewendet (Abb. 9). Die Applikationsoberfläche wurde unter Wasserkühlung mit einem Diamantschleifer mit 100 µm Körnung in Eiform (Komet, Lemgo, REF 379314023) aufgeraut. Anschließend wurde das Arbeitsfeld mit ölfreier Luft getrocknet. Nach der Vorbereitung wurde auf die gesamte Fläche **Total Etch** aufgetragen und 15 Sekunden belassen, danach gründlich mit Wasser gespült und mit ölfreier Luft getrocknet. Anschließend erfolgte die Silanisierung mit **Monobond-S**, indem es zunächst aufgetragen und nach 60 Sekunden mit ölfreier Luft getrocknet wurde. Die Metallprüfkörper wurden mit **Monopaque** (max. Schichtstärke

von 0,5 mm) abgedeckt und 40 Sekunden lichtgehärtet. Bei den Keramikoberflächen wurde kein Opaker verwendet. Danach wurde die gesamte Fläche mit einer dünnen Schicht **Heliobond** überzogen, mit ölfreier Luft die Überschüsse von **Heliobond** entfernt und 20 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät POLYlux 2 lichtgehärtet. Als letztes wurden die **Kunststoffe** Charisma bzw. Pertac Hybrid entsprechend dem Protokoll mit Hilfe einer Schablone in der bereits beschriebenen Zylinderform appliziert.



Abb. 9: Reihenfolge der Hilfsmittel des Ceramic Repair-Systems von links nach rechts.

Metallprimer (GC)

Metallprimer (GC) ist ein Reparatursystem für Metallfrakturen (Abb. 10). Die Metallprüfkörper wurden mit einem knospenförmigen mitgelieferten Karbidbohrer beschliffen und danach mit wasser- und ölfreier Luft von Verunreinigungen befreit. Mit dem beiliegenden Pinsel wurde eine dünne Schicht **Metalprimer** auf die Klebefläche aufgetragen und die Trocknung abgewartet. Der Opaker **c&b opaque** wurde in üblicher Weise aufgetragen und 40 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät POLYlux 2 lichtgehärtet. Danach wurden die **Kunststoffe** Charisma bzw. Pertac Hybrid entsprechend dem Protokoll mit Hilfe einer Schablone in der bereits beschriebenen Zylinderform appliziert.



Abb. 10: Metalprimer mit Pinsel

Alloy Primer (Kuraray)

Alloy Primer (Kuraray) ist ein Reparatursystem für Metallfrakturen (Abb.11). Für die Benutzung des Alloy Primers wurden die Metallprüfkörper mit einem Diamantschleifer mit 100 µm Körnung in Eiform (Komet, Lemgo, REF 379314023) aufgeraut und anschließend mit Wasser abgewaschen und mit ölfreier Luft abgetrocknet. Danach wurden die Metallprüfkörper mit einem Pinsel in einer dünnen Schicht mit **Alloy Primer** (Kuraray) überzogen. Es wurde einige Sekunden abgewartet bis die Schicht getrocknet war. Nach der Trocknungszeit wurde in üblicher Weise der **Clearfil™ ST Opaquer** aufgetragen und 40 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät POLYlux 2 lichtgehärtet. Zuletzt wurde der **Kunststoff** Clearfil mit Hilfe einer Schablone in der bereits beschriebenen Zylinderform aufgetragen.



Abb.11: Alloy Primer mit Pinsel

Clearfil™ Repair

Clearfil™ Repair wurde ausschließlich an Keramikprüfkörpern angewendet (Abb. 12). Auf die Keramikprüfkörper wurde erst das **K-Etchant Gel** aufgetragen. Es wurde nach fünf Minuten Einwirkzeit ausgespült und mit ölfreier Luft getrocknet. **Clearfil™ SE Bond Primer** und **Clearfil™ Porcelain Bond Activator** wurden unmittelbar vor der Verarbeitung in einem Mischsteller gemischt. Die Mischung wurde mit einem Pinsel auf die konditionierte Fläche aufgetragen. Nach 5 Sekunden wurde die Mischung mit einem leichten Luftstrom verblasen. Danach wurde das Bond von **Clearfil™ SE Bond** auf die gesamte konditionierte Fläche aufgetragen und mit einem leichten Luftstrom ein gleichmäßiger Film gebildet und 10 Sekunden mit dem Polymerisationsgerät POLYlux 2 lichtgehärtet. Als letztes wurde der **Kunststoff** Clearfil mit Hilfe einer Schablone in der bereits beschriebenen Zylinderform appliziert.



Abb. 12: Reihenfolge der Hilfsmittel des Clearfil™ Repair -Systems von links nach rechts

4.4 Versuchsdurchführung

Die Keramik- sowie Metallprüfkörper wurden entsprechend dem Versuchsdesign mit den Reparatursystemen bearbeitet (Abb. 2 und Tab. 3 in Abschnitt 4.1). Das Aufbringen der Verbundschichten sowie die Polymerisation der Reparaturkunststoffe erfolgte in allen Fällen nach Herstellerangaben im Anschluss an die Vorbehandlung der Oberflächen. Die fünf Reparatursysteme CoJet, Silistor, Cimara, Ceramic Repair und Metal Primer wurden sowohl mit den Reparaturkunststoffen Charisma als auch mit Pertac Hybrid beschichtet, nur die Reparatursysteme Clearfil Repair und Alloy Primer erhielten den Aufbau mit Clearfil.

Nach der Kunststoffapplikation wurden die Prüfkörper einer künstlichen Alterung, dem Thermocycling im Temperatur-Wechselbad nach ISO-Standard 10477, ausgesetzt. Die thermische Wechselbelastung bestand aus 5000 Zyklen. Während jedes Zyklus wurden die Prüfkörper 30 Sekunden in 5 °C kaltem und 30 Sekunden in 55 °C warmem, entsalztem Wasser eingetaucht. Die Abtropfzeit zwischen den beiden Wasserbädern betrug jeweils 30 Sekunden.

Die Verbundfestigkeit zwischen den Prüfkörpern und den applizierten Verblendkunststoffen wurde durch einen Schertest mit einer

Universalprüfmaschine (Zwick 1120, Ulm) mit einer 500 N - Messzelle und eine Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 mm/Min. untersucht. Das Einspannen des Prüfkörpers und das Ansetzen des Stößels zum Abscheren ist in Abbildung 13 schematisch dargestellt.

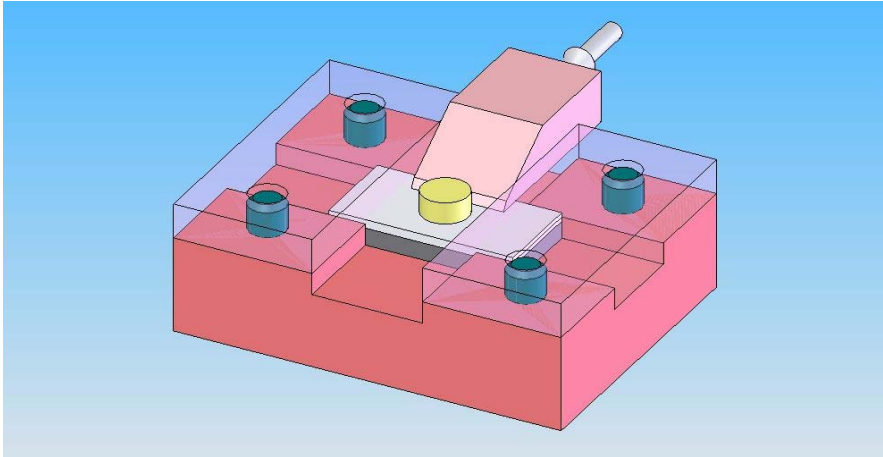


Abb. 13: Schematische Darstellung des Schertests

Anschließend wurden die Prüfkörper zur Ermittlung der Bruchmodi einer visuellen Kontrolle unterzogen. Sie wurden mit Hilfe eines Stereomikroskops SV 8 (Zeiss, Oberkochen) bei 10 bis 16facher Vergrößerung untersucht und nach folgenden Kriterien bewertet: Verließ die Fraktur zwischen der Prüfkörperoberfläche und dem applizierten Kunststoffzylinder, wurde dieser Bruchmodus als adhäsiv bewertet. Erfolgte die Fraktur innerhalb des applizierten Kunststoffzylinders oder innerhalb der Prüfkörperoberfläche, so wurde der Bruchmodus als kohäsiv bewertet. Wenn die Fraktur sowohl die Kriterien des adhäsiven Bruchmodus als auch des kohäsiven Bruchmodus erfüllte, wurde sie als Mischfraktur benannt.

4.5 Statistische Auswertung

Die Messdaten wurden mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel-2000 dokumentiert. Das Statistikprogramm SPSS/PC Version 11,5 wurde zur Berechnung der Ergebnisse eingesetzt. Die statistische Auswertung erfolgte unter Anwendung von One-way ANOVA, Bonferroni-Dunn's analysis.

5 ERGEBNISSE

5.1 Ergebnisse des Kunststoffverbundes auf Keramikoberflächen

Mit allen untersuchten Reparatursystemen und Kunststoffen wurden messbare Werte erzielt. Unterschiede waren nicht nur zwischen den einzelnen Reparatursystemen, sondern auch zwischen den verwendeten Reparaturkunststoffen zu beobachten. Die höchsten Werte wurden mit dem Reparatursystem Silistor in Kombination mit Charisma ($23,1 \pm 5,8$ MPa) und die niedrigsten Werte mit dem Reparatursystem Ceramic Repair in Kombination mit Pertac-Hybrid ($8,1 \pm 1,3$ MPa) ermittelt (Abb. 13). Die signifikanten Differenzen zwischen den Kunststoffen sind in Tab. 4 und zwischen den Reparatursystemen in den Tab. 5 und 6 angegeben. Signifikante Unterschiede zwischen den Kunststoffen Charisma und Pertac-Hybrid bestanden nur bei den Reparatursystemen Silistor und Ceramic Repair. Beim CoJet -System und Cimara waren die Unterschiede nicht signifikant.

Für das CoJet –System mit Charisma wurden Werte von $17,8 \pm 3,6$ MPa und für Clearfil Repair mit Clearfil von $20,3 \pm 5,0$ MPa erzielt. Diese waren nicht signifikant unterschiedlich gegenüber den anderen Reparatursystemen. Silistor unterschied sich signifikant von Cimara ($14,1 \pm 3,1$ MPa) und Ceramic Repair ($15,1 \pm 1,0$ MPa) mit Charisma.

Die Messwerte vom CoJet –System ($17,8 \pm 3,6$ MPa), Silistor ($23,1 \pm 5,8$ Mpa) und Cimara ($14,1 \pm 3,1$ MPa) mit Pertac-Hybrid waren signifikant höher als die von Ceramic Repair ($15,1 \pm 1,0$ MPa) und signifikant niedriger als die von Clearfil Repair ($20,3 \pm 5,0$ MPa).

Bei der Beurteilung der Bruchmodi wurden von 25 Keramikprüfkörpern 14 Prüfkörper mit kohäsiver Fraktur, fünf Prüfkörper mit adhäsiver Fraktur und sechs Prüfkörper mit Mischfraktur festgestellt.

Keramik

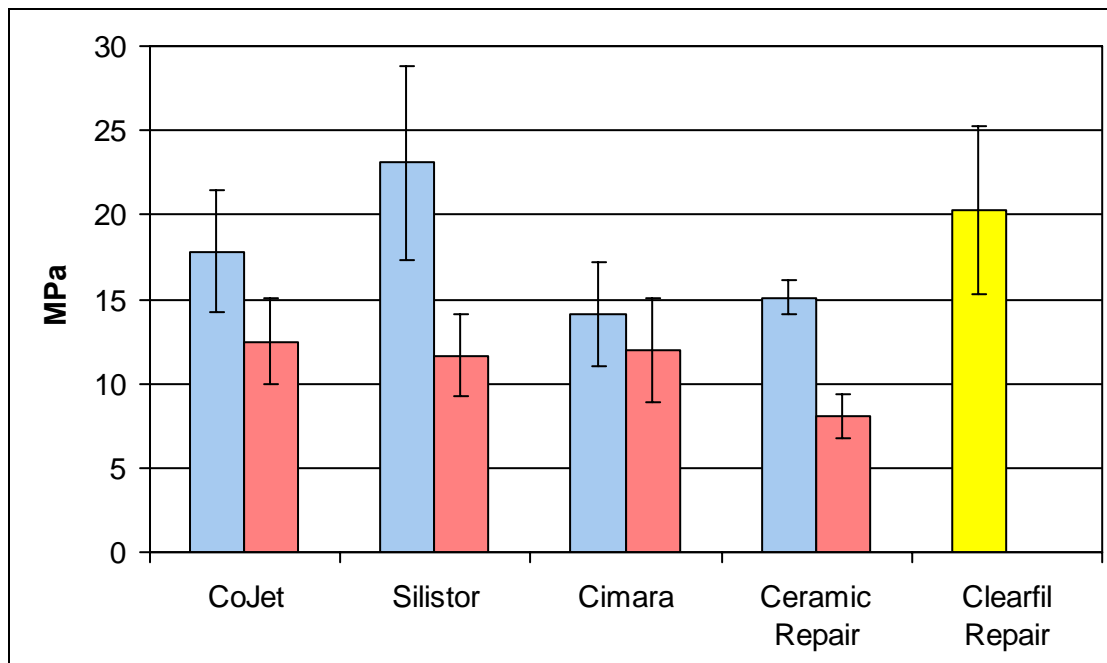


Abb. 13: Die Haftfestigkeiten der drei Kunststoffe mit den verschiedenen Reparatursystemen auf Keramik sind dargestellt. Die blauen Säulen zeigen die Werte mit Charisma, die roten Säulen die Werte mit Pertac Hybrid und die gelbe Säule die von Clearfil.

	Charisma - Pertac Hybrid
CoJet	n.s.
Silistor	*
Cimara	n.s.
Ceramic Repair	*

Tab. 4: Die signifikanten Differenzen zwischen den Kunststoffen (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$) .

Charisma/ Clearfil	CoJet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Clearfil Repair
CoJet	/	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Silistor	n.s.	/	*	*	n.s.
Cimara	n.s.	*	/	n.s.	n.s.
Ceramic Repair	n.s.	*	n.s.	/	n.s.
Clearfil Repair	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	/

Tab. 5: Die signifikanten Differenzen zwischen den Reparatursystemen für Charisma bzw. Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Pertac-Hybrid/ Clearfil AP-X	CoJet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Clearfil Repair
CoJet	/	n.s.	n.s.	*	*
Silistor	n.s.	/	n.s.	*	*
Cimara	n.s.	n.s.	/	*	*
Ceramic Repair	*	*	*	/	*
Clearfil Repair	*	*	*	*	/

Tab. 6: Die signifikanten Unterschiede zwischen den Reparatursystemen für Pertac-Hybrid bzw. Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

5.2 Ergebnisse des Kunststoffverbundes auf Metalloberflächen

5.2.1 Degunorm

Die untersuchten Reparatursysteme und Kunststoffe auf Degunorm lieferten bis auf Ceramic Repair und Metal Primer messbare Ergebnisse. Mit Ceramic Repair brachen einige Prüfkörper mit Charisma und alle mit Pertac-Hybrid schon nach dem Thermocycling auseinander, bevor sie dem Schertest unterzogen werden konnten. Bei Verwendung von Metal Primer brachen die Prüfkörper nur mit Charisma vorzeitig. Daher liegen bei Ceramic Repair mit Pertac-Hybrid und Metal Primer mit Charisma die Werte bei 0 MPa. Beim Alloy Primer wurden die höchsten Werte von $20,9 \pm 3,7$ MPa mit Clearfil erzielt, gefolgt vom CoJet -System mit Pertac-Hybrid mit Werten von $19,7 \pm 5,6$ MPa (Abb. 14).

Die signifikanten Differenzen zwischen den Kunststoffen sind in Tabelle 7 und zwischen den Reparatursystemen in den Tabellen 8 und 9 angegeben. Signifikante Unterschiede zwischen den Kunststoffen Charisma und Pertac- Hybrid bestanden nur beim CoJet -System. Bei den anderen Reparatursystemen wurden keine Signifikanzen festgestellt.

Die Werte vom Alloy Primer mit Clearfil unterschieden sich nicht signifikant vom CoJet -System mit Pertac-Hybrid, aber signifikant vom CoJet -System mit Charisma ($13,0 \pm 2,3$ MPa). Das CoJet -System erreichte sowohl mit Pertac-Hybrid als auch mit Charisma wiederum signifikant höhere Werte als die anderen Reparatursysteme.

Die Bruchmodusbestimmung ergab auf Degunorm bei den meisten Prüfkörpern adhäsive Frakturen. Beim CoJet -System mit Pertac-Hybrid wurden ausschließlich Mischfrakturen festgestellt.

Degunorm

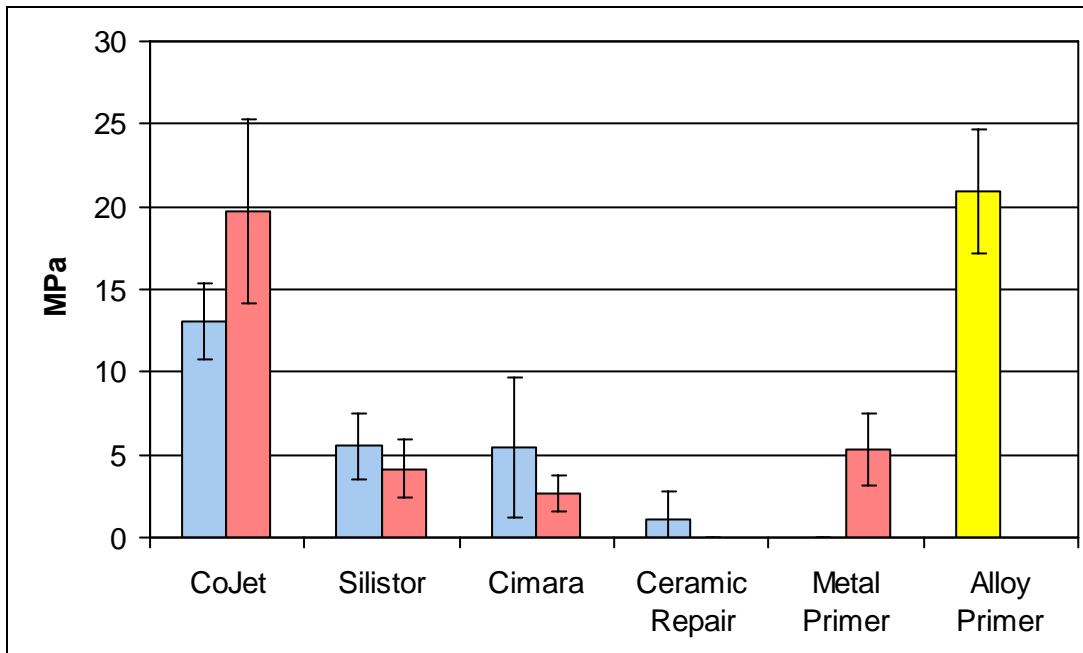


Abb. 14: Die Haftfestigkeiten der drei Kunststoffe mit den verschiedenen Reparatursystemen sind dargestellt. Die blauen Säulen zeigen die Werte mit Charisma, die roten Säulen die Werte mit Pertac Hybrid und die gelbe Säule die von Clearfil.

	Charisma - Pertac Hybrid
CoJet	*
Silistor	n.s.
Cimara	n.s.
Ceramic Repair	n.s.
Metal Primer	n.s.

Tab. 7: Die signifikanten Differenzen zwischen den Kunststoffen (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Charisma/ Clearfil	CoJet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Metal Primer	Alloy Primer
CoJet	/	*	*	*	*	*
Silistor	*	/	n.s.	n.s.	n.s.	*
Cimara	*	n.s.	/	n.s.	n.s.	*
Ceramic Repair	*	n.s.	n.s.	/	n.s.	*
Metal Primer	*	n.s.	n.s.	n.s.	/	*
Alloy Primer	*	*	*	*	*	/

Tab. 8: Die signifikanten Differenzen zwischen den Reparatursystemen für Charisma bzw. Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Pertac-Hybrid/ Clearfil	CoJet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Metal Primer	Alloy Primer
CoJet	/	*	*	*	*	n.s.
Silistor	*	/	n.s.	n.s.	n.s.	*
Cimara	*	n.s.	/	n.s.	n.s.	*
Ceramic Repair	*	n.s.	n.s.	/	n.s.	*
Metal Primer	*	n.s.	n.s.	n.s.	/	*
Alloy Primer	n.s.	*	*	*	*	/

Tab. 9: Die signifikanten Unterschiede zwischen den Reparatursystemen für Pertac-Hybrid bzw. Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

5.2.2 Pors-On 4

Auf Pors-On 4 wurden mit den untersuchten Reparatursystemen und Kunststoffen bis auf Ceramic Repair und Metal Primer messbare Ergebnisse erzielt. Reparaturen mit Ceramic Repair und beiden Kunststoffen sowie Metal Primer und Charisma und einige mit Pertac Hybrid zerbrachen nach dem Thermocycling. Die Werte lagen daher bei 0 MPa.

Alloy Primer mit Clearfil erzielte mit $15,4 \pm 1,4$ MPa den höchsten Wert gegenüber den anderen Reparatursystemen (Abb. 15).

Die signifikanten Differenzen zwischen den Kunststoffen sind in Tabelle 10 und zwischen den Reparatursystemen in den Tabellen 11 und 12 angegeben. Zwischen den Kunststoffen Charisma und Pertac-Hybrid wurden auf Pors-On 4 keine signifikanten Unterschiede festgestellt.

Alloy Primer mit Clearfil ($15,4 \pm 1,4$ MPa) und das CoJet -System mit Charisma bzw. Pertac Hybrid ($11,6 \pm 1,2$ MPa bzw. $14,6 \pm 5,8$ MPa) zeigten Haftfestigkeitswerte über 10 MPa. Alloy Primer mit Clearfil haftete gegenüber den übrigen Reparatursystemen signifikant besser. Das CoJet -System mit Charisma besaß gegenüber den übrigen Reparatursystemen signifikant höhere Werte, die einzigen Ausnahmen stellten Alloy Primer und Cimara mit Charisma dar. Die Werte für Silistor mit Charisma ($6,3 \pm 1,7$ MPa) und Cimara mit Charisma ($6,9 \pm 2,6$ MPa) waren signifikant höher gegenüber Ceramic Repair und Metal Primer.

Für das CoJet -System mit Pertac-Hybrid und Alloy Primer mit Clearfil wurden signifikant höhere Werte gegenüber den übrigen Reparatursystemen ermittelt.

Die restlichen Reparatursysteme unterschieden sich nicht signifikant.

Bei der Bruchmodusbestimmung wiesen die Prüfkörper meist eine adhäsive Fraktur auf. Beim CoJet -System mit Charisma wurden von fünf Prüfkörpern drei Mischfrakturen und mit Pertac-Hybrid eine Mischfraktur festgestellt.

Pors-On 4

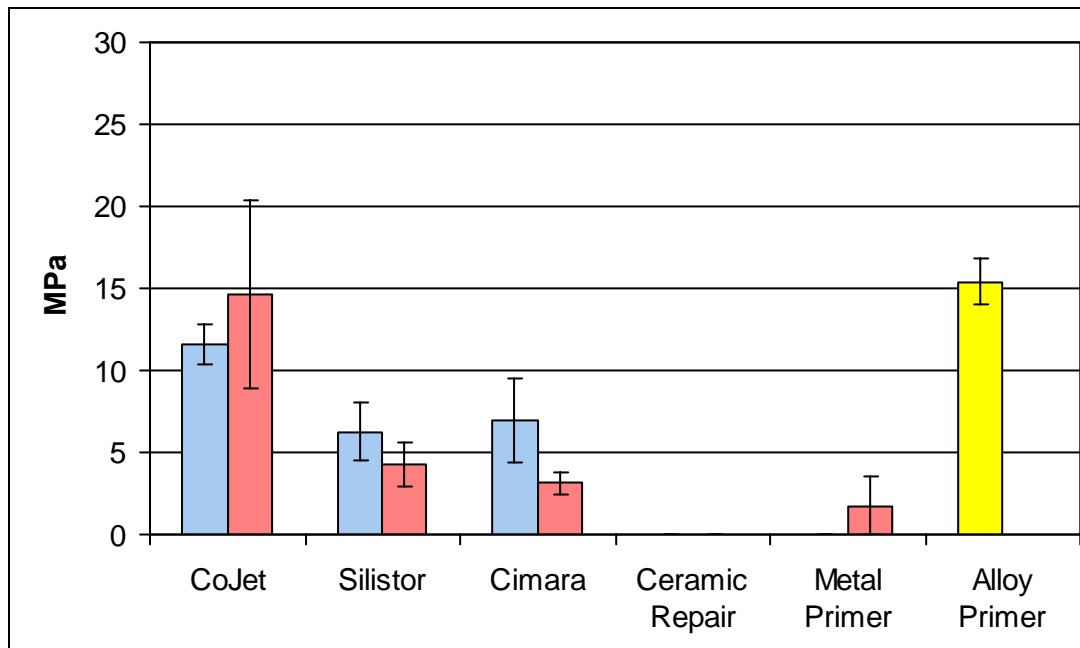


Abb. 15: Die Haftfestigkeiten der drei Kunststoffe mit den verschiedenen Reparatursystemen auf Pors-On 4 sind dargestellt. Die blauen Säulen zeigen die Werte mit Charisma, die roten Säulen die Werte mit Pertac Hybrid und die gelbe Säule die von Clearfil.

	Charisma - Pertac Hybrid
CoJet	n.s.
Silistor	n.s.
Cimara	n.s.
Ceramic Repair	n.s.
Metal Primer	n.s.

Tab. 10: Die signifikanten Differenzen zwischen den Kunststoffen (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Charisma/ Clearfil	CoJet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Metal Primer	Alloy Primer
CoJet	/	*	n.s.	*	*	n.s.
Silistor	*	/	n.s.	*	*	*
Cimara	n.s.	n.s.	/	*	*	*
Ceramic Repair	*	*	*	/	n.s.	*
Metal Primer	*	*	*	n.s.	/	*
Alloy Primer	n.s.	*	*	*	*	/

Tab. 11: Die signifikanten Differenzen zwischen den Reparatursystemen für Charisma bzw. Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Pertac-Hybrid/ Clearfil	CoJet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Metal Primer	Alloy Primer
CoJet	/	*	*	*	*	n.s.
Silistor	*	/	n.s.	n.s.	n.s.	*
Cimara	*	n.s.	/	n.s.	n.s.	*
Ceramic Repair	*	n.s.	n.s.	/	n.s.	*
Metal Primer	*	n.s.	n.s.	n.s.	/	*
Alloy Primer	n.s.	*	*	*	*	/

Tab. 12: Die signifikanten Unterschiede zwischen den Reparatursystemen für Pertac-Hybrid bzw. Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

5.2.3 Remanium 2000

Messbare Ergebnisse wurden nur bei den Reparatursystemen Alloy Primer und CoJet sowie Metal Primer Pertac-Hybrid gemessen. Die Prüfkörper, die mit den Systemen Silistor, Cimara, Ceramic Repair und Metal Primer konditioniert worden waren, brachen bereits nach dem Thermocycling auseinander, so dass keine Werte erhoben werden konnten.

Alloy Primer mit Clearfil erzielte mit $25,3 \pm 3,8$ MPa einen signifikant höheren Wert gegenüber allen anderen Reparatursystemen (Abb. 16).

Die signifikanten Differenzen zwischen den Kunststoffen sind in Tabelle 13 und zwischen den Reparatursystemen in den Tabellen 14 und 15 angegeben. Zwischen den Kunststoffen Charisma und Pertac-Hybrid wurden auf Remanium 2000 nur bei Verwendung von Metal Primer signifikante Unterschiede festgestellt.

Die Messwerte waren mit dem CoJet -System und Charisma ($10,3 \pm 2,6$ MPa) signifikant niedriger als mit Alloy Primer, aber signifikant höher als die der restlichen Reparatursysteme.

Mit Pertac-Hybrid erreichte das CoJet -System Haftfestigkeitswerte von $10,3 \pm 6,3$ MPa. Damit unterschied sich das CoJet -System mit Pertac-Hybrid nicht signifikant gegenüber Metal Primer mit Pertac-Hybrid, aber signifikant gegenüber Silistor, Cimara und Ceramic Repair.

Bei der Bruchmodusbestimmung wurden hauptsächlich adhäsive Frakturen bestimmt. Nur das CoJet -System und Alloy Primer wiesen Mischfrakturen auf. Das CoJet -System mit Charisma zeigte zwei Mischfrakturen und drei adhäsive Frakturen; das CoJet -System mit Pertac Hybrid wies eine Mischfraktur und vier adhäsive Frakturen auf, während beim Alloy Primer drei Mischfrakturen und zwei adhäsive Frakturen auftraten.

Remanium 2000

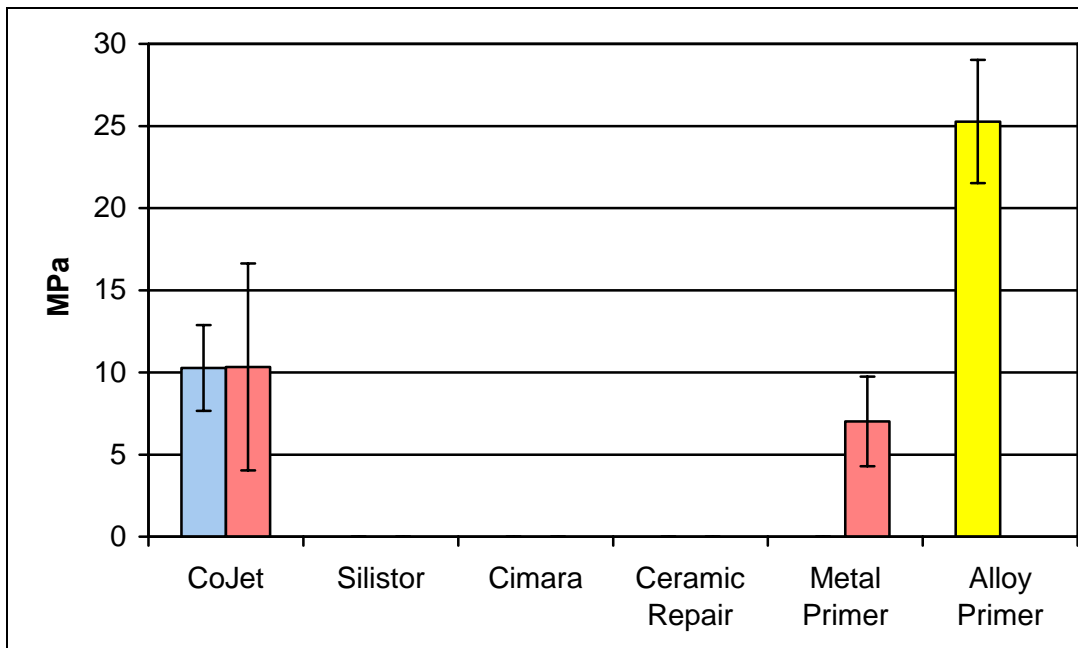


Abb. 16: Die Haftfestigkeiten der drei Kunststoffe mit den verschiedenen Reparatursystemen auf Remanium 2000 sind dargestellt. Die blauen Säulen zeigen die Werte mit Charisma, die roten Säulen die Werte mit Pertac Hybrid und die gelbe Säule die von Clearfil.

	Charisma - Pertac Hybrid
CoJet	n.s.
Silistor	n.s.
Cimara	n.s.
Ceramic Repair	n.s.
Metal Primer	*

Tab. 13: Die signifikanten Differenzen zwischen den Kunststoffen (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Charisma/ Clearfil	CoJet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Metal Primer	Alloy Primer
CoJet	/	*	*	*	*	*
Silistor	*	/	n.s.	n.s.	n.s.	*
Cimara	*	n.s.	/	n.s.	n.s.	*
Ceramic Repair	*	n.s.	n.s.	/	n.s.	*
Metal Primer	*	n.s.	n.s.	n.s.	/	*
Alloy Primer	*	*	*	*	*	/

Tab. 14: Die signifikanten Differenzen zwischen den Reparatursystemen für Charisma bzw. Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Pertac-Hybrid/ Clearfil	CoJet	Silistor	Cimara	Ceramic Repair	Metal Primer	Alloy Primer
CoJet	/	*	*	*	n.s.	*
Silistor	*	/	n.s.	n.s.	*	*
Cimara	*	n.s.	/	n.s.	*	*
Ceramic Repair	*	n.s.	n.s.	/	*	*
Metal Primer	n.s.	*	*	*	/	*
Alloy Primer	*	*	*	*	*	/

Tab. 15: Die signifikanten Unterschiede zwischen den Reparatursystemen für Pertac-Hybrid bzw. Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

5.2.4 Vergleich der Basismaterialien

Im Folgenden werden die Haftfestigkeiten zwischen den Materialien verglichen, die mit dem gleichen Reparatursystem behandelt und mit den verschiedenen Reparaturkunststoffen beklebt wurden.

CoJet

Das Reparatursystem CoJet erzielte mit dem Komposit Pertac-Hybrid auf allen untersuchten Oberflächen – Keramik und drei Metalllegierungen – hohe Haftfestigkeitswerte zwischen 10 und 20 MPa. Die Haftfestigkeitswerte auf den verschiedenen beklebten Oberflächen unterschieden sich dabei nicht signifikant voneinander (Tab. 16).

Dagegen lagen die Haftfestigkeitswerte des Reparatursystems CoJet mit dem Komposit Charisma zwar ebenfalls zwischen 10 und 18 MPa, wiesen aber statistisch signifikante Unterschiede auf. Im einzelnen unterschieden sich die Haftfestigkeiten zwischen Keramik und Pors-On 4 sowie zwischen Keramik und Remanium 2000 signifikant voneinander. Dabei erreichte CoJet mit Charisma auf Keramik jeweils die höheren Werte gegenüber den beiden Metalllegierungen.

CoJet	Charisma	Pertac-Hybrid
Degunorm – Keramik	n.s.	n.s.
Degunorm - Pors On 4	n.s.	n.s.
Degunorm - Remanium 2000	n.s.	n.s.
Keramik - Pors On 4	*	n.s.
Keramik - Remanium 2000	*	n.s.
Pors On 4 - Remanium 2000	n.s.	n.s.

Tab. 16: Die signifikanten Differenzen zwischen den Basismaterialien für CoJet mit Charisma bzw. Pertac-Hybrid (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Silistor

Das Reparatursystem Silistor wies signifikante Unterschiede der Haftfestigkeiten sowohl mit Charisma als auch mit Pertac-Hybrid in Abhängigkeit von den beklebten Materialoberflächen auf. Unterschiede bestanden sowohl im Vergleich zwischen Keramik und Metalllegierung als auch zwischen den drei Legierungen (Tab.17). Mit Silistor bestanden für beide Komposite zwischen den Legierungen Degunorm und Pors-On 4 keine signifikanten Unterschiede.

Silistor erzielte mit Charisma auf Keramik mit 23 MPa signifikant höhere Werte gegenüber allen drei Metalllegierungen: Degunorm mit 6 MPa, Pors-On 4 mit 7 MPa und Remanium mit 0 MPa. Die Werte von Pors-On 4 und Remanium 2000 unterschieden sich ebenfalls signifikant voneinander. Mit Pertac-Hybrid bestanden für Silistor gleichfalls signifikante Unterschiede der Haftfestigkeitswerte zwischen der Keramik mit 12 MPa und den drei Metalllegierungen: Degunorm und Pors-On 4 mit 4 MPa sowie Remanium 2000 mit 0 MPa. Sowohl die Haftfestigkeitswerte von Degunorm als auch von Pors-On 4 unterschieden sich wiederum signifikant von denen von Remanium 2000.

Silistor	Charisma	Pertac-Hybrid
Degunorm - Keramik	*	*
Degunorm - Pors On 4	n.s.	n.s.
Degunorm - Remanium 2000	n.s.	*
Keramik - Pors On 4	*	*
Keramik - Remanium 2000	*	*
Pors On 4 - Remanium 2000	*	*

Tab. 17: Die signifikanten Differenzen zwischen den Basismaterialien für Silistor mit Charisma bzw. Pertac-Hybrid (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Cimara

Das Reparatursystem Cimara zeigte mit den beiden Kompositen Charisma und Pertac Hybrid statistisch signifikante Unterschiede zwischen ihren jeweiligen Haftfestigkeitswerten auf Keramik und den drei Metalllegierungen. Die Haftfestigkeiten der beiden Komposite mit Cimara auf Degunorm und Pors-On 4 sowie auf Degunorm und Remanium 2000 unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Haftfestigkeitswerte der Komposite mit Cimara auf den Keramikoberflächen (14 MPa für Charisma, 12 MPa für Pertac Hybrid) lagen jeweils signifikant höher als auf Degunorm (5 MPa für Charisma und 3 MPa für Pertac Hybrid), auf Pors-On 4 (7MPa für Charisma und 3 MPa für Pertac Hybrid) und Remanium 2000 (0 MPa für Charisma und Pertac Hybrid) (Tab.18). Die Haftfestigkeit von Charisma mit Cimara auf Pors-On 4 unterschied sich zusätzlich signifikant von Remanium 2000.

Cimara	Charisma	Pertac-Hybrid
Degunorm - Keramik	*	*
Degunorm - Pors On 4	n.s.	n.s.
Degunorm - Remanium 2000	n.s.	n.s.
Keramik - Pors On 4	*	*
Keramik - Remanium 2000	*	*
Pors On 4 - Remanium 2000	*	n.s.

Tab. 18: Die signifikanten Differenzen zwischen den Basismaterialien für Cimara mit Charisma bzw. Pertac-Hybrid (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Ceramic Repair

Das Reparatursystem Ceramic Repair präsentierte statistisch signifikant unterschiedliche Haftfestigkeitswerte sowohl mit Charisma als auch mit Pertac-Hybrid auf Keramik gegenüber allen drei Metalllegierungen (Tab. 19). Die Haftfestigkeiten betragen 15 MPa für Charisma bzw. 8 MPa

mit Pertac-Hybrid mit Ceramic Repair auf Keramik, während sie mit 2 MPa für Charisma auf Degunorm und 0 MPa für Pertac Hybrid auf Degunorm sowie für Charisma und Pertac Hybrid auf Pors-On 4 und Remanium 2000 statistisch signifikant niedriger blieben.

Zwischen den drei Legierungen wurden mit Ceramic Repair sowohl für Charisma als auch für Pertac Hybrid keine signifikanten Unterschiede in den Haftfestigkeiten festgestellt.

Ceramic Repair	Charisma	Pertac-Hybrid
Degunorm – Keramik	*	*
Degunorm - Pors On 4	n.s.	n.s.
Degunorm - Remanium 2000	n.s.	n.s.
Keramik - Pors On 4	*	*
Keramik - Remanium 2000	*	*
Pors On 4 - Remanium 2000	n.s.	n.s.

Tab. 19: Die signifikanten Differenzen zwischen den Basismaterialien für Ceramic Repair mit Charisma bzw. Pertac-Hybrid (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

Metal Primer

Das Reparatursystem Metal Primer wurde nur auf den drei Metalllegierungen sowohl mit Charisma als auch mit Pertac Hybrid untersucht (Tab. 21).

Mit dem Metal Primer betragen die Haftfestigkeiten von Charisma auf allen drei Legierungen 0 MPa, weshalb keine statistische Auswertung vorgenommen werden konnte. Mit Pertac-Hybrid erzielte der Metal Primer auf Degunorm 5 MPa, auf Pors-On 4 2 MPa und auf Remanium 2000 7 MPa auf. Die Unterschiede der Haftfestigkeiten auf Degunorm gegenüber Pors-On 4 und Remanium 2000 waren nicht statistisch signifikant. Nur zwischen Pors-On 4 und Remanium 2000 bestand ein signifikanter Unterschied.

Metal Primer	Charisma	Pertac-Hybrid
Degunorm - Pors On 4	/	n.s.
Degunorm - Remanium 2000	/	n.s.
Pors On 4 - Remanium 2000	/	*
	Nullwerte machen Auswertung unmöglich!	

Tab. 21: Die signifikanten Differenzen zwischen den Legierungen für Metal Primer mit Charisma bzw. Pertac-Hybrid (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant $p < 0,05$).

Alloy Primer

Das Reparatursystem Alloy Primer wurde nur auf den drei Metalllegierungen mit dem Komposit Clearfil angewendet. Der Vergleich der Haftfestigkeiten mit dem Alloy Primer und Clearfil erbrachte keine statistisch signifikanten Differenzen zwischen Degunorm (20 MPa) und Pors-On 4 (15 MPa) sowie zwischen Degunorm und Remanium 2000 (25 MPa) (Tab. 20). Die Haftfestigkeit von Clearfil mit dem Alloy Primer auf Pors-On 4 war signifikant niedriger als die auf Remanium 2000.

Alloy Primer	Clearfil AP-X
Degunorm - Pors On 4	n.s.
Degunorm - Remanium 2000	n.s.
Pors On 4 - Remanium 2000	*

Tab. 20: Die signifikanten Differenzen zwischen den Basismaterialien für Alloy Primer mit Clearfil (n.s.= nicht signifikant, $p > 0,05$; * = signifikant, $p < 0,05$).

6 DISKUSSION

6.1 Methodenkritik

Der Versuch wurde nach der ISO-Norm 10477 durchgeführt, in der das Design zur Untersuchung solcher Materialprüfungen geregelt ist. Der Schertest stellt das übliche Verfahren dar [KUPIEC et al. 1996]. Dabei konnten jedoch nur vollständig in der Keramik oder im Metall liegende Frakturen berücksichtigt werden. Ein großer Anteil der klinisch frakturierten Verblendungen betrifft sowohl die Keramik als auch das Metall [CHUNG & HWANG 1997, PFEIFFER et al. 2002]. Solche Mischfrakturen wurden in dieser Untersuchung nicht evaluiert, da sie als Versuchsanordnung nicht herstellbar sind. Die klinisch relevanten Haftfestigkeiten der Reparatursysteme sind eine Kombination aus den Ergebnissen auf Metall und auf Keramik und können für kombinierte Frakturen entsprechend abgeleitet werden. Wenn die Reparatursysteme sowohl auf Metall als auch auf Keramik akzeptable Haftfestigkeitswerte erzielen, ist zu erwarten, dass das System ebenfalls für Mischfrakturen einsetzbar ist. In der Klinik belasten Kräfte aus verschiedenen Richtungen die reparierte Verblendung. Dabei sind die abscherenden Kraftkomponenten am kritischsten für das Versagen der reparierten Verblendung anzusehen, was die Überprüfung im In-vitro-Scherversuch rechtfertigt [LLOBELL et al.1992].

Die Alterung der Klebung erfolgte thermisch wie empfohlen mit 5000 Zyklen ausreichend lange, um eine mehrjährige Tragedauer zu simulieren [ZACHRISSON et al.1996, KUPIEC et al. 1996, ÖZCAN 2003]. In aktuellen Versuchsprotokollen wird auch die thermomechanische Belastung angegeben, wobei die Versuchskörper wechselnden unterschwelligen Kräften, die nicht bis zum Bruch führen, ausgesetzt werden und die Bruchfestigkeit erst nach der mechanischen Ermüdung bestimmt wird. In der vorliegenden Arbeit sollten jedoch zunächst Erfahrungen mit den Reparatursystemen gesammelt werden. Die Effizienz der dabei erfolgreichen Systeme soll später in weitergehenden Untersuchungen mit dieser Methode, die die funktionellen Belastungen in

der Mundhöhle besser simuliert, bestätigt werden [ROSENTRITT et al. 2001]. Den Empfehlungen von Della Bona et al. [2003] folgend, wurden die Frakturmodi bestimmt, um daraus die Schwachstelle des Systems, die zum Versagen führte, abzuleiten. Auf dem Markt werden nicht nur eine Vielzahl von Reparatursystemen angeboten, von denen die auf dem deutschen Markt verfügbaren zur Prüfung in dieser Untersuchung ausgewählt wurden, sondern auch viele verschiedene Komposite, die zur Reparatur einer Verblendung eingesetzt werden können [TABASSOM et al. 2002]. Viele Hersteller von Reparatursystemen empfehlen kein bestimmtes Komposit zur Ergänzung des Defektes in Kombination mit dem Verbundsystem. Daher ist zu erwarten, dass in Zahnarztpraxen ein ohnehin für plastische Füllungen verwendetes Hybridkomposit zu diesem Zweck genutzt wird [STARK 2003]. Hybridkomposite sind für eine Reparatur einer Keramikverblendung geeignet, da ihre Wärmeausdehnungskoeffizienten den der Dentalkeramiken ähneln. Zwei verschiedene Komposite namhafter Hersteller, die sich unter den Praktikern großer Beliebtheit erfreuen, wurden ausgewählt und vergleichend untersucht. Auf diese Weise sollte festgestellt werden, ob der Faktor der Materialwahl des Reparaturkomposits ebenfalls für die Haftfestigkeit des Verbundsystems und somit für den Erfolg der Reparatur relevant ist.

In einigen Fällen ist weder dem Zahnarzt noch dem Patienten die Legierung der prothetischen Restauration, deren Verblendung frakturiert ist, bekannt [PROÃNO 1997, SCHMAGE et al. 2003]. Daher wurden drei verschiedene Legierungen, die in den Praxen häufig für Verblend-Metall-Keramik-Kronen verwendet werden, in die Untersuchung einbezogen. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Legierungen einen unterschiedlichen Goldanteil besaßen. NEM-Legierungen bilden leichter eine Oxidschicht, die zum Verbund mit einem Verblendmaterial genutzt werden kann. Auf diese Weise sollte herausgefunden werden, inwieweit die Metalllegierungen die Ergebnisse der Reparatursysteme beeinflussten. Klinisch können verschiedene der Kronen von der Fraktur betroffen sein, wobei der Erfolg der Reparatur von der betroffenen Fläche abhängt. Bei diesem Versuch konnte die Lokalisation der Frakturfläche an der

klinischen Krone nicht berücksichtigt werden, weil er standardisiert durchgeführt wurde [ÖZCAN 1999, PFEIFFER et al. 2003]. Zudem müssen diese In-vitro-Ergebnisse unter klinischen Bedingungen bestätigt werden.

6.2 Ergebniskritik

Für einen dauerhaften Erfolg der Reparatur wird eine Haftfestigkeit über 10 MPa empfohlen. Andere Autoren berichten, dass eine Haftfestigkeit von 6-8 MPa ausreichen sollte [REYNOLDS 1975, PFEIFFER 1990, AKIN-NERGIZ et al. 1996, COCHRAN et al. 1997]. Der Forderung von 10 MPa genügten bei der Reparatur auf Keramik alle getesteten Systeme außer Ceramic Repair mit Pertac Hybrid. Demzufolge erscheinen all diese Reparatursysteme für die erfolgreiche Reparatur von Keramikfrakturen klinisch geeignet. Cimara schnitt mit 18 MPa auf Keramik bei SINDEL et al. [1996] noch besser als in der vorliegenden Untersuchung ab, wobei allerdings kein Thermocycling erfolgte. Im Gegensatz dazu präferierten andere Untersuchungen Flusssäure statt Silan [KUPIEC et al. 1996, SHAHVERDI et al. 1998].

Die Ergebnisse zur Reparatur auf den Metalloberflächen waren weniger positiv: so erreichten bei den Metall-Frakturen auf allen Legierungen nur das CoJet-System und der Alloy Primer den geforderten Mindestwert von 10 MPa [SINDEL et al. 1997, PROÃÑO et al. 1998, YOSHIDA et al. 2001, NERGIZ et al. 2004]. Mit allen übrigen Systemen konnte auf den verschiedenen Metallen keine oder nur eine geringe Haftung erzielt werden. Es ist fraglich, ob die Haftwerte von Metal Primer mit Pertac Hybrid auf Remanium 2000 oder Degunorm bzw. Silistor und Cimara mit Charisma auf Degunorm und Pors On 4 zwischen 5-10 MPa klinisch ausreichen. Demzufolge ist nur die Anwendung vom CoJet -System und Alloy Primer für die Reparatur auf Metalllegierungen sinnvoll, insbesondere, wenn die Legierung unbekannt ist. Im Vergleich bessere Ergebnisse erzielte Metal Primer auf einer goldreduzierten Legierung [OHNO et al. 2004]. Nach den vorliegenden Erfahrungen sollte der Metal Primer nicht wie von BURKE [1998] empfohlen zur Reparatur

bevorzugt werden, sondern eher der Alloy Primer bzw. das CoJet-System. Je unedler die Legierung, desto problematischer schien der Haftverbund zu sein. Nur Alloy Primer eignete sich signifikant besser auf Remanium 2000 als auf Pors On 4 [KAPPERT 1989]. Die Unwirksamkeit von Silistor auf Metall war nicht verwunderlich, da es vom Hersteller nicht für diesen Zweck freigegeben ist. Damit eine Evaluation gegenüber der anderen Reparatursystemen stattfinden kann und um seine Eignung für Mischfrakturen zu bestimmen, wurde Silistor trotzdem mitgetestet.

Diese Untersuchung hat bestätigt, dass die Parameter Reparaturkunststoff und Metalllegierung auf den Erfolg des Haftvermittlers Einfluss haben, denn die Ergebnisse variierten zwischen den beiden getesteten Kompositen und den drei Legierungen zum Teil signifikant. In Übereinstimmung mit der Literatur scheint die Anrauhung der Metalloberfläche z.B. durch Strahlung vor der chemischen Konditionierung essentiell zu sein [LACY et al. 1988, VALLITTU & KURUNMAKI 2003, NERGIZ et al. 2004].

Selbst das relativ universell einsetzbare CoJet- System wies signifikante Unterschiede bei Verwendung von Charisma zwischen Keramik und Pors On 4 bzw. Remanium 2000 auf [PROÁNO 1997; PFEIFFER et al. 2002]. Die Reparatursysteme Silistor, Cimara und Ceramic Repair schnitten auf Metalllegierungen signifikant schlechter ab als auf Keramik. Diese Ergebnisse sind für die häufig vorkommenden Mischfrakturen mit unterschiedlich großem Keramik- und Metallanteil problematisch, da die Haftfestigkeiten der verschiedenen Reparaturkombinationen nicht vorhersagbar sind [EDELHOFF et al.1998].

Für Mischfrakturen lassen diese Systeme abhängig vom Anteil der Metallfläche an der gesamten Bruchfläche schlechtere Ergebnisse erwarten, da nur an der Keramikfläche akzeptable Haftwerte erzielt wurden [SINDEL et al.1997]. Die Anwendung von Reparatursystemen wie Clearfil Repair, das nur auf Keramik empfohlen wird, bzw. Alloy Primer und Metal Primer, die nur für die Reparatur auf Metalllegierungen dienen, ist für Mischfrakturen ungeeignet. Die kombinierte Anwendung von Clearfil Repair und Alloy Primer beide mit Clearfil auf dem jeweiligen Anteil der

Bruchfläche der Mischfraktur wäre denkbar, ist jedoch technisch kaum zu realisieren.

Das CoJet- System scheint für Mischfrakturen am geeignetsten, da es auf jedem hier verwendeten Material relativ gute Ergebnisse zwischen 10 MPa und 20 MPa zeigte. Andere Arbeiten bestätigten diese Ergebnisse [PROÄNO et al. 1998, EDELHOFF et al. 1999, WOLFART & KERN 2000, ÖZCAN 2003, FOITZIK & ATTIN 2004, NERGIZ et al. 2004]. Jedoch wären auch mit dem CoJet-System auf Remanium statt nur 10 MPa ähnliche Haftungswerte wie auf Keramik oder Degulor M von ca. 15 MPa wünschenswert.

Da das zur Reparatur verwendete Komposit Einfluss auf die Haftfestigkeit des Verbundsystems hat, sollte dem Praktiker empfohlen werden, individuell zu prüfen, ob das gewählte Komposit mit dem jeweiligen Reparatursystem funktioniert. In weiteren Studien sollte die Effizienz anderer klinisch beliebter Hybridkomposite für diese Indikation getestet werden. Die Hersteller bieten ständig neue Komposite auf dem Markt an. Die Qualität des Haftverbundes mit diesen Kompositen sollte individuell beachtet werden, bevor sie zur Reparatur verwendet werden, da der Einfluss des Kunststoffmaterials laut FOITZIK & ATTIN (2004) nicht zu unterschätzen ist.

Bei jeder Keramikfraktur sollte nach der Ursache geforscht werden. Eine Hauptursache für das Versagen einer keramischen Verblendung ist in der unphysiologischen Belastung durch abscherende Kräfte zu sehen [MARX 1993, ÖZDEN et al.1994, ANUSAVICE & ZHANG 1998]. Demzufolge ist eine erfolgreiche Reparatur nur dann zu erwarten, wenn nicht allein die Haftfestigkeit des Reparatursystems hoch ist, sondern gleichzeitig die funktionellen Überbelastungen eliminiert wurden. Wenn die okklusale Situation die Fraktur verschuldet hat, muss diese vor der Reparatur korrigiert werden, ansonsten ist auch keine erfolgreiche Reparatur zu erwarten. Bruxismus muss entsprechend behandelt werden, sonst frakturieren reparierte Verblendungen auch bei adäquater Haftfestigkeit des entsprechenden Systems erneut, da sie durch abscherende Kräfte überlastet werden [GÖBEL et al. 2002, ÖZCAN & NIEDERMEIER 2002]. Da eine Keramikverblendung eine höhere Stabilität als eine reparierte

Kunststoffverblendung hat, ist die Reparatur wiederum anfälliger gegen okklusale Fehlfunktionen [MUSIL & TILLER 1989]. Darüber hinaus ist für kleinflächige Abplatzungen eine bessere Prognose der Reparatur zu erwarten als für Frakturen, die die Inzisalkante, die Kaufläche oder die gesamte Seitenfläche der Krone betreffen. Die Kaukräfte eines Patienten sind in Abhängigkeit von der Position des Zahnes zu berücksichtigen und können nur abgeschätzt werden [ÖZCAN 2003].

Bei der Bestimmung der Keramikfrakturen wurden zumeist kohäsive Frakturen festgestellt, d.h. die Schwachstelle des Systems lag innerhalb der Keramik oder des Komposits, so dass das Reparatursystem als solches funktionierte [THURMOND et al. 1994]. Die Probleme sind für Klebungen auf Metall noch nicht gelöst, denn die meisten Reparatursysteme boten einen adhäsiven Frakturmodus bei zu geringen Haftfestigkeitswerten [PRÖSTER & KOURTIS 1991, PFEIFFER et al. 2003]. Es wäre wünschenswert, wenn die Reparatursysteme auf Metalloberflächen in Zukunft zuverlässiger, vorhersagbarer und effektiver funktionieren würden, da die Untersuchung gezeigt hat, dass nur zwei Systeme klinisch akzeptable Haftfestigkeiten erzielen und auch auf verschiedenen Metalllegierungen ihre Wirksamkeit beweisen. Während die Reparatur auf Keramik relativ gut untersucht ist, steht zur Reparatur auf Metalloberflächen nur wenig Literatur zur Verfügung. Daher sind weitgehende Untersuchungen erforderlich.

Unter Berücksichtigung der klinischen Gegebenheiten einer Keramikfraktur sollte eine erfolgreiche Reparatur abgeplatzter Verblendungen mit aufeinander abgestimmten Reparatursystemen und Kunststoffen zumindest teilweise möglich sein. Hierdurch könnte die Neuanfertigung der Restauration umgangen werden, allerdings ist die Vorhersagbarkeit nicht ausreichend zuverlässig [PFEIFFER 1993, PFEIFFER et al. 1996, PROËNO et al. 1998, EDELHOFF et al. 1999, WOLFART & KERN 2000, STARK 2003, FOITZIK & ATTIN 2004]. Die Problematik scheint auf reinen Keramikfrakturen bzw. Mischfrakturen mit hohem Keramikanteil weitgehend gelöst. Durch die zur Verfügung stehenden Systeme können gesundheitsgefährdende Substanzen, wie die intraorale Nutzung von Flusssäure, vermieden werden [HOOSHMAND et

al. 2002, ÖZCAN 2003, SCHMAGE et al. 2003]. Für Mischfrakturen ist die tribochemische Oberflächenkonditionierung mit anschließender Silanisierung, d.h. das CoJet -System, zu bevorzugen [EDELHOFF MARX 1995, PROÃÑO et al. 1998, ÖZCAN 2003, STARK 2003]. Für Frakturen mit freiliegendem Metall-Gerüst sollte der Alloy Primer mit Clearfil oder alternativ das CoJet -System eingesetzt werden [PFEIFFER et al. 2003].

7 SCHLUSSFOLGERUNG

- Zur Reparatur von Keramik waren ausgehend von der Mindestforderung einer Haftfestigkeit von 10 MPa alle getesteten Reparatursysteme und Komposite außer Ceramic Repair mit Pertac Hybrid geeignet. Der hauptsächlich kohäsive Bruchmodus belegte den Erfolg der Reparatursysteme auf Keramikoberflächen. Vollständig in der Keramik liegende Frakturen können zuverlässig repariert werden, wenn Kofaktoren wie Überbelastung ausgeschlossen sind.
- Der Einfluss der Faktoren Reparaturkomposit und Legierung der Metallbasis konnte nachgewiesen werden. Signifikant überlegen war Charisma gegenüber Pertac Hybrid mit Silistor und Ceramic Repair auf Keramik. Umgekehrt war Pertac Hybrid gegenüber Charisma auf der Au-Ag-Legierung mit dem CoJet -System signifikant überlegen. Die Einhaltung einer Produktlinie, z.B. Clearfil mit Clearfil Repair bzw. Alloy Primer hat sich bewährt.
- Auf den Metallprüfkörpern funktionierten nur die Reparatursysteme CoJet und Alloy Primer mit den jeweiligen Kunststoffen. Alle übrigen getesteten Systeme erfüllten die Mindestanforderungen der Haftfestigkeiten, um für den klinischen Einsatz empfohlen zu werden nicht. Je unedler die Metalllegierung war, desto schlechter waren die Haftfestigkeiten der Reparatursysteme. Eine Ausnahme stellte Alloy Primer dar. Daher sollte der Alloy Primer bei freiliegenden Metallflächen aus unedler Legierung bevorzugt werden. Der adhäsive Bruchmodus verdeutlichte, dass eine Verbesserung des Haftverbundes zur

Metalllegierung nötig ist, um klinisch vorhersagbare Ergebnisse zu erhalten.

- Für Mischfrakturen kann vor allem das CoJet -System sowohl mit Charisma als auch mit Pertac Hybrid empfohlen werden, da es sowohl auf Keramik als auch auf den verschiedenen Metalllegierungen adäquate Werte erzielte. Dennoch sind Varianzen in der Haftfestigkeit abhängig vom Anteil der Frakturfläche in der Keramik bzw. Metall zu erwarten.

8 ZUSAMMENFASSUNG

Zur Reparatur einer Verblendungsfraktur von festsitzendem Zahnersatz werden von verschiedenen Firmen Reparatursysteme angeboten. Ziel dieser Arbeit war es, sieben Reparatursysteme miteinander auf ihre Haftfestigkeit sowohl auf Keramik- als auch auf drei verschiedenen Metalllegierungsflächen unter Berücksichtigung des verwendeten Komposites zu vergleichen.

Die Prüfkörper (n= fünf pro Gruppe) wurden nach dem internationalen Standard ISO 10477 (Dentistry—Polymer-based crown and bridge materials) hergestellt. Insgesamt wurden 42 Gruppen gebildet und die folgenden Reparatursysteme untersucht: CoJet, Silistor, Cimara, Ceramic Repair, Metal Primer, Alloy Primer und Clearfil Repair. Jeweils fünf Metallprüfkörper wurden aus den drei Legierungen Degunorm (Au-Ag), Pors-on 4 (Pd-Ag) und Remanium 2000 (Co-Cr) hergestellt und nach jedem der fünf Versuchsdurchgänge poliert und wiederverwendet. Die 45 Verblendkeramikprüfkörper wurden jeweils nur einmal verwendet. Die verschiedenen Reparatursysteme wurden nach Herstellerangaben verarbeitet. Auf die Prüfkörper wurden Kunststoffzylinder aus den Kunststoffen Charisma, Pertac Hybrid und Clearfil AP-X unter Verwendung des jeweiligen Reparatursystems aufgeklebt. Nach dem Thermocycling wurden die Prüfkörper einem Scherversuch (Zwick, 1120, Ulm) unterzogen. Anschließend wurden die Bruchmodi bestimmt. Die Messergebnisse wurden statistisch ausgewertet.

Bei der Verblendkeramik wurden die höchsten Haftfestigkeiten mit dem Reparatursystem Silistor und Charisma ($23,1 \pm 5,8$ MPa) und die niedrigsten mit Ceramic Repair und Pertac Hybrid ($8,1 \pm 1,3$ MPa) gemessen. Alle getesteten Reparatursysteme außer Ceramic Repair mit Pertac Hybrid überstiegen den geforderten Wert von 10 MPa und waren damit zur Reparatur reiner Keramikfrakturen geeignet. Clearfil Repair mit Clearfil AP-X-Kunststoff erreichte $20,3 \pm 5,0$ MPa und das CoJet -System mit Charisma $17,8 \pm 3,6$ MPa. In den meisten Fällen wurden kohäsive Bruchmodi festgestellt, so dass die Schwachstelle innerhalb der Keramik bzw. des Komposites lag.

Bei den Metallprüfkörpern aus drei verschiedenen Legierungen wurden akzeptable Haftfestigkeitswerte von über 10 MPa nur bei den Reparatursystemen Alloy Primer mit Clearfil und dem CoJet -System festgestellt. Alloy Primer erreichte die höchsten Werte ($25,3 \pm 3,8$ MPa) auf der Co-Cr-Legierung. Die Haftfestigkeitswerte des CoJet -Systems betragen auf der Au-Ag-Legierung mit Pertac Hybrid $19,7 \pm 5,6$ MPa und waren dabei signifikant höher als mit Charisma. Die Reparatursysteme Silistor, Cimara, Ceramic Repair und Metal Primer waren nicht zuverlässig zur Reparatur reiner Metallfrakturen einsetzbar, da ihre Haftfestigkeitswerte zum Teil erheblich unter 10 MPa lagen. Für reine Keramikfrakturen waren alle untersuchten Reparatursysteme außer Ceramic Repair mit Pertac Hybrid geeignet. Für Mischfrakturen konnte nur das CoJet-System empfohlen werden. Für reine Metallfrakturen boten ausschließlich der Alloy Primer mit Clearfil und das CoJet-System die benötigte Effektivität. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Art des Reparaturkunststoffes einen Einfluss auf die Haltbarkeit der Reparatur hat. Daher ist die richtige Auswahl des Reparaturkunststoffes von entscheidender Bedeutung. Bei großen freiliegenden Metallflächen ist der Haftverbund noch nicht zuverlässig gelöst. Die Verwendung von Alloy Primer auf unedlen Legierungen erscheint vielversprechend.

9 LITERATURVERZEICHNIS

1. **Akin-Nergiz N, Nergiz I, Behlfelt K, Platzer U (1996)** Shear bond strength of a new polycarbonate bracket – an in vitro study with 14 adhesives. *Europ J Orthodont* 18:295-301
2. **Anusavice KJ, Zhang NZ (1998)** Chemical durability of Dicor and Fluorocanasite-based Glass-ceramics. *J Dent Res* 77/7:1553
3. **Augthun M, Spiekermann H (1994)** In-vitro- und In-vivo-Untersuchungen zum Korrosionsverhalten einer Palladiumlegierung. *Dtsch Zahnärztl Z* 49:632-635
4. **Barbosa VLT, Almeida MA, Chevitaese O, Keith O (1995)** Direct bonding to porcelain. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 107:159-164
5. **Behr M, Rosentritt M, Gröger G, Handel G (2003)** Adhesive bond of veneering composites on various metal surfaces using silicoating, titanium-coating or functional monomers. *J Dent* 31:33-42
6. **Bertolotti RL, Lacy AM, Watanabe LG (1989)** Adhesive Monomers for Porcelain Repair. *Int J Prosth* 2:483-489
7. **Bieniek K, Marx R, von Mulert C (1991)** Systeme zur intraoralen Reparatur von keramischen Verblendungen – eine in-vitro- Studie der Haftfestigkeit. *ZWR* 100/11:848-852
8. **Burke FJ (1998)** Extending the use of a 4-META material: repair of fractured metal/ceramic crowns and bridges. *Dent Update* 25/3:124-128
9. **Büyükyilmaz T, Zachrisson Y, Zachrisson BU (1995)** Improving orthodontic bonding to gold alloy. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 108:510-518
10. **Calamia JR, Simonsen RJ (1984)** Effect of Coupling Agents on Bond Strength of Etched Ceramics. *J Dent Res* 63:179 abstr-no 79
11. **Chang JC, Koh SH, Powers JM, Duong JH (2002)** Tensile Bond strengths of composites to a gold-palladium alloy after thermal cycling. *J Prosthet Dent* 87/3:271-276
12. **Chung KH, Hwang YC (1997)** Bonding Strength of Porcelain Repair Systems with Various Surface Treatments. *J Prosthet Dent* 78:267

13. **Claus H (1980)** Werkstoffkundliche Grundlagen der Dentalkeramik. Dent Lab 28:1743-1750
14. **Cobb DS, Vargas MA, Fridrich TA, Bouschlicher MR (2000)** Metal surface treatment: characterization and effect on composite-to-metal bond strength. Oper Dent 25/5:427-433
15. **Cochran D, O'Keefe K L, Turner D T, Powers J M (1997)** Bond strength of orthodontic composite cement to treated porcelain. Am J Orthod Dentofac Orthop 111:297-300
16. **Creugers N, Snoek P, Käyser AF (1992)** An Experimental Porcelain Repair System Evaluated under Controlled Clinical Conditions. J Prosthet Dent 68:724-727
17. **Della Bona A, Van Noort R (1995)** Shear vs. Tensile Bond Strength of Resin Composite Bonded to Ceramic. J Dent Res 74 /9:1591-1596
18. **Edelhoff D, Marx R (1995)** Adhäsion zwischen Vollkeramik und Befestigungskomposit nach unterschiedlicher Oberflächenbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z 50:112-117
19. **Edelhoff D, Marx R, Yildirim M, Spiekermann H (1999)** Klinische Einsatzmöglichkeiten der intraoralen Silikatisierung. Dtsch Zahnärztl Z 54/12:745-752
20. **Edelhoff D, Abuzayeda M, Yildirim M, Spiekermann H, Marx R (2000)** Adhäsion von Kompositen an hochfesten Strukturkeramiken nach unterschiedlicher Oberflächenbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z 55/9:617-623
21. **Fan PL (1991)** Council on Dental Materials, Instrument and Equipment Prepared at the Request of the Council. Porcelain Repair Materials. J Am Dent Assoc 122:124
22. **Foitzik M, Attin T (2004)** Korrekturfüllung – Möglichkeiten und Durchführung. Schweiz Monatsschr Zahnmed 114:1003-1011
23. **Gehre G, Häßler C, Ulbricht J (1984)** Dentalkeramische Massen und metallkeramischer Verbundunter besonderer der Materialkombination Gisadent NCA/VITA VMK 68. Dtsch Stomatol 34:730-737

24. **Gehre G (1996)** Keramische Werkstoffe. In: Eichner K, Kappert HF (Hrsg). Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Hüthig, Heidelberg 6. Auflage, Bd 1, S 326-366
25. **Geis-Gerstorfer J (1996)** Nichtedelmetalllegierungen. In: Eichner K, Kappert HF (Hrsg). Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Hüthig, Heidelberg 6. Auflage, Bd 1, S 119-172
26. **Göbel R, Welker D, Hilpert M, Küpper H (2002)** Verbundfestigkeit mit Galvanogold bei Verblendung und Befestigung. Dtsch Zahnärztl Z 57:594-598
27. **Guggenberger R (1989)** Das Rocatec-System – Haftung durch tribochemische Beschichtung. Dtsch Zahnärztl Z 44:874-876
28. **Haselton DR, Diaz-Arnold AM, Dunne JT Jr (2001)** Shear bond strengths of 2 intraoral porcelain repair systems to porcelain or metal substrates. J Prosth Dent 86/5:526-531
29. **Hayakawa T, Horie K, Aida M, Kanaya H, Kobayashi T, Murata Y (1992)** The Influence of Surface Conditions and Silane Agents on the Bond of resin to Dental Porcelain. Dent Mater 8:238-243
30. **Hooshmand T, van Noort R, Keshvad A (2002)** Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. Dent Mater 18:179-188
31. **Jardel V, Degrange M, Picard B, Derrien G (1999a)** Correlation of Topography to Bond Strength of Etched Ceramic. Int J Prosthodont 12/1:59-64
32. **Jardel V, Degrange M, Picard B, Derrien G (1999b)** Surface Energy of Etched Ceramic. Int J Prosthodont 12/5:415-418
33. **Janda R (1992 a)** Kleben und Klebetechniken. Teil 1: Allgemeine Prinzipien der Klebetechnik Dent Lab 40:409-415
34. **Janda R (1992 b)** Adhäsiv-Systeme für Zahntechnik und –medizin Kleben und Klebetechniken, Teil 2 Dent Lab 40:615-628
35. **Jones DW (1989)** Niedertemperatur-Keramik. Perspektiven der Dentalkeramik. Quintessenz Berlin:29-46
36. **Jungwirth F, Marx R (1998)** Haftfestigkeit innovativer Metallprimer für den Metall-Kunststoff-Verbund. Dtsch Zahnärztl Z 53:374-381

37. **Kappert HF, Becker R, Pollocek W (1988)** Prüfung der Biegefestigkeit von Metall-Keramik-Verbundsystemen bei Verwendung verschiedener Dentallegierungen. Dtsch Zahnärztl Z 43:445-452
38. **Kappert HF (1989)** Verarbeitungsprobleme bei Palladium und NEM-Legierungen. In: Siebert, G.(Hrsg.): Dentallegierungen in der zahnärztlichen Prothetik Carl Hanser Verlag, München 1989
39. **Kappert HF (1994)** Keramik als zahnärztliche Werkstoff. Quintessenz Verlag Berlin:615-625
40. **Kern M, Neikes MJ, Strub JR (1991)** Haftfestigkeit des Klebeverbundes auf In-Ceram nach unterschiedlicher Oberflächenkonditionierung. Dtsch Zahnärztl Z 46:758-761
41. **Kern M, Thompson VP (1993)** Sandblasting and silica-coating of dental alloys. Dent Mater 9:155-161
42. **Knischewski F, Rau G (1984)** Grundwissen für Zahntechniker. Verlag Neuer Merkur, München
43. **Körber KH, Ludwig K (1993)** Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie. Thieme Verlag, Stuttgart
44. **Körber KH, Ludwig K (1983)** Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Konstruktionen. Dent Lab 31:55-60
45. **Krings A (1991)** Die Verzinnung von Dentallegierungen als alternative Metallkonditionierung in der Klebetechnik. Med Diss, Köln
46. **Kupiec KA, Wuertz KM, Barkmeier WW, Wilwerding TM (1996)** Evaluation of porcelain surface treatments and agents for composite-to-porcelain repair. J Prosthet Dent 76:119-124
47. **Lacy AM, LaLuz J, Watanabe LG, Dellinges M (1988)** Effect of porcelain surface treatment on the bond to composite. J Prosthet Dent 60:288-291
48. **Leibrock A, Degenhart M, Behr M, Rosentritt M, Handel G (1999)** In vitro study of the effect of thermo- and load-cycling on the bond strength of porcelain repair systems. J Oral Rehab 26/2:130-137
49. **Lindemann W (2000)** Dentalkeramiken – mineralogisch betrachtet. ZMK 5:280-285

50. **Livaditis G, Thompson V (1982)** Etched castings: an improved retentive mechanism for resin bonded retainers. *J Prosth Dent* 47:52
51. **Llobell A, Nicholls JI, Kois JC, Daly CH (1992)** Fatigue Life of Porcelain Repair Systems. *Int J Prosthodont* 5:205
52. **Ludwig K (1996)** Metall-Kunststoff-Verbundsysteme. In: Eichner K, Kappert HF (Hrsg). *Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung*. Hüthig, Heidelberg 6. Auflage, Bd 1, S 251-272
53. **Marx R, Stoß Th, Herrmann M (1991)** Keramikreparatur- Haften Reparaturkunststoffe ausreichend? *Dtsch Zahnärztl Z* 46:194-196
54. **Marx R (1993)** Moderne keramische Werkstoffe für ästhetische Restaurationen – Verstärkung und Bruchzähigkeit. *Dtsch Zahnärztl Z* 48:229-236
55. **McLean JW, Hughes TH (1965)** The reinforcement of dental porcelain with ceramic oxides. *Brit Dent J* 119:251-267
56. **McLean JW, Kedge MI (1989)** Vollkeramikkrone. Quintessenz Berlin 153-165
57. **Musil R, Tiller H-J (1984)** Die molekulare Kopplung der Kunststoff-Verblendung an die Legierungsoberfläche. *Dent Lab* 32:1155-1161
58. **Musil R, Tiller H-J (1989)** *Der Kunststoff/ Metall-Verbund*. Hüthig Verlag, Heidelberg
59. **Niedermeier W, Proãno FP, Özcan M, Mayer B, Nergiz I, Pfeiffer P. (1998)** Enorale Reparaturen mit tribochemischem Verbund. *Zahnärztliche Mitteilungen* 88:56-59
60. **Nergiz I, Schmage P, Herrmann W, Özcan M (2004)** Effect of alloy type and surface conditioning on roughness and bond strength of metal brackets. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 125:42-50
61. **Ohno H, Araki Y, Endo K (1992)** A new method for promoting adhesion between precious metal alloys and dental adhesives. *J Dent Res* 71:1326-1331
62. **Ohno H, Endo K, Hashimoto M (2004)** New mechanical retention method for resin and gold alloy bonding. *Dent Mater* 20/4:330-337
63. **Özcan M, Pfeiffer P, Nergiz I (1998)** A brief history and current status of metal- and ceramic surface- conditioning concepts for resin bonding in dentistry. *Quintessence International* 29:713-724

64. **Özcan M (1999)** Fracture strength of ceramic-fused-to-metal crowns repaired with two intraoral air-abrasion techniques and some aspects of silane pretreatment. A laboratory and clinical study Med. Diss, Köln
65. **Özcan M, Niedermeier W (2002)** Clinical study on the reasons for and location of failures of metal-ceramic restorations and survival of repairs. Int J Prosthodont 15/3:299-302
66. **Özcan M (2003 a)** Evaluation of alternativ intra-oral repair techniques for fractured ceramic-fused-to-metal restorations. J Oral Rehabil 30:194-203
67. **Özcan M (2003 b)** Fracture reasons in ceramic-fused-to-metal restorations. J Oral Rehabil 30:265-269
68. **Özcan M, Vallittu PK (2003)** Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. Dent Mater 19:725
69. **Özcan M, Matinlinna JP, Vallittu PK, Huysmans M-C (2004)** Effect of drying time of 3-methacryloxypropyl-trimethoxysilane on the shear bond strength of a composite resin to silica-coated base/noble alloys. Dent Mater 20:586-590
70. **Özden AN, Akalten F, Can G (1994)** Effect of surface treatments of porcelain on the shear bond strength of applied dual-cured cement. J Prosthet Dent 72/1:85-88
71. **Pfeiffer P (1990)** Verklebung abgestrahlter NEM-Oberflächen. Dtsch Zahnärztl Z 45/11:696-698
72. **Pfeiffer P (1993)** Haftung von Kunststoff an Legierungen abhängig von der Korngröße bei tribochemischer Beschichtung. Dtsch Zahnärztl Z 48:692-695
73. **Pfeiffer P, Proãno P, Nergiz I, Niedermeier W. (1996)** Intraoral repair of fractured porcelain veneered crowns and bridges. J Dent Res 75:24 Abstract 53
74. **Pfeiffer P, Nergiz I, Özcan M (2003)** Metal surface conditioning concepts for resin bonding in dentistry. Adhesion Aspects of Polymeric Coatings, Vol 2, VSP, Zeist NL:137-149
75. **Plueddemann EP (1982)** Silane coupling agents. Plenam Press, New York

76. **Proño P (1997)** Eine neue Methode zur intraoralen Reparatur von Verblendungen. Med. Diss., Köln

77. **Proño P, Pfeiffer P, Nergiz I, Niedermeier W (1998)** Shear bond strength of repair resin using an intraoral tribochemical coating on ceramometal, ceramic and resin surfaces. J Adhesion Sci Technol 12/10:1121-1135

78. **Pröbster L, Kourtis S (1991)** Zur Oberflächenmorphologie von mit dem Rocatec-System behandelten Legierungen. Dtsch Zahnärztl Z 46:135-139

79. **Reynolds IR, von Fraunhofer JA (1975)** Direct bonding in orthodontic attachments to teeth: the relation of adhesive bond strength to gauze mesh size. Br J Orthod: 91-95

80. **Rieder E (1991)** Haftsilan. Quintessenz Zahntech 17:1115-1120

81. **Robin C, Scherrer SS, Wiskott HWA, de Rijk WG, Belser UC (2002)** Weibull parameters of composite resin bond strengths to porcelain and noble alloy using the Rocatec system. Dent Mater 18:389-395

82. **Rosentritt M, Behr M, Lang R, Handel G (1999)** Verbundfestigkeit von Verblendkompositen auf Metallgerüsten. Dtsch Zahnärztl Z 54:10

83. **Rosentritt M, Behr M, Kolbeck C, Handel G (2001)** In Vitro Repair of Three-Unit Fiber-Reinforced Composite. Int J Prosth 14:4

84. **Schmage P, Nergiz I, Herrmann W, Özcan M (2003)** Influence of various surface-conditioning methods on the bond strength of metal brackets to ceramic surfaces. Dentofacial Orthop 123:540-546

85. **Schmidt V (1990)** Verweilzeit-Analyse von metallkeramischen Verblendungen. Dtsch Zahnärztl Z 45/6:329-331

86. **Schwickerath H (1988)** Zur Löslichkeit der Dentallegierungen. Dtsch Zahnärztl Z 43:339

87. **Schwickerath H, Bantelmann U (1989)** Belastbarkeit von metallkeramischen Verblendungen im okklusalen Bereich. Dtsch Zahnärztl Z 44:871-873

88. **Shahverdi S, Canay S, Sahin E, Bilge A (1998)** Effects of different surface treatment methods on the bond strength of composite resin to porcelain. J Oral Rehabil:699-705
89. **Sindel J, Gehrlich S, Peschelt A (1997)** Haftung von Komposit an VMK-Keramik bei freiliegendem Metallgerüst. Dtsch Zahnärztl Z 3:193-195
90. **Sorensen JA, Engelmann MJ, Torres TJ, Avera SP (1991)** Shear Bond Strength of Composite Resin to Porcelain. Int J Prosthet Dent 4:17-23
91. **Spohr AM, Sobrinho LC, Consani S, Sinhoreti MAC, Knowles JC (2003)** Influence of surface conditions and silane agent on the bond of resin to IPS empress 2 ceramic. Int J Prosthodont 16/3:277-282
92. **Stark H (2003)** Wiederherstellung von Keramikfrakturen. Dtsch Zahnärztl Z 58/7:380-381
93. **Stümke M (1994)** Edelmetall-Legierungen. Legierungen der Wahl, aber Qual der Auswahl. ZMK 10:6-16
94. **Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M (1994)** Curriculum Prothetik Bd. 2. Quintessenz, Berlin
95. **Suliman AH, Swift EJ (1993)** Effects of surface treatment and bonding agents on bond strength of composite resin to porcelain. J Prosthet Dent 70:118-120
96. **Tabassomm H, Richard V N, Alireza K (2002)** Bond durability of the resin-bonded and silane treated ceramic surface. Dent Mater 18:179-188
97. **Tanaka T, Nagata K, Takeyama M, Atsuta M, Nakabayshi N, Masuhara E (1981)** 4-Meta-Opaque Resin – A new resin strongly adhesive Nickel-Chromium-Alloy. J Dent Res 60:1697-1706
98. **Tanaka T, Atsuta M, Nakabayshi N, Masuhara E (1988)** Surface treatment of gold alloys for adhesion. J Prosth Dent 60:271-279
99. **Thompson V, Pfeiffer P (1986)** Klebebrückentechnik: Das elektrolytische Ätzen einer Ni-Cr-Legierung. Dtsch Zahnärztl Z 9:829
100. **Thurmond JW, Barkmeier WW, Wilwerding TM (1994)** Effect of porcelain surface treatments on bond strength of composite resin bonded to porcelain. J Prosthet Dent 72/4:p 355-359

101. **Tiller H-J, Garschke A, Bimberg R (1989)** Probleme und Erfahrungen zum Keramik-Kunststoff-Verbund – Das Keramik-Reparatursystem Silistor. ZWR 9:776-784
102. **Trumm W, Trumm D (1986)** Indikation der Frontzahn-Konuskronen und die ästhetischen werkstofflichen Probleme der Kunststoffverblendung. Quintessenz 37(5):859-872
103. **Tylka DF, Stewar GP (1994)** Comparision of acidulated phosphate fluoride gel and hydrofluoric acid etchants for porcelain-composite repair. J Prosthet Dent 72:121-127
104. **Vallittu PK, Kurunmäki H (2003)** Bond strength of fibre-reinforced composite to the metal surface. J Oral Rehabil 30:887-892
105. **Van der Veen HJ, Bronsdijk AE (1984)** Das OVS-System als Haftmechanismus für Komposit-Ätzbrücken. Eine neue Verbundtechnik zwischen Metall und Komposit. Quintessenz 35:1943-1946
106. **Van der Veen HJ (1990)** Klinischer und experimenteller Vergleich des Silicoater-Verfahrens mit anderen Verbundsystemen. Silicoater-Symposium Hüthig Verlag, Heidelberg
107. **Wirz J, Schmidli F, Strub J (1999)** Kunststoff-Metall-Verbund mittels primer. Quintessenz 50/11: 181-187
108. **Wolf DM, Powers JM, O'Keefe K (1993)** Bond strength of composite to etched and sandblasted porcelain. Am J Dent 6/3:155-158
109. **Wolfart S, Kern M (2000)** Die intraorale Reparatur von Verblendkronen und –brücken. Quintessenz 51/7:683-691
110. **Wood DDJ, Jordan RE, Way DC (1986)** Bonding to porcelain and gold. Am J Orthod 89:194-205
111. **Wood DJ, Bubb NL, Millar BJ, Dunne SM (1997)** Preliminary investigation of a novel retentive system for hydrofloric acid etch-Resistant dental ceramics. J Prosthet Dent 78:275-280
112. **Yanagida H, Taira Y, Shimoe S, Atsuta M, Yoneyama T, Matsumura H (2003)** Adhesive bonding of titanium-aluminum-niobium alloy with nine surface preparations and three self-curing resins. Eur J Oral Sci 111 :170-174

113. **Yoshida K, Kamada K, Taira Y, Atsuta M (2001)** Effect of three adhesive primers on the bond strengths of four light-activated opaque resins to noble alloy. J Oral Rehabil 28/2:168-73
114. **Zachrisson BU, Büyükyilmaz T (1993)** Recent advances in Bonding to Gold, Amalgam and Porcelain. J Clin Orthodont 27:661-675

10 DANKSAGUNG

Frau Professor Dr. med. dent. U. Platzer danke ich herzlich für die freundliche Unterstützung bei der Arbeit.

Bei Herrn Professor Dr. med. dent. P. Pfeiffer bedanke ich mich herzlich für die Anregung zu dem Thema und die Hilfe bei der Durchführung und der statistischen Auswertung dieser Arbeit.

Für ihr Engagement bei der Betreuung der Arbeit möchte ich Frau Dr. med. dent. P. Schmage und Herrn PD Dr. med. dent. I. Nergiz herzlich danken.

11 LEBENS LAUF

Süleyman Selçuk

Geboren : 08.07 1970, in Alaattin, Denizli, Türkei
Staatsangehörigkeit : deutsch
Familienstand : verheiratet mit Tülay Selçuk, geb. Yıldıztekin
Eltern : Naciye Selçuk, geb. Arman
Hüseyin Selçuk

Schul- und Berufsausbildung

1976-1979 Grundschole, Türkei
1979-1980 Grundschole Ifflandstrasse, Hamburg
1982-1986 Realschole Hasselbrook, Hamburg
1987-1991 Ausbildung zum Zahntechniker
1992-1995 Abend-Gymnasium St-Georg, Abschluss Abitur
1995- 2001 Studium der Zahnmedizin, Universität
Hamburg

Beruflicher Werdegang

10.2001- 08.2002 Ausbildungsassistent bei Dr. A. B. Dastghibi,
Hamburg
Seit 09.2002 Wissenschaftlicher Mitarbeiter in der
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive
Zahnheilkunde, Universitätsklinikum Hamburg-
Eppendorf

12 ERKLÄRUNG

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Hamburg, 28.04.06