

2. Schrifttum

2.1 Kunststoffbrackets

Kunststoffbrackets aus Polycarbonat wurden als ästhetische Alternative zu den herkömmlichen Metallbrackets erstmals Ende der 60er-Jahre in der Kieferorthopädie eingesetzt. In ersten klinischen Studien konnte NEWMAN (1969; 1971) die gute Haftung der Brackets am Zahn nachweisen. Kunststoffbrackets erwiesen sich in diesen Versuchen als wenig formstabil, so dass Deformationen des Slots und auch Frakturen der Bracketflügel nicht nur bei Kaubelastung, sondern auch bei Verwendung von Torquebögen auftraten. Durch die Einarbeitung von Stahlslots in die Bracketbasis wurde zwar die Belastbarkeit des Slots verbessert, die Verfärbung der Brackets aber weiterhin als Nachteil angesehen (SCHWARTZ 1971; BRANDT und MIURA 1972; SILVERMAN et al. 1972; GIANELLY und GOTTLIEB 1973, DOOLEY et al. 1975; MOSER et al. 1979; PROFFIT und FIELDS 1986; THORSTENSON und KUSY 2003).

Seit kurzem werden auch Kunststoffbrackets aus Polyoxymethylen angeboten, die in der weiterführenden Literatur, trotz Ihrer Vorteile gegenüber herkömmlichen Polycarbonatbrackets, kaum untersucht wurden. In dieser Studie wurden ausschließlich Polyoxymethylenbrackets¹ verwendet.

¹ Brilliant-Brackets®, Firma Forestadent®, Pforzheim, Deutschland.

2.2 Polyoxymethylen (POM)

2.2.1 Herstellung von Polyoxymethylen

Polyoxymethylen (POM) gehört zur Gruppe der Polyacetale und ist ein bis zu 75 % hochkristallines, thermoplastisches Material bei linearen, unverzweigten Ketten von polymerisierten Aldehyden. Die Polymerisation von Formaldehyd ist ein entscheidender Schritt zur Herstellung von Polyoxymethylen (hochmolekularer Polyformaldehyd).

Durch Eindampfen von wässrigen Formaldehydlösungen oder durch den Zusatz saurer bzw. basischer Katalysatoren entsteht Paraformaldehyd als ein lineares Kettenmolekül. In Gegenwart von Alkoholat oder einem tertiären Amin als Initiator polymerisiert sich das flüssige oder in indifferenten Lösungsmitteln gelöste, wasserfreie Formaldehyd bei tiefen Temperaturen zu hochmolekularem Polyformaldehyd (WALTER und FRANCKE 1998).

Polyoxymethylene können durch Verfahren wie die Gasphasen-, Lösungs-, Fällungs- oder Massepolymerisation hergestellt werden (FALBE und REGITZ 1992).

2.2.2 Eigenschaften von Polyoxymethylen (POM)

Die Eigenschaften und Anwendungen von Polyoxymethylen wurden von WANDEBERG (1959), HUMMEL und SCHOLL (1968) sowie von FALBE und REGITZ (1992) beschrieben.

Polyoxymethylen (POM) besitzt eine hohe Festigkeit, Steifigkeit, Härte, Form- und Maßbeständigkeit. Weitere Eigenschaften sind eine weiße Farbe, gutes Federungsvermögen und eine sehr geringe Wasseraufnahme und Spannungsrisssbildung. POM ist in den meisten organischen Lösungsmitteln, mit Ausnahme von Phenolen, nahezu

un- bzw. schwer löslich. POM zeigt sich beständig gegen Öle, Fette und Alkohole. Zusätzlich ist POM resistent gegen schwache Säuren und Laugen, Benzin, Benzol, Alkohole und Detergenzien. Unbeständig erweist es sich gegen starke Säuren ($\text{pH} < 4$) und UV-Strahlung, wenn keine Stabilisatoren zugesetzt werden. Die Verarbeitung von POM erfolgt durch Spritzgießen und Warmumformung. Nach Herstellerangaben werden POM-Brackets im Spritzgussverfahren hergestellt. Polyoxymethylen ist physiologisch unbedenklich (HARBISON 1996).

2.2.3 Anwendung von Polyoxymethylen

POM wird zur Herstellung von Laufrädern, Schrauben, Schnappelementen und Kupplungsteilen im Maschinenbau verwendet. Für die Feinwerktechnik werden Präzisionsteile wie Zahnräder, Kleinstgetriebe, Steuerscheiben, Scharniere und Feder-elemente hergestellt. Belastbare Funktionsteile von Elektro- und Haushaltsgeräten sowie Feuerzeugtanks, Skibindungsteile und Reißverschlüsse bestehen aus Polyoxymethylen.

2.2.4 Vorteile von Kunststoffbrackets aus Polyoxymethylen

GMYREK et al. (2002) untersuchten in vitro die Verformung von Slots durch Torqueeinfluss bei Polyoxymethylenbrackets² im Vergleich zu Metallbrackets. Sie fanden, dass diese Kunststoffbrackets mit Vierkantbögen³ (Querschnitt 0,016" x 0,022" und 0,018" x 0,022") zu signifikant höheren Torqueverlusten und geringeren Tor-

² Brilliant-Brackets[®], Firma Forestadent[®], Pforzheim, Deutschland.

³ Stahlidealbögen, Remanium[®], Dentaurum[®], Ispringen, Deutschland.

quemomenten als Metallbrackets führten, obwohl sie das erforderliche Mindestdrehmoment von 0,5 Ncm schon sehr früh (1° – 2°) erreichen konnten.

Da die Vermessungen der Slots der Polyoxymethylenbrackets nach den Torqueversuchen keine permanente Verformung aufwiesen, werden diese auch für größere Belastungen (Torque) empfohlen (GMYREK et al. 2002). Bei den Untersuchungen kam es zu keinen Frakturen der POM-Bracketbasis oder der Flügel.

Im Gegensatz dazu wurden bei Kunststoffbrackets aus Polycarbonat nicht nur Verfärbungen, sondern auch hohe Deformationen mit Verlust von Torquemomenten und Frakturen der Brackets beobachtet (AIRD and DURNING 1987; FELDNER et al. 1994; BAZAKIDOU et al. 1997; THORSTENSON und KUSY 2003). Somit können diese Kunststoffbrackets nur für einfache orthodontische Maßnahmen, insbesondere im Oberkieferfrontzahnbereich, verwendet werden (DIEDRICH 1983; SERGL 1990), gegebenenfalls in Verbindung mit Metallbrackets im Seitenzahnbereich (WHITEHILL-GRAYSON 1981).

2.3 Haftmechanismen von Polyoxymethylenbrackets

Die Haftung der Brackets am Schmelz hängt im Wesentlichen von der Qualität der Schmelzätzung, der Adhäsivart und der Retention an der Bracketbasis sowie dem Bracketmaterial ab. Um eine Haftfestigkeit der fixierten Brackets am Zahn über den gesamten Behandlungszeitraum zu gewährleisten, wird dem Schmelz-Adhäsiv-Bracket-Verbund eine große Bedeutung zugewiesen.

2.3.1 Kleben von Brackets

Um frühzeitigen Bracketverlust durch eine Kontamination der Bracketbasis mit Wasser, Speichel oder Blut zu vermeiden (SILVERSTONE et al. 1985; GREER et al. 1996; ROSSOUW et al. 1996; HOBSON et al. 2001; WEBSTER et al. 2001; ELIADDES et al. 2002), sind die Schritte der direkten Klebetechnik (BRANDT und MIURA 1972; GOLDEN 1979; DIEDRICH 2000; HELLWIG et al. 2003 [a]) genauestens einzuhalten. Sowohl Kunststoff- als auch Metallbrackets müssen trocken sein. Der mechanisch-chemische Verbund zum Adhäsiv lässt sich bei einer mit Speichel oder Feuchtigkeit kontaminierten Bracketbasis nicht herstellen.

2.3.1.1 Direkte Klebetechnik

Bei der direkten Klebetechnik werden Brackets direkt auf die vorbereitete Schmelzoberfläche geklebt. Das setzt eine Schmelzreinigung, z. B. mit einem Bimsstein-Wasser-Gemisch, und Trockenlegung des Arbeitsfeldes voraus. Die Schmelzoberfläche wird mit Orthophosphorsäure angeätzt, mit Wasser abgespült und mit ölfreier Druckluft getrocknet. Nach Auftragen eines Haftvermittlers auf den Schmelz und die trockene, sterile Bracketbasis wird das Bracket mit dem Adhäsiv beschichtet, positioniert, auf die Zahnoberfläche gepresst und die Überschüsse entfernt. Das Aushärten erfolgt anschließend, je nach Polymerisationsvorgang, in dem vom Hersteller angegebenen Zeitraum.

2.3.2 Schmelzkonditionierung

In der Regel wird der Schmelz mit 37%iger Phosphorsäure für 15 bis 60 Sekunden angeätzt, um eine gleichmäßige Verteilung der retentiven Mikrorauigkeiten auf der

Schmelzoberfläche zu erreichen (DIEDRICH 2000). Die Reduktion der Ätzzeit von 60 auf 30 Sekunden hat keinen signifikanten Einfluss auf die Haftfestigkeit orthodontischer Attachments oder die Schmelz-Ätz-Qualität (SADOWSKY et al. 1990; GARDNER und HOBSON 2001). Verkürzen der Ätzzeit auf 5 Sekunden führt zu einer signifikant reduzierten Haftfestigkeit (OLSEN et al. 1996). Ätzzeiten von mehr als zwei Minuten führen zu einer signifikanten Abnahme des retentiven Ätzreliefs und zu einem Anstieg von granulierten, porösen Oberflächenarealen ohne Spaltbildung, die sich nachteilig auf den Schmelz-Adhäsiv-Verbund auswirken können (DIEDRICH et al. 1983). Bei der Auflösung von Schmelzprismen und der interprismatischen Substanz entsteht ein mikroretentives Relief, das zu einer Oberflächenvergrößerung und damit zu einer Verbesserung der Benetzbarkeit (SERGL 1990; DIEDRICH 2000; HELLWIG et al. 2003 [a]) führt. Durch nachfolgendes Abspülen mit ölfreiem Wasser für 5 bis 30 Sekunden und Trocknen für weitere 30 Sekunden wird die Schmelzoberfläche von Säureresten und Kalziumphosphatpräzipitationen gereinigt, die sonst eine enge Mikroverzahnung Adhäsiv/Schmelz verhindern würden (DIEDRICH 2000). In-vitro-Untersuchungen von HELLWIG et al. (2003 [a]) zufolge kommt es bei Säurekonzentrationen von weniger als 30 % zur Ablagerung von schwer löslichem Brushit (kristallisiertes saures Kalziumphosphat), der sich nicht mit Wasserspray entfernen lässt. Säurekonzentrationen von über 40 % führen zu einer raschen Präzipitation von Kalziumphosphatverbindungen, die eine Konditionierung des Schmelzes verhindern.

2.3.3 Adhäsiv

Das Adhäsiv stellt eine mechanische Haftverbindung zwischen säurekonditioniertem Schmelz und oberflächenbehandelter Bracketbasis her. Durch das Eindringen von

Adhäsivzotten in die von der Säure weggelösten Schmelzanteile kommt es zu einer optimalen Verzahnung bzw. Verankerung zwischen Schmelz und Adhäsiv und damit auch zu den makro- und mikroretentiven Unterschnitten der Kunststoffbracketbasis (DIEDRICH 2000; HELLWIG et al. 2003 [a]). In Verbindung mit Kunststoffbrackets kann zwischen Acryl- und Diacrylklebern unterschieden werden.

Während Acrylkleber aus Methylmethacrylat-Monomer und einem Polymethylmethacrylat-Pulver (PMMA) bestehen, sind Diacrylkleber die Reaktionsprodukte eines Epoxidharzes und eines Methacrylats, wie z. B. Bisphenol-A-Diglycidyl-Dimethacrylat (BIS-GMA).

2.3.3.1 Verarbeitungsweisen

Die unterschiedlichen Verarbeitungsweisen der Adhäsive sind von SERGL (1990), SCHOPF (1994) und DIEDRICH (2000) beschrieben worden. Man unterscheidet:

- Autopolymerisierende Kunststoffkleber, in der Regel Zweikomponenten-Adhäsive, die mittels Durchmischung von Flüssigkeit und Pulver (Acrylate) oder 2-Pasten-Systemen (Dimethacrylate) chemisch reagieren und aktiviert werden.
- Druckpolymerisierende Kunststoffkleber, so genannte Einkomponenten-Adhäsive, die chemisch-physikalisch aktiviert werden. Nach Auftragen eines flüssigen Aktivators (Primer) auf die geätzte Schmelzoberfläche und die Bracketbasis wird die mit Dimethacrylat-Paste versehene Bracketbasis durch Druck mit der Schmelzoberfläche in Verbindung gebracht. Der durch den Druck erzeugte enge Kontakt mit dem Primer beschleunigt die Polymerisation (TRIMPENEERS et al. 1996).

- Photopolymerisierende Kunststoffkleber, angewendet als Einkomponenten-Adhäsive mit strahlungsempfindlichen Initiatoren, die unter Bestrahlung mit UV-Licht polymerisieren und aushärten.

2.3.3.2 Füllstoffe

Bei den Füllstoffen in den Adhäsiven handelt es sich um konventionelle Makrofüller aus Quarz, Glas oder Keramik in einer Partikelgröße von 1,5–5 μm sowie um Mikrofüller aus Siliziumdioxid (SiO_2) in der Größenordnung von 0,06–0,1 μm und schließlich um auf Mikrofüllern basierende Komplexe mit Teilchengrößen von 0,01–0,04 μm (ROULET 1987). Füllstoffinhalt, Größe und Verteilung spielen eine wichtige Rolle bei der Veränderung der Polymer-Matrix und somit der Materialeigenschaften von Acrylat- und Diacrylatklebern (WHITEHILL-GRAYSON 1981; LARMOUR et al. 1998). Mit Quarz oder Silikat gefüllte Acrylat- und Diacrylat-Adhäsive besitzen eine höhere Haftkraft, eine niedrigere Wasseraufnahmekapazität und Polymerisationsschrumpfung als ungefüllte Kompositkleber (WHITEHILL-GRAYSON 1981; OYSAED und RUYTER 1986). Diacrylate weisen im Gegensatz zu konventionellen Polymethacrylaten eine höhere Materialfestigkeit und eine bessere Farbbeständigkeit auf. Hinzu kommen eine geringere Wärmeentwicklung, Polymerisationsschrumpfung und thermische Expansion bei der Polymerisation als weitere, deutlich überlegene Eigenschaften. Für die adhäsive Befestigung von POM-Kunststoffbrackets werden bevorzugt Diacrylatkleber verwendet.

2.3.3.3 Primer

Bei Diacrylatklebern kommt es zu keiner direkten chemischen Verbindung zwischen der Kunststoffbracketbasis und dem Adhäsiv (REYNOLDS 1975). Der Haftverbund von Diacrylatklebern basiert auf einer mikromechanischen Verankerung am Schmelz und an der Kunststoffbracketbasis. Ein zusätzlich applizierter Haftvermittler (Primer) auf Schmelz und Bracketbasis stellt den chemischen Verbund zum Adhäsiv her (DE PULIDO und POWERS 1983; CROW et al. 1995). Hierbei fördert der niedrig visköse Primer das Eindringen des Adhäsives in den Schmelz (AKIN-NERGIZ et al. 1996) und in die Bracketbasis. Des Weiteren werden gelegentlich spezielle Silan-Haftvermittler aus organischen Siliziumverbindungen verwendet, die eine chemische Bindung sowohl mit der organischen Matrix als auch mit den anorganischen Füllern (Quarz, Glas, Keramik, Siliziumdioxid) von Adhäsiv und Kunststoffbracket eingehen (BISHARA und TRUELOVE 1990).

2.3.4 Kunststoffbracketbasis (POM)

Weiterhin bestimmt die Art und Beschaffenheit der Bracketbasis die adhäsive Kapazität (WILLEMS et al. 1997). Mechanische Retention sowie chemische Verbundmechanismen sind für den Haftmechanismus von POM-Bracketbasis zu Adhäsiv verantwortlich.

2.3.4.1 Mechanische Retention bei Kunststoffbracketbasen

Kunststoffbracketbasen werden mit horizontal und vertikal angeordneten Rillen oder v-förmigen Unterschnitten im Spritzgussverfahren hergestellt oder nachträglich gefräst, um eine makroretentive Oberfläche zu erhalten (AKIN-NERGIZ et al. 1996;

FERNANDEZ und CANUT 1999). Durch zusätzliches Sandstrahlen (5–20 min) mit 50–90 µm Aluminum-Oxid-Pulver (ZACHRISSON und BUYUKYILMAZ 1993; MCCOLL et al. 1998; GUAN et al. 2001) wird die Bracketbasisoberfläche aufgeraut und somit vergrößert (Mikroretention), um höhere Haftwerte zu erzielen. Mit einem intraoralen Sandstrahlgerät kann eine Oberflächenkonditionierung der Bracketbasis während der Behandlung durchgeführt werden. Eine dicke stabile Bracketbasis, gerundete Konturen und die Gewährleistung einer mechanischen Retention können die Haftfestigkeit von Kunststoffbrackets deutlich verbessern (De PULIDO et al. 1983).

2.3.4.2 Chemischer Verbund bei Kunststoffbracketbasen

CROW (1995) berichtete schon vor Jahren über die Veränderung der Kunststoffmatrix (Polycarbonat) durch den Zusatz von keramischen Füllstoffen und Glasfasern. GUAN et al. (2001) analysierten unlängst die chemische Zusammensetzung von Polycarbonatbrackets und konnten Glasfüllstoffe in Form von Siliziumoxidgruppen feststellen. Durch Sandstrahlen der Bracketbasis wurden die Siliziumoxidgruppen freigelegt, das Silan-Molekül des Primers ging eine chemische Bindung zum Siliziumoxid in der Polycarbonat-Matrix ein und copolymerisierte das Adhäsiv im Acrylat- oder Diacrylat-System. Zusätzliches Sandstrahlen der Kunststoffbracketbasis und die Applikation von Silan-Haftvermittler führten zu einer Erhöhung des Haftverbundes (GUAN et al. 2001).

Ein höherer Gehalt an Füllstoffen in Polycarbonatbrackets reduzierte außerdem Verfärbungen und nachteilige Veränderungen in der Slotdimension (WINCHESTER 1991; GUAN et al. 2000). Es ist nicht bekannt, ob Kunststoffbrackets aus Polyoxymethylen zusätzlich Füllstoffe enthalten.

2.3.5 Bracketverlust

Man unterscheidet zwischen einem frühzeitigen und einem verspäteten Bracketverlust. Der frühzeitige Verlust entsteht nach DONKER et al. (2001) durch die Kontamination der Schmelzoberfläche oder Bracketbasis mit Speichel oder Blut vor dem Klebevorgang. Beim retardierten Bracketverlust werden hauptsächlich eine insuffiziente Ätzzeit, inkomplettes Aushärten des Adhäsives, inadäquates Platzieren des Brackets auf die Zahnoberfläche und eine frühzeitige Drahtbogeneingliederung verantwortlich gemacht. Ein verspäteter Haftverlust entsteht in der Regel auch durch mechanische Einwirkungen, wie z. B. Scherkräfte beim Abbeißen oder Kauen harter Nahrung. Fingernägelkauen oder das Lutschen an Daumen und Fingern können jederzeit Bracketverlust verursachen (WHITEHILL-GRAYSON 1981).

2.4 Kontamination von Polyoxymethylenbrackets

Jede zahnärztliche Behandlung ist mit der Gefahr einer Übertragung von Krankheiten verbunden. Der Begriff „Infektion“ umfasst Ansiedlung, Wachstum und Vermehrung von Mikroorganismen in einem Makroorganismus (GROSSGEBAUER 1994).

Hierzu gehört auch die Übertragung von Krankheitserregern vom Patienten auf den Zahnarzt und vice versa. Die in der Mundhöhle mit Bakterien kontaminierten Handschuhe und Finger des Arztes sowie das Einbringen von nicht sterilisiertem oder nicht desinfiziertem Fremdmaterial während einer Behandlung stellen einen möglichen Ausgangspunkt einer Infektionskette dar. Eine Verunreinigung bei der Handhabung oder Lagerung der Kunststoffbrackets kann außerdem zu einer Beeinträchtigung des Haftverbundes führen. Es ist nicht auszuschließen, dass Brackets beim kurzfristigen Platzieren auf unsterilen Trays, beim Anpassen der Bracketbasis an die

Zahnoberfläche oder selbst bei Herstellungsverfahren (Indirekte Klebetechnik) bakteriell kontaminiert werden können. Eine beim industriellen Herstellungsprozess erlangte Sterilität kann durch einen Verpackungsfehler oder Transportschaden zu nichte gemacht werden.

2.5 Desinfektion

Ziel einer effektiven Desinfektion ist es, die Zahl der Infektionserreger auf einer Fläche oder einem Gegenstand so weit zu reduzieren, dass sich weder eine Infektion entwickeln kann noch eine Übertragung von Infektionserregern möglich ist.

Die hierbei geforderte quantitative Abtötung bzw. Inaktivierung von Infektionserregern wird bei einer Reduktion um 3–5 \log_{10} -Stufen (99,9–99,999 %) als ausreichend angesehen (MARTINY et al. 1991; BOTZENHART et al. 1994).

2.5.1 Desinfektionsverfahren

Die unterschiedlichen Desinfektionsverfahren sind im Folgenden nach MARTINY et al. (1991) und BOTZENHART et al. (1994) aufgeführt:

2.5.1.1 Physikalische Verfahren

1. Thermische Verfahren wie feuchte Hitze (Auskochen, feuchte Heißluft, strömender Dampf) und trockene Hitze (Heißluft, Verbrennung) desinfizieren thermostabile Gegenstände.

2. Zu den nicht thermischen Verfahren gehören (UV-)Strahlen und die Filtration. Die Filtration eignet sich zur Entfernung von lebenden und toten Mikroorganismen aus Flüssigkeiten und Raumluft.

2.5.1.2 Chemische Verfahren

Chemische Verfahren beinhalten die Anwendung von Desinfektionsmitteln auf der Basis von Alkoholen, Aldehyden, Phenolderivaten, Oxidantien, Halogenen und quarternären Ammoniumverbindungen (Biguanide). Diese Lösungen werden hauptsächlich als Flüssigkeiten – in unterschiedlichen Konzentrationen – im Sprüh-, Wisch- oder Tauchverfahren eingesetzt.

2.5.1.3 Chemisch-thermische Verfahren

Diese Art der Desinfektion besteht aus einer Kombination von feuchter Hitze und chemischen Desinfektionsmitteln in Desinfektionsautomaten für thermostabile Werkstoffe.

2.5.2 Anforderungen an chemische Desinfektionsmittel

Die Anforderungen an die in der Zahnheilkunde verwendeten chemischen Desinfektionsmittel sind im Folgenden nach BORNEFF und PICHL (1989) und MARTINY et al. (1991) aufgeführt; sie beinhalten vor allem eine ausreichend hohe Keimreduktion in Anlehnung an die Richtlinien der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie (DGHM 1999). Hinzu kommen eine kurze und rasche Einwirkungszeit mit einem breiten Wirkungsspektrum (mikrobizid und viruzid) sowie eine gute schmutzlösende bzw. reinigende Wirkung und eine akzeptable Materialverträglichkeit ohne Oberflächen- bzw. Dimensionsveränderungen oder Rückstandsbildung. Außerdem muss das chemische Desinfektionsmittel gut hautverträglich und umweltfreundlich sein, ohne eine allergisierende, mutagene/kanzerogene oder toxische Wirkung zu entfalten. Des Weiteren werden eine gute biologische Abbaubarkeit und Wirtschaft-

lichkeit ebenso gefordert wie gute Haltbarkeit bzw. Beständigkeit gegen schwankende Temperaturen und pH-Werte (HEIM 2003).

2.5.3 Vorteile der chemischen Desinfektion

Chemische Desinfektionsmittel sind in jeder Praxis allgegenwärtig und werden im Rahmen der Praxishygiene und Patientenbehandlung verwendet.

Die Anwendung ist kostengünstig und unkompliziert und erfordert weder einen hohen technischen Aufwand noch zusätzliche Gerätschaften. Ihr Einsatz kann direkt am Patienten oder unmittelbar während des Behandlungsablaufes stattfinden, ohne diesen zu verzögern. Vor allem kleinere Instrumente, Gegenstände und Geräte können schnell und sicher desinfiziert werden.

2.5.4 Nachteile der chemischen Desinfektion

Die Anwesenheit von organischen Substanzen sowie extreme Veränderungen des pH-Wertes oder der Temperatur können die Wirkung erheblich herabsetzen (BOTZENHART et al. 1994) und so ein chemisches Desinfektionsmittel inaktivieren.

Nach WALLHÄUSSER (1988 [b]) und MARTINY et al. (1991) ist die Wirkung des Desinfektionsmittels von seiner Konzentration und Anwendungszeit abhängig, d. h., dass ungenaue Anwendungsparameter zu einer unzureichenden Desinfektion führen. Luftblasen, Schmutz und angetrocknete Verunreinigungen verhindern den Kontakt des Desinfektionsmittels mit der Bracketbasis. Als Folge bleibt eine schmutzlösende und mikrobizide oder mikrostatistische Wirkung aus (BOTZENHART et al. 1994). Jedes Desinfektionsmittel muss auf sein unterschiedliches keimspezifisches Wirkungsspektrum hin genutzt werden, da kein Desinfektionsmittel gegen alle Mikroor-

ganismen effektiv sein kann. Einige Desinfektionsmittel können lange gelagert werden, andere sind nur über eine kurze Zeit hinweg lagerungsbeständig.

2.6 Chemische Mittel zur Desinfektion

Die in der vorliegenden Untersuchung angewendeten chemischen Desinfektionsmittel kommen in der zahnärztlichen und kieferorthopädischen Praxis als therapeutische Maßnahme oder zur Hygiene zum Einsatz und sollen einzeln näher erläutert werden.

2.6.1 Chlorhexidindigluconat

2.6.1.1 Wirkungsspektrum

Chlorhexidin (CHX) wirkt bakteriostatisch und bakterizid gegen gram-positive Bakterien. In höheren Dosierungen wirkt CHX auch gegen gram-negative Bakterien bakterizid (JOHNSON 1995; HELLWIG et al. 1999 [b]). PFEFFER et al. (2000) berichten, dass schon bei extremer Verdünnung das Wachstum von *Streptococcus mutans* gehemmt wird. Gram-negative Keime werden erst von um Zehnerpotenzen höheren Konzentrationen gehemmt.

CHX wirkt erst bei 10- bis 20-facher Konzentration bakterizid, die Wirkung gegen Mykobakterien und Pilze ist gering und bleibt bei Sporen gänzlich aus (WALLHÄUSER 1988 [c]).

CHX ist in Verbindung mit Alkohol antimikrobiologisch weitaus wirkungsvoller als eine reine alkoholfreie Lösung. In-vitro-Untersuchungen zur Reduktion von Plaque-Mikroorganismen mit Hilfe einer alkoholischen Chlorhexidinlösung (0,12 % CHX, 5 % Alkohol) wurden kürzlich von HERRERA et al. (2003) durchgeführt. Eine Einwirkzeit von nur einer Minute reduzierte die Kolonienbildung von Kulturen von *Streptococcus*

mutans, Streptococcus viscosus, Actinomyceten und Porphyromonas gingivalis auf null bis 30 Kolonie bildende Einheiten. Im Allgemeinen wird eine orale Anwendung von 0,12–0,2 % Chlorhexidin für 30 bis 60 Sekunden empfohlen (LÖE und SCHIOTT 1970; GUSBERTI et al. 1988; HEASMAN und SEYMOR 1994; JOHNSON 1995).

2.6.1.2 Wirkungsweise

CHX ist ein weißes, geruchloses, alkalisches Pulver, aus dem durch Zusatz von Glucosäure wasserlösliches, neutrales Chlorhexidindigluconat entsteht (RATEITSCHAK et al. 1984 [a]).

Aufgrund kationischer Eigenschaften besitzt es eine hohe Affinität zu negativ geladenen Zellwänden von Mikroorganismen. Bei niedrigeren Konzentrationen werden Bestandteile aus der beschädigten Zytoplasmamembran herausgelöst. Höhere Konzentrationen führen zur Koagulation von Zytoplasmabestandteilen, Zellproteinen und zu einer Enzymhemmung (WALLHÄUSSER 1988 [c]). Das osmotische Zellgleichgewicht wird gestört, indem niedrig molekulare Substanzen aus der Zelle herausdiffundieren und so zum Zelltod führen (GREENSTEIN et al. 1986; JOHNSON 1995).

2.6.2 Meliseptol®

2.6.2.1 Wirkungsspektrum

Meliseptol® ist in der Liste der nach Richtlinien für die Prüfung chemischer Desinfektionsmittel geprüften und von der Deutschen Gesellschaft für Hygiene und Mikrobiologie (DGHM 1999) als wirksam befundenen Desinfektionsverfahren zur Oberflächendesinfektion eingetragen. Anwendungsempfehlungen reichen von fünf Minuten über 15, 30 und 60 Minuten bis hin zu 240 Minuten Einwirkzeit. Nach Herstelleran-

gaben wirkt es bakterizid, viruzid, tuberkulozid, fungizid und partiell sporizid. Die viruzide Wirkung entwickelt sich bei lipophilen Viren (inkl. HBV und HIV) bereits innerhalb von fünf Minuten Einwirkzeit. 100 g Meliseptol[®]-Lösung besteht aus 50 g 1-Propanol und einem Aldehyd-Zusatz von 0,08 g Glyoxal.

2.6.2.2 Wirkungsweise

Das Aldehyd-Derivat Glyoxal wirkt auf die terminalen Gruppen (Carboxyl-, Amino-, Hydroxyl- und Sulfhydrylgruppen) der Zellproteine (WALLHÄUSSER 1988 [d]).

Meliseptol[®] wird zur Schnelldesinfektion von Praxisinventar, Geräten, größeren und kleineren Flächen eingesetzt.

2.6.3 Ethanol

2.6.3.1 Wirkungsspektrum

Alkohole wirken bakterizid, partiell viruzid, tuberkulozid, fungizid, aber nicht sporizid (MIKSITS et al. 1992). Ethanol (EtOH) tötet in 60–70%iger Konzentration innerhalb von 30 Sekunden gram-negative Formen sowie gram-positive Streptokokken ab. Staphylokokken und Tuberkelbakterien werden innerhalb von 60 Sekunden inaktiviert, einige Viren bereits nach wenigen Minuten. Sporenbildende Bakterien können nicht durch Alkohol abgetötet werden, das Hepatitis-B-Virus ist resistent, und HI-Viren (human-immunodeficiency-Viren) lassen sich mit 25%igem Ethanol inaktivieren (WALLHÄUSSER 1988 [a]). Die 70–80%ige Konzentration von Ethanol wird von BOTZENHART (1994) als optimal bezeichnet.

2.6.3.2 Wirkungsweise

Die Wirkung von Alkoholen beruht auf den von ihnen eingeleiteten Denaturierungsvorgängen bei den Zellproteinen von Mikroorganismen, wobei schließlich ein gewisser Wassergehalt die Keimtötung bewirkt (WALLHÄUSSER 1988 [a]). Für kleine Flächen, Gegenstände und Geräte gibt es eine Sprüh- und Wischdesinfektion. Ethanol hinterlässt keine Rückstände auf Flächen oder Geräten (BOTZENHART et al. 1994).

2.6.4 Natriumhypochlorid

2.6.4.1 Wirkungsspektrum

Natriumhypochlorid (NaOCL) besitzt in Abhängigkeit von der Konzentration und Einwirkzeit eine bakterizide, viruzide, tuberkulozide, fungizide und sporizide Wirksamkeit (MIKSITS et al. 1992). Es zeigt eine gute antimikrobielle Wirksamkeit gegen gram-negative und gram-positive Bakterien, inklusive Viren, sowie eine mäßige Wirksamkeit bei Mykobakterien, Schimmelpilzen und Hefen (WALLHÄUSSER 1988 [e]).

HELLWIG et al. (2003 [c]), PFEFFER et al. (2000) und KLIMM (2003) empfehlen 0,5–5,0%iges bzw. 3%iges NaOCL in wässriger Lösung zur antibakteriellen Reinigung.

2.6.4.2 Wirkungsweise

NaOCL reagiert mit den Zellproteinen sowie mit den Nukleinsäuren von Mikroorganismen (WALLHÄUSSER 1988 [e]).

2.6.5 Wasserstoffperoxid

2.6.5.1 Wirkungsspektrum

Wasserstoffperoxid (H_2O_2) gehört zur Gruppe der Peroxide und ist ein Oxidationsmittel. Es wirkt bakterizid, viruzid, tuberkulozid, fungizid und sporizid (MIKSITS et al. 1992). Der größte Teil der gram-negativen Bakterien wird in einer verdünnten Wasserstoffperoxidlösung (3%ig) in weniger als zehn Minuten abgetötet (WALLHÄUSSER 1988 [f]). Gram-positive Kokken (*Staphylococcus aureus*) sowie Hefen und Schimmelpilze sind wesentlich widerstandsfähiger, auch Viren werden abgetötet. Zur lokalen oralen Therapie eignet sich eine konzentrierte Wasserstoffperoxidlösung von 1–3 % (MARSHALL et al. 1995; HELLWIG et al. 2003 [b]; PFEFFER et al. 2000).

2.6.5.2 Wirkungsweise

Beim Vorhandensein des Enzyms Katalase in Speichel und Blut wird der naszendierende, atomare Sauerstoff freigesetzt, der lebenswichtige Enzyme der Mikroorganismenzelle irreversibel oxidiert (WALLHÄUSSER 1988 [f]). Besonders streng anaerobe Bakterien mit der Unfähigkeit zur Katalasebildung können das in Gegenwart von Sauerstoff in ihrem Stoffwechsel entstehende H_2O_2 nicht entgiften (WALSH 2000).

2.7 Fragestellung

Die chemische Desinfektion von Kunststoffbrackets und die Auswirkungen auf den Haftmechanismus sind bis heute nicht untersucht worden. Das gilt auch für POM-Brackets, die noch nicht so lange auf dem Markt sind und deren Eigenschaften den herkömmlichen Kunststoffbrackets, was Form- und Farbstabilität anbelangt, bei weitem überlegen sind. Insofern wurden in die folgende Studie nur POM-Brackets ein-

bezogen. In der vorliegenden In-vitro-Untersuchung sollen zunächst die Fragen beantwortet werden:

- 1) ob POM-Brackets, einschließlich Adhäsiv und Primer, vom Hersteller steril geliefert werden,
- 2) wie die Keimadhärenz an diesen Kunststoffbrackets ist,
- 3) welche Desinfektionsmittel gegebenenfalls zur Desinfektion dieser Brackets verwendet werden können.

Später soll die Frage beantwortet werden, welches Desinfektionsmittel den Haftverbund nachhaltig schwächt.