

Aus der Universitätspoliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
des Departments für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
(Direktor: Univ.- Prof. Dr. med. dent. Hans-Günter Schaller)

**Der Einfluss der Speichelkontamination und der Behandlung mit
einem Pulver-Wasser-Strahlgerät auf das Dichteverhalten von
Fissurenversiegelungen
(Eine In-vitro Studie)**

Dissertation
zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

vorgelegt
der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Corinna Hoidis

geboren am 28.07.1985 in Ueckermünde

Betreuerin: PD Dr. med. dent. habil. Katrin Bekes

Gutachter: 1. PD Dr. Bekes
 2. Prof. Dr. Schiffner (Hamburg)
 3. Prof. Dr. Hirsch (Leipzig)

Eröffnungsdatum: 09.09.2014

verteidigt am: 25.03.2015

Meiner Familie gewidmet

Referat

Die Fissurenversiegelung gehört zu den wichtigsten Pfeilern der präventiven Zahnheilkunde, deshalb sind Studien zur Materialforschung zwingend erforderlich. Für den Erfolg einer Fissurenversiegelung sind die präzise Bindung des Kunststoffes an den Fissurenwänden und die Undurchlässigkeit des dentalen Materials unerlässlich, um das Fissurensystem vollständig vor den Einflüssen der Mundhöhle zu schützen. Zielsetzung dieser Studie war es, die Randdichte von Fissurenversieglermaterialien ohne und nach der Kontamination mit Speichel, sowie nach künstlicher Alterung zu untersuchen. Des Weiteren sollte die Effektivität von zwei verschiedenen Fissurenreinigungsmethoden in den unterschiedlichen Fissurenkonfigurationen beurteilt werden, wie die Bürstenreinigung mit der fluoridfreien Prophylaxepaste Klint (Voco GmbH, Cuxhaven, D) und die Bearbeitung der Fissuren mit dem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®] (KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, D). Die Durchführung der In-vitro Studie fand nach einem standardisierten Verfahren statt. Dabei wurden 400 kariesfreie bleibende menschliche Molaren für die Untersuchung von fünf Fissurenversieglermaterialien (Ultraseal XT[®] plus, Con Seal f, Diaseal, Delton[®] FS+ opak und Smartseal[®] opaque) herangezogen. Nach erfolgter Vorbehandlung mit der jeweiligen Reinigungsmethode wurde die Hälfte der Versuchszähne einer Kontamination mit Speichel unterzogen und dann mit einem der fünf Fissurenversiegler bearbeitet, die andere Hälfte wurde sofort der Materialapplikation zugeführt. Nach der Lagerung im Thermozyklengerät bzw. im Brutkasten und der Methylenblaufärbung erfolgte die Schnittprobenherstellung zur mikroskopischen Auswertung. Mit den Einschränkungen einer In-vitro Studie lässt sich aus den Untersuchungen schlussfolgern, dass alle Materialien als Fissurenversiegler geeignet sind. Nach der künstlichen Alterung im Thermocycler wurde bei den Versuchsreihen signifikant mehr Mikroleakage beobachtet. Mit der Speichelkontamination stieg die Anzahl an undichten Fissurenversieglermaterialien signifikant an und einige Proben wiesen vollständig freiliegende Fissuren auf. Delton[®] FS+ opak konnte in der Gruppe mit Speichelkontamination die besten Ergebnisse erzielen. Beide Reinigungsmethoden konnten gerade in engen Fissuren eine vollständige Reinigung bis zum Fundus nicht gewährleisten, sodass die Bedeutung beider Reinigungsmöglichkeiten für die Dichtigkeit der Versiegelung vernachlässigt werden kann.

Hoidis, Corinna: Der Einfluss der Speichelkontamination und der Behandlung mit einem Pulver-Wasser-Strahlgerät auf das Dichteverhalten von Fissurenversiegelungen. (Eine In-vitro Studie), Halle (Saale), Univ., Med. Fak., Diss., 80 Seiten, 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Zahnschmelz	2
1.1.1	Zusammensetzung	2
1.1.2	Strukturmerkmale	3
1.2	Fissuren	4
1.2.1	Entwicklung der Fissuren	4
1.2.2	Morphologie der Fissuren	5
1.3	Prävention der Karies	7
1.3.1	Fluoride	7
1.3.2	Fluoridanwendungen	8
1.3.3	Wirkungsmechanismen der Fluoride	8
1.4	Fissurenversiegler	9
1.4.1	Wirkung der Fissurenversiegelung	9
1.4.2	Fissurenversieglermaterialien	10
1.5	Mikroleakage	13
1.5.1	Definition Mikroleakage	13
1.5.2	Randspaltbildung und deren Einflussfaktoren	14
1.6	Physikalische Vorgänge bei der Fissurenversiegelung	16
1.6.1	Adhäsion	16
1.6.2	Physikalische Vorgänge bei der Penetration von Flüssigkeiten in kapillarähnlichen Strukturen	17
1.6.3	Grenzflächenerscheinungen	17
1.6.4	Oberflächenspannung	17
1.6.5	Randwinkel	18

1.6.6	Kapillarwirkung benetzender Flüssigkeiten	19
1.6.7	Viskosität	19
2	Zielstellung	21
3	Material und Methode	22
3.1	Material	22
3.1.1	Zahnproben	22
3.1.2	Materialgewinnung	22
3.1.3	Material zur Fissurenreinigung	22
3.1.4	Fissurenversiegler	23
3.1.5	Ätzmittel	24
3.1.6	Lösungen	24
3.1.7	Hilfsmittel	25
3.2	Methode	26
3.2.1	Versuchsaufbau	26
3.2.2	Versuchsablauf	28
4	Ergebnisse	35
4.1	Gegenüberstellung Kontrollgruppen mit Thermocyclinggruppen	37
4.2	Gegenüberstellung Klintgruppen mit Prophyflexgruppen	40
4.3	Gegenüberstellung der Versuchsreihen ohne Speichelkontamination mit den Versuchsreihen mit Speichelkontamination	43
4.4	Statistische Auswertung	46
5	Diskussion	47
5.1	Die Übertragbarkeit der In-vitro Studien auf die In-vivo Studien	47
5.2	Materialien und Versuchsdurchführung	48
5.2.1	Zahnproben	48

5.2.2	Die Lagerungsmedien Kochsalzlösung und destilliertes Wasser	49
5.2.3	Auswirkungen der Speichelkontamination	51
5.2.4	Schmelzhaftung	52
5.2.5	Alterungsprozesse durch thermische Wechselbelastungen	55
5.2.6	Klint und Prophyflex [®] : Wirkung auf den Schmelz	56
5.3	Diskussion der Ergebnisse	59
6	Schlussfolgerung	62
7	Zusammenfassung	63
8	Literaturverzeichnis	65
9	Thesen	79
10	Lebenslauf	
11	Selbstständigkeitserklärung	
12	Erklärung über frühere Promotionsversuche	
13	Danksagung	

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen und Symbole

Abb.	Abbildung
Bis-GMA	Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat
Bis-HPPP	Bis-Hydroxyl-Propoxyphenyl-Propan
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CE	Cholesterol-Esterase
C-O	Kohlenstoff-Sauerstoff Verbindung
C-Si	Kohlenstoff-Silicium Verbindung
DEGMA	Diethylenglycolmethacrylat
DEGDMA	Diethylenglycoldimethacrylat
Gew%	Gewichtsprozent
°C	Grad Celsius
HPMA	2-Hydroxypropylmethacrylat
HPPP	Hydroxyl-Propoxyphenyl-Propan
HSDE	human salivary derived esterase
K	Kelvin
KHN	Knoop-hardness numbers
LAMA	2-Lactobionamidoethylmethacrylat
mS	mit künstlichen Speichel
NaCl	Natriumchlorid
nm	Nanometer
oS	ohne künstlichen Speichel
PCE	Pseudocholinesterase
ppm	parts per million
Tab.	Tabelle
TEGDMA	Tetraethylenglycoldimethacrylat
UEDMA	Urethanethylendimethacrylat
U/min	Umdrehungen pro Minute
Vol%	Volumenprozent
µm	Mikrometer
µl	Mikroliter
z.B.	zum Beispiel

1 Einleitung

Bereits seit Jahrzehnten gehört die Zahnkaries zusammen mit den Parodontopathien zu den häufigsten Erkrankungen im Mund-, Kiefer- und Gesichtsbereich, die bei ausbleibender Therapie den Verlust des Zahnes zur Folge hat (Oesterreich und Ziller, 2005). Gerade bei Kindern beginnt der kariöse Angriff im schwer zugänglichen Fissurensystem. Die Reinigung der Fissuren und Grübchen ist durch die ungünstige Fissurenmorphologie nur bis zum Fissureneingangstrichter möglich, da die Abmessungen der Fissuren oft nicht den Borstendurchmessern einer Zahnbürste entsprechen (Hellwege, 2003).

Epidemiologische Studien belegen seit etwa Ende der 80er Jahre einen kontinuierlichen Rückgang dieser destruktiven Krankheit. Im Jahr 2006 konnte bei den 12-jährigen Kindern nur noch an 0,7 Zähnen ein Kariesbefall festgestellt werden. Im Vergleich dazu waren es 1997 noch 1,7 Zähne mit einer kariösen Läsion (Micheelis und Hoffmann, 2006). Die Gründe für die Abnahme der Karies sind neben der Aufklärung und einem besseren oralen Gesundheitsbewusstsein in den gruppen- und individualprophylaktischen Maßnahmen bei den Kindern und Jugendlichen zu sehen. Mit den 1991 eingeführten Individualprophylaxepositionen der gesetzlichen Krankenversicherungen erfährt gerade mit der Fissurenversiegelung die präventive Zahnheilkunde einen besonderen Aufschwung (Oesterreich und Ziller, 2005).

Die Qualität einer Fissurenversiegelung zeigt sich in ihrer Langlebigkeit und dem dichten Verschluss des Fissuren- und Grübchensystems vor den Einflüssen der Mundhöhle und der bakteriellen Besiedlung (Irmisch, 1992; Kersten et al., 2000).

Dennoch ist gerade der Vorgang der Applikation des Versieglermaterials bei einem Kind als schwierig anzusehen (Kühnisch et al., 2010). Eine absolute Trockenlegung, wie sie von vielen Studien gefordert wird, ist oft nicht realisierbar. An ihre Stelle tritt die relative Trockenlegung, die eine mögliche Kontamination der Zahnoberfläche mit der feuchten Atemluft und dem Speichel nicht verhindern kann (Dennison et al., 1990; Ganß et al., 1992).

So ist der Erfolg einer Fissurenversiegelung maßgeblich von der Neu- und Weiterentwicklung von Versieglerkunststoffen abhängig. In der Literatur finden sich dazu mehrere Studien, die sich mit dem Thema der Materialuntersuchung beschäftigen (Kwon et al., 2006).

1.1 Zahnschmelz

1.1.1 Zusammensetzung

Der ausgereifte Zahnschmelz (Enamel) ist das stärkste mineralisierte und härteste Zellprodukt des menschlichen Körpers mit einer Vickershärte von 250 bis 390 KHN (Schroeder, 1987; Hellwig, 2007). Durch den hohen Elastizitätsmodul und der geringen Zugfestigkeit ist der Schmelz ein sehr sprödes Material und muss, um die funktionelle Stabilität des Zahnes herzustellen, durch eine hohe Druckfestigkeit des Dentins ausgeglichen werden (Kappert und Eichner, 2008).

Das Enamel enthält weder Zellen noch Fasern. Es ist im eigentlichen Sinn kein Gewebe, sondern ein Material vollkommen azellulärer Natur (Avery, 1994; Steininger et al., 2010). Es besteht zu 93 bis 98 Gew% aus anorganischer Substanz, zu 1,5 bis 4 Gew% aus Wasser und zu weniger als 1 Gew% aus organischen Verbindungen (Avery, 1994; Hellwig, 2007).

Hauptelemente der anorganischen Schmelzmatrix sind Calcium und Phosphat, die das Hydroxylapatit bilden, dem Baustoff der Kristallite, sowie zu geringeren Anteilen auch Magnesium, Natrium, Kalium und Chlor, welche in Hinsicht auf den Mineralgehalt und die Verteilung der Elemente in den verschiedenen Schmelzarealen schwanken. Die Calcium-Phosphor Relation variiert zwischen Werten von 1:7 bis 2:4 (Gängler et al., 2005). Hydroxylapatit ist das Hauptmineral des Schmelzes, welches aber durch Einbau von Fluor, Karbonat oder anderen Ionen aus nicht stöchiometrischen Apatitkristallen aufgebaut ist (Hellwig, 2007). Ein weiterer Bestandteil ist das Octacalciumphosphat, welches aus nicht apatitisch gebundenen Calcium- Phosphor Verbindungen besteht (Hellwig, 2007). Bis zum heutigen Zeitpunkt konnten bis zu 40 Spurenelemente im Schmelz nachgewiesen werden, unter anderem Fluor, Strontium, Selen, Vanadium, Molybdän, Mangan, Zink und Zinn (Gängler et al., 2005; Hellwig, 2007). Wasser mit einem Anteil bis zu 12 Vol% liegt im Schmelz zu dreiviertel kristallin als Hydratationsschale vor, also an Apatitkristallite gebunden, und zu einem Drittel frei an organischer Substanz (Schroeder, 1987; Hellwig, 2007). Somit ist der Wasserhaushalt des Schmelzes vorwiegend extrinsischer Natur und lässt sich deshalb während restaurativer Maßnahmen effektiver trocknen, als es bei dem Dentin der Fall ist (Kappert und Eichner, 2008). Die organischen Substanzen kommen in Form kleinerer Mengen von löslichen und unlöslichen Proteinen vor, davon sind 58% meist Amelogenine, 40% Lipide und Spuren von Kohlenhydraten, Zitrat und Laktat. Dabei

bilden die Proteine das Netz, in welchem die Kristallite eingelagert sind (Nolden, 1970). Das innere Drittel des Schmelzmantels mit den Schmelzbüscheln und Lamellen enthält den Hauptanteil der organischen Matrix. Im ausgereiften Schmelz dominieren in der Aminosäurezusammensetzung Asparaginsäure, Serin und Glycin (Schroeder, 1987; Hellwig, 2007). Die mittlere Schmelzdichte liegt zwischen Werten von 2,8 bis 3,0 und scheint in einem direkten Zusammenhang zum Magnesium- und Karbonathaushalt zu stehen. Besonders bei einem erhöhten Magnesiumgehalt unter den zentralen Fissuren ist mit einer geringeren Schmelzdichte zu rechnen (Hellwig, 2007).

1.1.2 Strukturmerkmale

Das Enamel ist an den Höckerspitzen am dicksten und am Fissurenfundus, im zervikalen Bereich und am Übergang zum Zement am dünnsten (Kappert und Eichner, 2008).

Die Apatitkristalle des Schmelzes messen eine Länge von 200 nm bis ca. 1 μm . Diese Kristallite werden bei gleicher Ausrichtung durch eine dünne Schicht organischen Materials zusammengefasst (Steininger et al., 2010). Im dreidimensionalen Bild vereinigen sich die Kristallite zu Schmelzprismen. Ein Prisma wird durch vier benachbarte Ameloblasten gebildet und läuft gewunden von der Schmelz-Dentin-Grenze zur Schmelzoberfläche. Innerhalb der Prismen ordnen sich die Kristallite verschieden um die Längsachse an, die auch als C-Achse bezeichnet wird. Im Zentrum der Prismen stehen die Kristalliten meist längs zur Verlaufsrichtung der Prismen, dagegen orientieren sich die Kristallite in der Peripherie eher quer zur Verlaufsrichtung. Durch diese verschiedenen Anordnungen erklärt sich die unterschiedliche Säurelöslichkeit, die als Ursache für das retentive Ätzmuster gilt (Kappert und Eichner, 2008). Schmelzprismen weisen einen sechseckigen Querschnitt auf und ihr Durchmesser beträgt 4 μm bis 5 μm , der aber angefangen von der Schmelz-Dentin-Grenze bis zur Schmelzoberfläche kontinuierlich zunimmt (Lehmann und Hellwig, 2002). Durch die büschelartige Verflechtung der Prismen untereinander entstehen Hunter-Schregersche-Streifen. Aufgrund der unterschiedlichen Lichtbrechungen werden Parazonien als helle Streifen und Diazonien als dunkle Streifen wahrgenommen, die aber den gleichen Prismenverlauf aufweisen und senkrecht zur Schmelz-Dentin-Grenze ausgerichtet sind (Lehmann und Hellwig, 2002). An der Schmelzoberfläche kommt es zu Schräglagen der Prismen, die als schlüssellochähnliche Querschnitte zu

beobachtet sind. In der äußersten Schmelzschicht befinden sich die Kristallite in paralleler Orientierung zueinander. Aus diesem Grund erkennt man hier auch keine typische Prismenstruktur. Diese Zone wird als prismenfreier Raum bezeichnet und ist etwa 20 µm bis 80 µm dick. Zu finden ist diese Schmelzart überall dort, wo es zu keiner chemischen und mechanischen Abnutzung kommt, also am Zahnhals, in Grübchen und in den Fissuren. Die äußersten Schichten des Schmelzes zeichnen sich durch eine geringe Oberflächenenergie aus (Lehmann und Hellwig, 2002; Kappert und Eichner, 2008). Parallel zur Schmelzoberfläche verlaufend und an der freien Schmelzfläche endend, sind Wachstumslinien, die sogenannten Retzius-Streifen, zu beobachten. Neben diesen periodischen Verkalkungszonen befinden sich auch Perikymatien, welche als Erhebungen frei zur Schneidekante verlaufen (Lehmann und Hellwig, 2002).

1.2 Fissuren

Die Fissur ist die spaltförmige Vertiefung des Schmelzes im Bereich der Kaufläche von Prämolaren und Molaren (Benz, 2007). Sie gilt durch die erhöhte Plaqueretention aufgrund der zerklüfteten Fissurenanatomie, der geringen Schmelzdicke des Fissurenfundus, der fehlenden posteruptiven Schmelzreifung und einer begrenzten kariesprotektiven Fluoridierung durch die Diffusionsbarriere Plaque als die Prädilektionsstelle für die Karies (Kühnisch et al., 2010).

1.2.1 Entwicklung der Fissuren

Die Fissuren haben ihren Ursprung an der Grenze zwischen Schmelzbildungszentren im Höckerbereich, auch als amelogenetische Entwicklungszentren bezeichnet (Schroeder, 1987). Nebeneinanderliegende Zentren beginnen miteinander zu verschmelzen und zwischen ihnen bildet sich eine Furche aus. Die genaue Charakteristik des Spaltes hängt von der Lage der Schmelzbildungszentren und der Ausdehnung der Schmelzkappen der Höckerbereiche zur Zeit der Verschmelzung ab (Schwenzer, 1985). Einstülpungen im okklusalen Schmelzrelief und Stauungen von Ameloblasten der sich verkleinernden Schmelzoberfläche sind die Folge. Am Furchengrund verlieren die schmelzbildenden Zellen ihre sekretorische Aktivität, während die Ameloblasten der Spaltwände ihre Funktion beibehalten (Schroeder, 1987). Dabei messen die schmelzbildenden azidophilen Zellen 5 µm bis 6 µm im Durchmesser und ca. 40 µm in der Länge. Die

Zellen, die sich in der Mitte der Fissur befinden, erscheinen in ihrer Form sternartig, die des Fissurenfundus sind überzählig und verdichtet. Ihre ovalen bzw. gestreckten basophilen Kerne liegen am distalen Ende der Zellen. Ameloblasten haben die Tendenz, sich gegen die okklusale Verengung zu orientieren (Galil und Gwinnett, 1975). Die Höckerabhänge nähern sich einander immer weiter an und tiefe bzw. flache Fissuren entstehen (Schroeder, 1987).

1.2.2 Morphologie der Fissuren

Durch die morphologischen Besonderheiten und der spezifischen bakteriellen Flora stellt das Fissurensystem ein eigenständiges ökologisches Gebiet innerhalb des oralen Milieus dar (Sutalo et al., 1989).

Fissuren sind in ihren Formen und ihren Ausdehnungen sehr variabel und es lassen sich innerhalb eines Zahnes keine einheitlichen Fissurenbilder darstellen. Einer Studie zur Folge treten bei 90% der Zähne mindestens zwei verschiedene Fissurenformen auf, bei 48% konnten sogar drei verschiedene Formen festgestellt werden und auch zwischen Prämolaren und Molaren gibt es Unterschiede (Pfeiffer, 2002). In der Literatur werden vier verschiedene Fissurentypen unterschieden: der V-Typ, der IK-Typ bzw. Y₂-Typ oder auch Ampullentyp genannt, der I-Typ bzw. Y₁-Typ und der U-Typ (Sauerwein 1985).

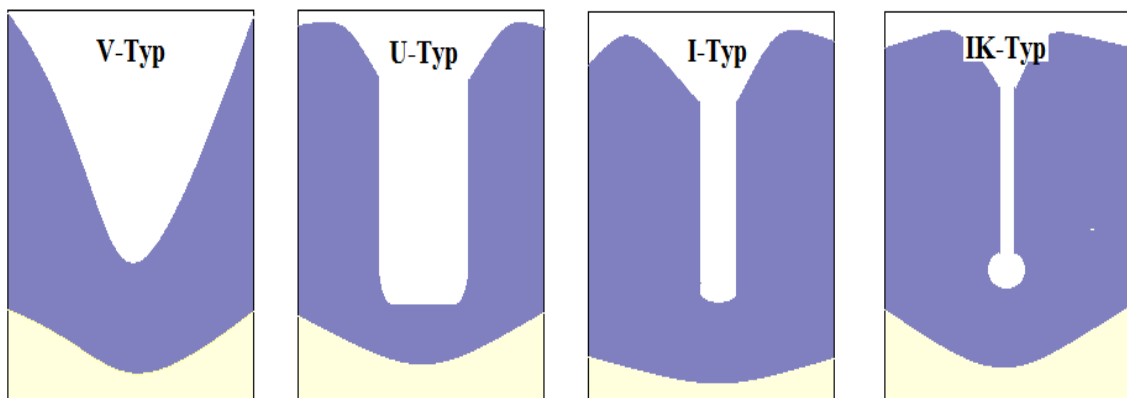


Abb. 1: Fissurentypen (modifiziert nach Sauerwein, 1985)

Dabei kommen diese Typen mit unterschiedlichen Häufigkeiten vor, was durch die große Mannigfaltigkeit der Fissurenformen begründet zu sein scheint.

Tab. 1: Verteilung der Fissurenformen

	nach Nagano, 1961 (zitiert von Sauerwein, 1985)	nach Sutalo et al., 1989	nach Pfeiffer, 2002
V-Typ	34%	18%	21,9%
I-Typ/ Y ₁	19%	39%	11,7%
IK-Typ/ Y ₂	26%	32%	7,3%
U-Typ	14%	11%	59,1%

Andere Untersuchungen gehen neben den vorgenannten Fissurenformen von muldenförmigen Fissuren, Fissuren mit und ohne Fissureneingangstrichter und von Fissuren mit zwei- und dreifach ausgeprägtem Fissurenfundus aus (Fuchs, 1975).

Auch bei den Parametern der Fissuren lässt die Literatur kein einheitliches Bild erkennen. So beträgt die Fissurentiefe zwischen 40 µm bis 1220 µm, davon ist die größte durchschnittliche Tiefe dem IK-Typen, die geringste durchschnittliche Tiefe dem U-Typen zuzuordnen (Schroeder, 1987; Sutalo et al., 1989). Die zentrale Fissur erscheint tiefer als ihre distalen Anteile (König, 1963). Auch schwankt die Zahl der Schmelzdicke zum Fissurenfundus zwischen 110 µm und 1440 µm. Die Breite der Fissuren liegt zwischen 6 µm bis 180 µm, dabei kommen die größten durchschnittlichen Eingangsbreiten bei dem V-Typ und die geringsten bei dem IK-Typ vor (Schroeder, 1987; Sutalo et al., 1989). Im Abstand von 0,1 mm vom Fissurenboden sind 90% aller Fissuren mindestens 39 µm breit (Pfeiffer, 2002). Der okklusale Eingangswinkel misst zwischen 35° und 100° (Schroeder, 1987).

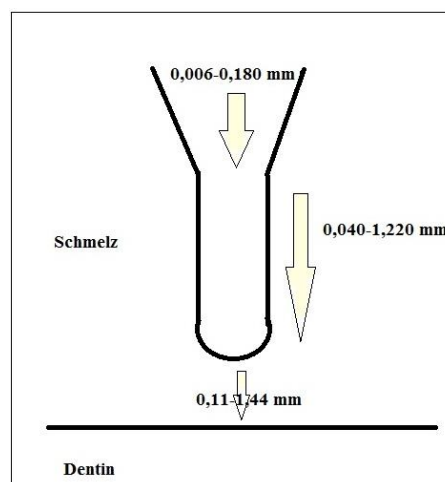


Abb. 2: Fissurenmaße (modifiziert nach Staehle, 1994)

Die Fissur als Teil der oralen Flora weist verschiedene bakterielle Kolonisationen auf. So zählen die Kokken mit 40% bis 70% zur vorherrschenden Mikroflora, davon sind bis zu 43% grampositive Kokken und bis zu 20% gramnegative Kokken. Mit 20% bis 40% gehören die grampositiven Stäbchen und mit 5% bis 9% die gramnegativen Stäbchen zum festen Kern des Fissurenmilieus (Thott et al., 1974). In den meisten Fissuren kommen neben Veillonella auch Streptococcus mutans vor (Kramer et al., 1993). Auch Streptococcus sanguis kommt gehäuft vor, dagegen treten Laktobazillen, Streptococcus salivarius und Neisseria nur sporadisch auf (Thott et al., 1974).

1.3 Prävention der Karies

Die Prävention ist die ärztliche Vorsorge zur Verhinderung von Erkrankungen, einschließlich der Maßnahmen, die der Gesundheitserhaltung dienen (Benz, 2007). Gerade die Prophylaxe der Karies ist ein wichtiger Bestandteil der individuellen Gesundheitsvorsorge (Zwiauwer, 2011). Dazu gehören zum einen die zahngesunde und ausgewogene Ernährung, eine regelmäßige und gute Zahn- und Mundhygiene mit allen zahnärztlichen Präventivmaßnahmen, die Anwendung von Fluoriden und zum anderen die Fissurenversiegelung (Hellwig, 2007; Zwiauwer, 2011). Der Einsatz von Fluoriden stellt einen integralen Schwerpunkt der Vorsorge dar.

1.3.1 Fluoride

Fluoride sind lebensnotwendige Spurenelemente und kommen ubiquitär vor, unter anderem auch in allen menschlichen Hartgeweben (Schraitle und Siebert, 1987; Gülzow, 1995). Bereits 1849 erkannte der Pariser Hofzahnarzt Désirabode Fluorid als Härtungsmittel für kariös erweichtes Dentin. 1874 war es dann der Badener Bezirksarzt Erhardt, der Fluoridpastillen zur Kariesprophylaxe empfahl (Gülzow, 1995). Die Bedeutung der konstanten Fluoridzufuhr durch die Trinkwasserfluoridierung entdeckte der amerikanische Zahnarzt Treandley Dean 1938 (Laurisch, 2000). Daraufhin ging 1945 die erste Trinkwasserfluoridierungsanlage in Betrieb (Gülzow, 1995).

Eine Kariesreduktion von 60% ist ohne größere Mitarbeit des Patienten durch die Fluoridzufuhr möglich (Gülzow, 1995). Dabei wird die Abnahme der Karies durch die präeruptive Fluoridwirkung und posteruptive Fluoridwirkung bestimmt. Fissuren und

Grübchen erlangen mit der präeruptiven Phase ihren eigentlichen Kariesschutz, die Glattflächen erst mit der posteruptiven Phase (Gülzow, 1995).

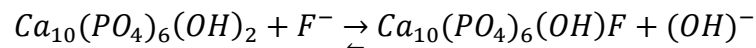
1.3.2 Fluoridanwendungen

In der Prophylaxe werden häufig ionisch gebundene Fluoride wie Natriumfluorid, Zinnfluorid und Aminfluorid verwendet, aber auch kovalent gebundene Fluoride wie Natriummonofluorophosphat und Monofluorophosphat, Fluor-Silan und Hexafluorsilikate sind im Gebrauch (Laurisch, 2000; Borutta et al., 2011). Eine Unterteilung findet zwischen der systemischen bzw. internen Fluoridapplikation und der lokalen Fluoridgabe statt. Bei der systemischen Anwendung werden fluoridiertes Trinkwasser, fluoridiertes Speisesalz, fluoridierte Milch und Fluoridtabletten eingesetzt. Die systemische Anwendung dieser Mineralien hat besonders in der Phase der Bildung und Entwicklung der Zahnkrone und bis zum Zahndurchbruch Bedeutung. Ab dem Zahndurchbruch rückt die lokale Fluoridzufuhr in den Vordergrund (Regolati, 1969; Gülzow, 1995). Zur lokalen Fluoridapplikation werden Zahnpasten, Lösungen, Gele und Lacke verwendet. Nicht an allen Zahnflächen ist der kariespräventive Schutz konstant hoch. Gerade das Fissuren- und Grübchensystem erfährt nur eine geringe Wirkung durch lokal angewendete Fluoridierungsmittel (Hellwig, 2007). Zwischen beiden Formen der Anwendung findet keine absolute Trennung im eigentlichen Sinne statt, denn mit jeder systemischen Fluoridaufnahme über die Mundhöhle werden Fluoride lokal freigesetzt und umgekehrt wird ein Teil der lokal aufgetragenen Fluoride verschluckt (Gülzow, 1995).

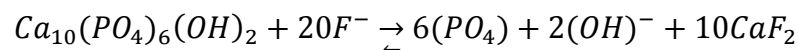
1.3.3 Wirkungsmechanismen der Fluoride

Gerade die lokale Anwendung von Fluoriden ist für den Kariesrückgang in den Industrieländern verantwortlich, denn erst der direkte Kontakt der Fluoride mit der Zahnhartsubstanz bewirkt den Schutz vor Karies (Lussi und Schaffner, 2010; Zwiauer, 2011). Fluoride hemmen die bakterielle Besiedlung der Zahnoberfläche, den bakteriellen Stoffwechsel und die Plaqueanlagerung. Des Weiteren vermindern lokale Fluoride die Säurebildung aus vergärenden Kohlenhydraten aufgrund der antiglykolytischen Wirkung, erhöhen die Säureresistenz und beschleunigen die Remineralisation des Schmelzes (Hellwege, 2003; Zwiauer, 2011). Systemisch

angewandte Fluoride vermindern die Demineralisation, erhöhen die chemische Widerstandsfähigkeit des Zahnschmelzes, steigern den Fluoridgehalt im Speichel und unterstützen die lokale Fluoridwirkung (Laurisch, 2000; Zwiauer, 2011). Jede Fluoridanwendung wirkt in unterschiedlicher Effizienz (Laurisch, 2000). Bei Fluoridkonzentrationen unter 75 ppm wird das Fluoridion direkt in das Kristallgitter des Hydroxylapatits durch Diffusion in den Schmelz eingebaut. Dabei werden die endständigen Hydroxylgruppen durch die Fluoridionen ersetzt und es entsteht Fluorapatit (Gülzow, 1995).



Bei einem Fluoridgehalt über 100 ppm löst sich die äußerste Schmelzschicht durch die sauren Fluoridverbindungen auf. Kalziumionen werden freigesetzt, die zusammen mit den Fluoridionen einen Niederschlag auf dem Schmelz bilden, der sich in Porositäten des Schmelzes einlagert (Gülzow, 1995).



Fluoride besitzen eine höhere Affinität zum demineralisierten Schmelz als zum gesunden Schmelz. Ohne die Demineralisation ist das Fluoridion nicht in der Lage Fluorapatit zu bilden (Laurisch, 2000).

1.4 Fissurenversiegler

1.4.1 Wirkung der Fissurenversiegelung

Die Fissurenversiegelung ist eine präventive Maßnahme zum Schutz vor bakterieller Kolonisation und Formierung der Plaque. Ziel ist es, den Eingang der Fissuren und Grübchen, besonders der bleibenden Molaren, aber auch der Prämolaren, zu verschließen (Hellwig, 2007), um die Kariesinitiation an den Prädilektionsstellen zu verhindern bzw. den initialkariösen Prozess zu stoppen (Goddon et al., 2007).

Kariogene Noxen, wie Mikroorganismen, Zellreste, Plaqueablagerungen und Speisereste, verlieren mit der Applikation einer Fissurenversiegelung ihren natürlichen Retentionsweg. Gleichzeitig gehen mit dem Abschluss der Substratzufuhr verbliebene Bakterien zugrunde (Kramer et al., 1993; Lupi-Pégurier et al., 2004; Youssef et al., 2006). Solange die Fissurenversiegelung intakt ist, kann mit der Zeit ein progressiver

Abfall der Bakterienzahl beobachtet werden (Jensen und Handelman, 1980). Es kommt zur Herabsetzung des Infektionsniveaus in der Mundhöhle aufgrund der Eliminierung der bakteriellen „Brutstätten“ (Kaiser, 2003). Folglich stärkt sich die Abwehrlage des Wirtes. Die Fissurenversiegelung ist keine isolierte einmalige Prophylaxemaßnahme, sondern stellt einen Bestandteil des systematischen Betreuungskonzeptes dar, der einer regelmäßigen Kontrolle bedarf, um den Ausschluss von der Fissurenkaries zu garantieren (Kühnisch et al., 2010; Staehle, 1994). Dabei sollte die erste Nachkontrolle nach ein bis drei Monaten erfolgen, alle weiteren Untersuchungen in sechsmonatigen Abständen (Irmisch et al., 1997; Weber, 2003), da der Verlust der Fissurenversiegelung bereits in den ersten drei Jahren bei 20% bis 30% liegt (Kühnisch et al., 2010).

Aufgrund der Morphologie von Fissuren und Grübchen ist die frühe Kariesdiagnostik für den Behandler eine schwierige Aufgabe und kann mit konventionellen Methoden zu falschen Ergebnissen führen. Ein okklusaler Kariesangriff findet meist zwischen dem siebenten bis neunten Lebensjahr statt (Vehkalahti et al., 1991). Die Karies als multifaktorielle Erkrankung kann durch Fluoridierungsmaßnahmen allein nur begrenzt beeinflusst werden, da die Fissurenplaque für die Fluoride eine Diffusionsbarriere bildet (Hellwig, 2007). Laut einer Studie sind bei achtjährigen Kindern 96% aller kariösen Läsionen auf den ersten Molaren zu finden, davon sind 61% in Fissuren und 17% in Grübchen lokalisiert (Kühnisch et al., 2010).

Für den Erfolg der Fissurenversiegelung spricht eine Vielzahl von wissenschaftlichen Nachforschungen. In einer dieser Studien konnte nach einem Jahr bei 86,3% der fissurenbehandelten Zähne keine Karies festgestellt werden (Cueto und Buonocore, 1967). Die Versiegelung von Molaren konnte bei Kindern zwischen den fünften bis zehnten Lebensjahr nach viereinhalb Jahren einen Kariesangriff bis zu 50% verhindern (Ahovuo-Saloranta et al., 2008).

1.4.2 Fissurenversieglermaterialien

Die Fissurenversiegler werden nach der Art der Polymerisation (lichthärtend oder autopolymerisierend), nach der Färbung, den Fluoridzusätzen und ihrer Basiswerkstoffe unterteilt (Kramer, 2009).

Als Materialien dienen heute Kunststoffe auf UEDMA-Basis oder auf Bis-GMA-Basis unter Einsatz der Säure-Ätz-Technik. Diese Monomere sind ungefüllt oder besitzen einen geringen anorganischen Füllstoffanteil (Hellwig, 2007).

Kompomere sind schon mehrfach als Material für die Fissurenversiegelung beschrieben worden, allerdings finden sie wenig Verwendung als präventives Mittel. Zum einen durch ihr geringes Retentionsverhalten, bei meist fehlender Säurekonditionierung und zum anderen durch die mittlere Überlebenszeit von durchschnittlich 1,65 Jahren im Vergleich zur Überlebenszeit der Bis-GMA basierten Fissurenversiegler von durchschnittlich 3,75 Jahren (Zimmer et al., 2009).

Glasionomerzemente kommen besonders durch ihre hohe Fluoridabgabe bei Kindern mit einem hohen Kariesrisiko als Fissurenversiegler zur Anwendung (Beirut et al., 2006; Herle et al., 2004). Das größte Maß an Fluoridabgaben wird in den ersten 24 Stunden nach dem Auftragen erreicht. Anschließend sinkt die Abgabe stetig, bis diese am 21. Tag vollständig beendet ist (Bayrak et al., 2010). Der kariesprotektive Effekt von stark viskösen Glasionomerzementen ist nach drei bis fünf Jahren zwischen 3,1- bis 405-mal höher als der des kompositbasierten Fissurenversieglers (Beirut et al., 2006). Über die antikariogene Wirkung bei einem möglichen Teilverlust der Fissurenversiegelung wird noch diskutiert (Staehele, 1994). Das Risiko der Verluste der Glasionomerzemente durch die geringere Schmelzhaftung ist größer als bei den Kunststoffen, da hier auf die Säureätztechnik verzichtet wird (Kramer, 2009). Trotz der geringen Retention, der niedrigen Haftung, der geringen Festigkeit und den hohen Verlustraten ähnelt die Kariesinhibition der Glasionomerzemente der Karieshemmung der Kunststoffversiegler. Nach einer längeren Liegedauer zeigen die Kunststoffe ein besseres Retentionsverhalten (Bürkle und Hickel, 2003). Bereits nach zwei Jahren sind 80% der Glasionomerzementversiegelungen als defekt einzustufen (Kühnisch et al., 2010). Aufgrund der höheren Viskosität der Glasionomerzemente ist im Falle einer verengten Fissur die vollständige Applikation bis zum Fundus der Fissur meist nicht möglich (Hellwig, 2007). Einige Autoren sehen nicht in der Penetrationstiefe den entscheidenden Faktor, sondern in der Interaktion der Fissurenversiegelung mit den Fissurenwänden, um die Substratzufuhr zu unterbinden und ein Überleben der Mikroorganismen unmöglich zu machen (Kersten et al., 2000; Schwenzer, 1985). Glasionomerzemente haben ihren Vorteil in Bereichen minimaler Isolation und sind deshalb eine Alternative mit geringeren physikalischen Möglichkeiten (Herle et al., 2004).

Lichthärtende Versiegler haben einen variablen Polymerisationszeitpunkt. Ein Anmischen wie bei den Autopolymerisaten ist nicht nötig. Damit kann einer Blasenbildung entgegengewirkt werden. Die Methode der Lichthärtung ist weniger

verarbeitungssensitiv und mit einer zunehmenden Liegedauer ist ihr Retentionsverhalten günstiger (Hellwig, 2007). Eine Studie untersuchte die lighthärtenden Fissurenversiegler auf ihre Substanzabgabe an das orale Milieu. Dabei wurden Substanzen frei, die zytotoxische Effekte erzeugen können. Es wurden beachtliche Größen von Comonomeren, unter anderem das klassische Comonomer TEGDMA abgegeben. Ebenfalls konnte ein Zellwachstum, beispielsweise der Fibroblasten, bis zu 78% beobachtet werden (Geurtsen et al., 1999).

Niedrigvisköse Kunststoffe sind weniger verschleißfest, haben aber den Vorteil, dass sie wesentlich fließfähiger sind als die hochviskösen Vertreter. Doch ein Ausfließen bis zum Fundus der Fissur wurde nur bei 72% bis 92% der niedrig viskösen Fissurenversiegelungen festgestellt (Braun et al., 2002). Okklusale Interferenzen durch ein überschüssiges Auftragen kommen bei den ungefüllten Versiegler häufiger vor, da das Material weiter nach distal fließt, so dass die Fissurenversieglerdicke auf der distal-okklusalen Fläche stärker ist (Dennison et al., 1990; Kühnisch et al., 2010). Hochvisköse Versiegler bilden mehr Hohlraumformationen zwischen den Fissurenwänden und dem Versiegler aus und weniger im Material selbst. Doch durch ihre Füllstoffe haben sie eine höhere Dichte, somit sind sie abrasionsfester (Barnes et al., 2000). Aus diesem Grund wird von einigen Autoren eine Materialkombination gefordert, die aus einer Schicht mit einem fließfähigen niedrigviskösen Versiegler und aus einer zweiten zur Zahnoberfläche zeigenden Schicht mit einem weniger fließfesten, aber abrasionsfesten Material besteht (Stahle, 1994).

Eines der Hauptprobleme der Behandlung von Fissuren und Grübchen ist die effektive Bindung zwischen dem Fissurenversiegler und der Schmelzoberfläche, unter anderem bedingt durch den engen Fissureneingang, Speise- und Bakterienreste, die eine Adhäsion am Schmelz schwierig machen. Dadurch kann es zur sogenannten Mikroleakage kommen (Marshall et al., 1975; Asselin et al., 2008). Die kunststoffbasierten Fissurenversiegler zeigten im Vergleich zu den Glas-ionomerzementen weniger Mikroleakage (Theodoridou-Pahini et al., 1996; do Rego und Araujo, 1999). Einige Autoren sehen auch den thermalen Expansionskoeffizienten, welcher bei den Fissurenversiegler größer ist als bei dem Zahn, ursächlich für die Durchlässigkeit (Khanal et al., 2010). Einen weiteren kritischen Aspekt im Prozess der Fissurenversiegelung bildet die Trockenlegung der Okklusalfäche. Der effektive Schutz vor einer Speichelkontamination und vor der Kontamination mit der feuchten Atemluft stellt bei relativer Trockenlegung mit Watterollen ein Problem dar. Die intakte Bindung

zwischen der Fissurenwand und dem Fissurenversiegler kann dadurch nicht in allen Fällen gewährleistet werden. Einige Autoren gehen sogar davon aus, dass der Schlüssel einer guten Fissurenversiegelung in dem Optimum an Isolation liegt (Topaloglu und Alpoz, 2010). Die Verwendung des Kofferdams ist das sicherste Verfahren (Johnson et al., 1997), wenngleich dieser einigen Autoren zufolge nicht zwingend nötig ist (Buonocore, 1970). In einer Studie konnten zwischen der absoluten und der relativen Trockenlegung direkt nach der Fissurenversiegelung keine signifikanten Unterschiede beobachtet werden. Aber bereits einen Jahr später zeigten sich unter 2% der Fissurenversiegelungen mit relativer Trockenlegung Kariesstellen (Ganß et al., 1992).

Niedrigvisköse, eingefärbte, lichtpolymerisierende Kunststoffversiegler sollten nach Angaben vieler Autoren das Mittel der Wahl sein. Ausgehend von dem zu erwartenden präventiven Lokaleffekt der den Fissurenversiegelungen zugesetzten Fluoride ergibt sich die Forderung einer generellen Verwendung von fluoridfreisetzenden Kunststoffversiegler bei der Prävention von Fissurenkaries (Biedermann et al., 1997).

1.5 Mikroleakage

1.5.1 Definition Mikroleakage

Die Mikrodurchlässigkeit (Mikroleakage) kann als Zugang der oralen Fluide in den Bereich zwischen der Zahnschicht und den restaurativen Materialien definiert werden (Trowbridge, 1987). Durch das Mikroleakage binden dentale Materialien nicht vollständig an die Zahnhartsubstanz, um eine perfekte Versiegelung zu erzielen. Die daraus resultierenden Fehler beschreiben einen Pfad für die Penetration von gelösten und flüssigen Stoffen (Trowbridge, 1987; Verma et al., 2011).

Das Mikroleakage wird im Allgemeinen durch die Bindungsfehler der Schmelz-Fissurenversiegler-Schicht bestimmt und mit Hilfe der Farbstoffpenetration aufgedeckt (Celiberti und Lussi, 2005). Diese Fehler entstehen aufgrund der Polymerisations-schrumpfung oder den unterschiedlichen linearen Koeffizienten der thermalen Expansion der Zahnhartsubstanz und dem Kunststoffmaterial. Mikroleakage ist ein multifaktorielles Geschehen und gründet sich nicht nur auf technische Fehler, sondern auch auf die Feuchtigkeitskontamination (Celiberti und Lussi, 2005).

1.5.2 Randspaltbildung und deren Einflussfaktoren

Die Reaktion, die zur Aushärtung eines Komposites führt, bezeichnet man als radikalische Polymerisation von Methacrylatgruppen (Kappert und Eichner, 2008). Dabei verringert sich der molekulare Abstand innerhalb der Makromolekularketten der Kompositmatrix (Körber und Ludwig, 1993). Die Polymerisationsschrumpfung begünstigt die Randspaltbildung durch die Volumenverringering des Versieglerkunststoffes. Daraufhin entstehen Kapillarkräfte, die es dem Speichel und insbesondere den Bakterien ermöglichen, zwischen dem Werkstoff und der Zahnhartsubstanz zu gelangen und Karies entstehen zu lassen (Viohl et al., 1986). Als Folge der Haftung des Kunststoffes am Schmelz kommt es zu Zugspannungen, auch Kontraktionsspannungen genannt. Im weiteren Verlauf kann man Rissbildungen und Randdefekte des Fissurenversiegler beobachten. Dabei kommt es durch die Materialschrumpfung, die je nach Fissurenversiegler zwischen 4 bis 9 Vol% liegt, zum Ablösen des Kunststoffes von den Fissurenwänden und vom Fissurenboden. Einen Teil der Spannungen kann durch die Elastizität des Zahnes mit seiner Deformation ausgeglichen werden (Kappert und Eichner, 2008). Die Gefahr einer Randspaltbildung wird umso geringer, je größer der an der freien Oberfläche kompensierte Anteil der Kontraktion ist (Marxkors et al., 2008). Die Polymerisationsschrumpfung ist umso kleiner, je höher die verwendeten Monomermolmassen und der Füllstoffgehalt sind. Das Schrumpfungsverhalten bei kleineren Monomeren, wie das TEGMA, ist höher als bei größeren Monomermolekülen, wie das Bis-GMA. Durch die zusätzliche Gabe von Füllstoffen kann die Schrumpfung auf 1 bis 5 Vol% reduziert werden. Da die Füllkörpermenge jedoch die Viskosität beeinträchtigt, kann diese nicht unbegrenzt erhöht werden (Kappert und Eichner, 2008). Werkstoffe mit einer hohen Viskosität erbrachten in Studien wesentlich bessere Bindungsstärken als restaurative Materialien mit einer nur geringen Viskosität (Perdigão et al., 2000). Eine Erhöhung des Füllstoffgehaltes vergrößert den Elastizitätsmodul, so dass der positive Einfluss auf die Kontraktionsspannung weitestgehend kompensiert wird (Viohl et al., 1986). Materialien mit einem hohen Elastizitätsmodul, wie Feinhybridkomposite, weisen somit eine stärkere Schrumpfungsspannung auf als Materialien mit einem geringeren Elastizitätsmodul, wie Mikrofüllerkomposite (Kappert und Eichner, 2008). Der Elastizitätsmodul erfährt auch bei einer Verzögerung der Polymerisation einen späteren Anstieg. Gerade bei der chemisch induzierten Aushärtung, wie es bei Delton[®]FS+opak (Dentsply Detrey, Konstanz, D) der Fall ist, kommt es zu einer langsameren

Radikalbildung und damit zu weniger Schrumpfungsspannungen (Kappert und Eichner, 2008). Der Nachteil bei den Autopolymerisaten liegt in der vermehrten Bildung von Luftbläschen, die zu mehr internen freien Kompositflächen führen. Neben dem Elastizitätsmodul wirken auch der Konfigurationsfaktor, die Polymerisationsgeschwindigkeit und die Verbundschicht auf die Schrumpfungsspannung. Der Konfigurationsfaktor, auch C-Faktor genannt, bezeichnet das Verhältnis von der gebundenen zur freien Kunststofffläche (Kappert und Eichner, 2008). Die Kontraktionsspannungen sind umso größer, je mehr gebundene Fläche die Fissurenversiegelung aufweist. Da die Versiegelung nur auf den Schmelz begrenzt ist, ist der C-Faktor gering, was zu erhöhten Schrumpfungsspannungen führt. Eine Reduzierung der Spannungen durch eine Schichttechnik erscheint bei der Fissurenversiegelung wenig praktikabel (Kappert und Eichner, 2008). Lichthärtende Materialien haben in zwei bis fünf Millimeter dünnen Schichten einen höheren Polymerisationsgrad und einen geringeren Restmonomergehalt. Folglich härten diese Komposite besser aus als autopolymerisierende Vertreter (Marxkors et al., 2008). Auch können die Kontraktionsspannungen bei der Verwendung von Adhäsivsystemen durch eine flexiblere Verbundschicht, der sogenannten Hybridschicht, teilweise ausgeglichen werden (Kappert und Eichner, 2008). Eine weitere Möglichkeit der Polymerisationsschrumpfung entgegenzuwirken, ist die Erhöhung der Wasseraufnahme des Kunststoffes und der dadurch bedingten Expansion des Materials (Kappert und Eichner, 2008). Die hygroskopische Expansion ist die Ausdehnung eines Komposites durch die Wasseraufnahme. Die intermolekularen Abstände vergrößern sich. Es kommt zu einer Reorganisation der Polymerketten und zum Abbau der polymerisationsbedingten inneren Spannungen, was als Weichmachereffekt des Wassers bezeichnet wird (Kappert und Eichner, 2008). Stark quellende Komposite sind jedoch zu anfällig für Spaltbildungen. Durch die Aufnahme von Wasserstoffionen kann es zu Schwachstellen im Füller-Matrix-Kontaktbereich kommen, was die Festigkeit des Materials negativ beeinflussen würde. Aus diesem Grund muss auf diese Materialeigenschaft verzichtet werden. Deshalb liegt die tatsächliche Expansion bei ca. 0,5 Vol% (Marxkors und Meiners, 2001; Kappert und Eichner, 2008). Auch durch die starken Temperaturschwankungen in der Mundhöhle zwischen 0°C bis 55°C, die der Nahrungsaufnahme geschuldet sind, kommt es zu unterschiedlichen Ausdehnungsverhalten zwischen dem Zahn und dem Versieglerkunststoff. Dieser Sachverhalt wird in der Literatur als thermischer Ausdehnungskoeffizient beschrieben (Kappert und

Eichner, 2008). Der Ausdehnungskoeffizient für den Schmelz wird mit $17 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ angegeben, der Ausdehnungskoeffizient von Kompositen liegt bei 80 bis $100 \cdot 10^{-6}/\text{K}$ (Kappert und Eichner, 2008). Die Spannungen durch die verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten treten zum einen innerhalb des Materials zwischen Füllkörper und der Matrix auf, zum anderen im Kontaktbereich des Kunststoffes mit der Zahnhartsubstanz. Überschreiten diese Spannungen die Adhäsion an den Schmelzwänden, kommt es zur Spaltbildung (Kappert und Eichner, 2008). Im entstandenen Spalt werden mit Hilfe des Speichels Mikroorganismen hineingepumpt und es kommt zur Rekolonisation (Bastling, 1987; Hellwig, 2007). Einige Autoren waren in ihren Untersuchungen bestrebt, einen Zusammenhang zwischen den Fissurenmorphologien und der Mikrodurchlässigkeit nachzuweisen. Studien dazu konnten aber keine eindeutigen Beweise liefern (Celiberti und Lussi, 2005).

Neben all diesen Erscheinungen führen aber auch Alterungsprozesse zu Fehlstellen und Defekten in der Fissurenversiegelung. Besonders die mechanisch bedingten, stark wechselnden Dauerbelastungen führen zum Versagen der Polymatrix und der Grenze zwischen dem Füllkörper und der Matrix. Temperaturerhöhungen können zudem eine Depolymerisation verursachen. Bei den chemisch bedingten Alterungsprozessen kommt es durch verschiedene Einwirkung, beispielsweise von Fetten oder von organischen Lösungsmitteln, zur Spannungsrisskorrosion (Eichner und Kappert, 2000).

1.6 Physikalische Vorgänge bei der Fissurenversiegelung

1.6.1 Adhäsion

Als Adhäsion wird das Aneinanderhaften zweier unterschiedlicher Substanzen bezeichnet, die in engen Kontakt gebracht werden. Die Grundlage dafür bildet die Anziehung zwischen Molekülen einer Oberfläche. Die Stärke der Adhäsion wird von der Anzahl der Haftungspunkte pro Flächeneinheit und der Größe der Anziehung an diesen Punkten bestimmt. Die Oberflächen dieser Substanzen passen auf atomarer Ebene nie vollkommen zusammen, es entstehen immer nur punktuelle Kontakte (Harms, 2010; Kappert und Eichner, 2008). Um viele Kontaktflächen zu schaffen, sollten Substanzen auf einer möglichst rauen Oberfläche zum Einsatz kommen, die eine gute Benetzbarkeit und eine geringe Viskosität aufweisen. Um eine gute Adhäsion nicht

zu behindern, müssen das Pellikel und die durch mechanische Bearbeitung entstandene Schmierschicht entfernt werden (Kappert und Eichner, 2008).

1.6.2 Physikalische Vorgänge bei der Penetration von Flüssigkeiten in kapillarähnlichen Strukturen

Der Erfolg einer Fissurenversiegelung begründet sich auf verschiedenen Eigenschaften. Ein maßgeblicher Faktor neben der Abdichtung zur Mundhöhle ist die Penetrationstiefe (Kersten et al., 2000). Die Penetration von Flüssigkeiten in Fissuren, welche mit Kapillaren vergleichbar sind, wird unter anderem durch die Viskosität, die Oberflächen-spannung und den Kontaktwinkel beeinflusst (Stroppe et al., 2003). Um ein besseres Verständnis für die physikalischen Vorgänge bei der Penetration von Fissurenversiegeln in die Zahnhartsubstanz zu gewinnen, sollen einige Begriffe der Grenzflächenphysik genauer betrachtet werden.

1.6.3 Grenzflächenerscheinungen

Als Grenzfläche spielt hier die Phasengrenze flüssig-fest eine Rolle. Es herrschen zwischenmolekulare Kräfte, die sogenannte Kohäsion und die Adhäsion. Die Kohäsion ist die Anziehungskraft, die zwischen Molekülen einer Phase besteht. Dagegen tritt die Adhäsion an Grenzflächen verschiedener Phasen auf, also an andersartigen Molekülen. Die Ursache für die Benetzung des Zahnschmelzes ist die Adhäsion (Stroppe et al., 2003).

1.6.4 Oberflächenspannung

Die Kohäsionskräfte zwischen den Flüssigkeitsmolekülen führen zu charakteristischen Erscheinungen an der Flüssigkeitsoberfläche und an den Berührungsflächen anderer Medien (Seibt, 2003). Ein Molekül, welches an einer Phasengrenze lokalisiert ist, befindet sich in einem anderen energetischen Zustand als die Moleküle im Inneren der Phase (Wadewitz, 1999). Im Flüssigkeitsinneren ist die Energieverteilung isotrop, d.h. richtungsunabhängig, da sich allseitig die gleichen Moleküle umgeben. Teilchen, die sich an der Oberfläche von Flüssigkeiten befinden, fehlt eine nach außen gerichtete Anziehungskraft (Stroppe et al., 2003), sie haben nur halb so viele Nachbarn wie im

Inneren. Aus diesem Grund muss Energie zugeführt werden, um ein Molekül aus dem Inneren an die Oberfläche zu bringen, dabei wird die Oberfläche vergrößert und Arbeit gegen die Kräfte der Kohäsion verrichtet (Seibt, 2003).

Die Oberflächenenergie (ε) ist definiert als die benötigte Arbeit zur Vergrößerung der Oberfläche um eine Flächeneinheit (Stroppe et al., 2003). Jedes System ist bestrebt den stabilsten Gleichgewichtszustand der kleinsten potentiellen Energie einzunehmen. Dabei bildet die Kugel die minimalste Fläche. An den Begrenzungslinien greifen die Kräfte stets tangential zur Oberfläche an und richten sich ins Innere der Oberfläche (Stroppe et al., 2003). Die Oberflächenspannung (σ) ist die Kraft, welche tangential zur Oberfläche pro Längeneinheit angreift. Sie versucht die Oberfläche zu verkleinern (Seibt, 2003). Die Oberflächenspannung ist temperaturabhängig. Steigende Temperaturen führen zu einer wachsenden kinetischen Energie der Flüssigkeitsteilchen. Deshalb nimmt die spezifische Oberflächenenergie, die zusätzlich zugeführt werden muss, um die Teilchen an die Oberfläche zu bringen, ab (Seibt, 2003).

1.6.5 Randwinkel

Zwischen einem Festkörper und einer Flüssigkeit kommt es immer dann zu einer vollkommenen Benetzung, wenn die Adhäsion zwischen den verschiedenartigen Molekülen größer ist als die Kohäsion (Stroppe et al., 2003). Sollten die Kräfte der Kohäsion die Kräfte der Adhäsion übersteigen, spricht man von einer unvollkommenen Benetzung bzw. einer Nichtbenetzung (Stroppe et al., 2003). In der Nähe der festen Grenzfläche wird die freie Oberfläche der Flüssigkeit gekrümmt, da die Flüssigkeitsoberfläche sich senkrecht zur Vektorsumme aus Kohäsionskraft und Adhäsionskraft einstellt. An den verschiedenen Phasengrenzen bildet sich im Gleichgewichtszustand ein Randwinkel (φ), auch Kontaktwinkel genannt, an der Grenzfläche des Festkörpers mit der Tangentialebene aus. Bei einem spitzen Randwinkel geht man von einem benetzenden System aus. Ist der Randwinkel stumpf, handelt es sich um ein nicht benetzendes System. So stellt der Randwinkel ein Maß für die Benetzbarkeit der Oberfläche dar. Bei einer vollständigen Benetzung beträgt der Randwinkel $\varphi = 0$ (Haas, 2002). Je größer der Randwinkel desto schlechter ist die Benetzung.

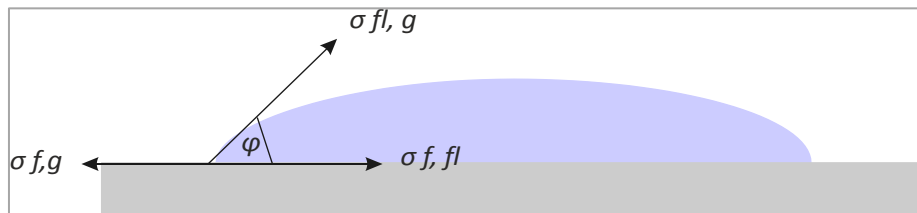


Abb. 3: Benetzung und Randwinkel (modifiziert nach Haas, 2002; Stroppe et al., 2003)

1.6.6 Kapillarwirkung benetzender Flüssigkeiten

Besonders deutlich tritt die Oberflächenspannung in engen Röhren in Erscheinung. Dabei stellen die engen Fissuren kapillarähnliche Strukturen dar. Benetzende Flüssigkeiten steigen durch ihren Kohäsionsdruck in den Kapillaren bis zu einer bestimmten Höhe, auch Steighöhe genannt. Die Oberfläche der Flüssigkeit ist nach unten gewölbt, wodurch ein konkaver Meniskus entsteht. Man spricht dann von der kapillaren Hebung oder Aszension. Die Kapillaraszension ist dabei die Ursache des Aufstiegens von Flüssigkeiten in allen porösen Körpern, wie z.B. den Zahnschmelz (Stroppe et al., 2003). Die Steighöhe ist in dünnen Kapillaren höher als in dickeren. Die Flüssigkeit wird die Kapillarwand hoch wandern, bis der Kohäsionsdruck durch den entgegengesetzt wirkenden Schweredruck entsprechend der Steighöhe (h) ausgeglichen ist (Haas, 2002).

1.6.7 Viskosität

Die Ätzmittel und auch die Fissurenversiegler sind reale Flüssigkeiten (Stroppe et al., 2003). Zwischen ihren einzelnen Fluidschichten herrschen innere Reibungskräfte. Diese zwischenmolekularen Wechselwirkungskräfte beruhen auf der Viskosität (Zähigkeit) der Flüssigkeiten. Gerade bei dickflüssigen Stoffen, wie Fissurenversiegler, ist die innere Reibung besonders groß (Stroppe et al., 2003).

Die Viskosität stellt das Maß für die innere Reibung einer realen Flüssigkeit oder eines Gases dar. Um Fluide in Bewegung zu versetzen, wird ein ständig treibendes Druckgefälle benötigt, dem sich die Flüssigkeit entgegensetzt. Dabei wird Volumenarbeit in Reibungswärme überführt (Harten, 2007).

Besonders in Röhren und Kapillaren nimmt die laminare Strömung eine zentrale Rolle ein. Für ein besseres Verständnis stelle man sich zwei Platten vor, zwischen denen sich

eine Flüssigkeitsschicht befindet und die langsam tangential zueinander bewegt werden. Bei den realen Flüssigkeiten haften die äußersten Schichten durch die Adhäsionskräfte an den Platten, sie werden als Grenzschicht bezeichnet. Infolge der zwischenmolekularen Kräfte, der inneren Reibung, werden die unteren Flüssigkeitsschichten gleichgerichtet bewegt (Stroppe et al., 2003).

Um die Bewegung der Platten aufrecht zu erhalten, wird Kraft benötigt. Dabei stellt die Reibkraft (F_R) den Bewegungswiderstand der Flüssigkeit dar. Dabei ist η eine Stoffkonstante, die als dynamische Viskosität bezeichnet wird. Je größer diese ist, desto zähflüssiger, also weniger fließfähig ist die Flüssigkeit. Der Kehrwert von η wird als Fluidität bezeichnet (Stroppe et al., 2003). Die Viskosität als Materialkenngröße unterliegt der Temperaturabhängigkeit (Harten, 2007). Dabei nimmt die Viskosität für Flüssigkeiten bei steigender Temperatur ab (Haas, 2002). Bei der laminaren Durchströmung durch ein Rohr findet das Hagen-Poiseuille-Gesetz Anwendung (Stroppe et al., 2003).

$$I = \frac{V}{t} = \frac{\pi r^4 (p_2 - p_1)}{8 \eta l}$$

I: Volumenstärke

$p_1 - p_2$: Druckdifferenz einer Flüssigkeit

η : Viskosität

l: Kapillarlänge

r: Kapillarradius

Aus dieser Gleichung ergeben sich folgende Abhängigkeiten: Je größer die Viskosität und je länger die Kapillare ist, desto kleiner wird die durchströmende Flüssigkeitsmenge. Je größer die Druckdifferenz innerhalb der Kapillare und je größer der Kapillarradius, desto größer ist die Flüssigkeitsmenge (Seibt, 2003). Aus diesen Herleitungen gelangt man zu der Erkenntnis, dass bei hochviskosen Fissurenversiegeln ein vollständiges Ausfließen in enge, spaltförmige Fissuren nicht immer erzielt werden kann (Becker et al., 1994; Irinoda et al., 2000). Weniger verzweigte und weitere Fissuren lassen sich besser vollständig versiegeln als schmale und enge Fissuren (Grewal und Chopra, 2008). In einer anderen Studie konnten hochvisköse Ätzmittel, aber auch niedrigvisköse Ätzmittel, nicht immer bis unterhalb der Fissurenöffnung

penetrieren. Oft scheinen Lufteinschlüsse ein Hindernis darzustellen. Deshalb kamen die Autoren zu dem Ergebnis, dass zwar niedrige Viskositäten schneller penetrieren, aber nicht die Zähigkeit der Schlüssel der Penetration ist, sondern die Benetzung den signifikanten Faktor darstellt (Bottenberg et al., 1996). Die Viskosität nimmt bei einer Flüssigkeit mit steigender Temperatur stark ab, auch Verunreinigungen können diese beeinflussen (Ehrhardt, 2008). Um das Penetrationsverhalten einer Flüssigkeit günstig zu beeinflussen, sollte die Flüssigkeit eine geringere Viskosität, einen möglichst kleinen Kontaktwinkel und im Fall des Fissurenversiegler wenig Füllstoffanteile besitzen (Paris, 2005).

2 Zielstellung

Das Ziel dieser In-vitro Studie war es, fünf Fissurenversieglermaterialien, davon Ultraseal XT[®] plus, Conseal f, Diaseal und Smartseal[®] opaque als lichthärtende Kunststoffe und Delton[®] FS+opak als selbsthärtender Vertreter, auf ihre Dichtigkeit mit und ohne Speichelkontamination und nach künstlicher Alterung zu bestimmen. Zusätzlich wurde die Effektivität von zwei Reinigungsmethoden des Fissurensystems, wie die Reinigung mit der Bürste und der Prophylaxepaste Klint und die Reinigung mit dem Prophyflex[®] Pulverstrahlgerät, genauer untersucht. Dabei ergaben sich folgende Fragestellungen:

- Sind aktuelle Fissurenversiegler in der Lage über einen langen Zeitraum die Fissuren vor der Karies zu schützen bzw. einen vollständigen Abschluss der Fissur zum oralen Milieu zu gewährleisten?
- Ist es möglich trotz der Kontamination mit Speichel die Fissuren ohne einen zeitnahen Verlust effektiv zu versiegeln?
- Gelingt die vollständige Reinigung bis zum Fissurenfundus mit der Bürstenreinigung mit Klint bzw. mit Prophyflex[®]?
- Haben die Vorbehandlungen mit Klint oder Prophyflex[®] Einfluss auf eine bessere Fissurenversiegleradaptation?

3 Material und Methode

3.1 Material

3.1.1 Zahnproben

Im Rahmen dieser Untersuchung wurden 400 extrahierte bleibende Molaren des Ober- und Unterkiefers verwendet. Bei der Auswahl der Versuchszähne wurde klinisch und makroskopisch auf die Kariesfreiheit und Unversehrtheit der Molarenoberfläche geachtet. Zähne mit Extraktionsspuren oder Verfärbungen wurden in dieser Studie nicht verwendet. Die noch verbliebenen Gingivasäume wurden mit Handscalern vorsichtig entfernt. Bei den Zahnproben handelte es sich um obere und untere Weisheitszähne, deren Extraktion meist aus prophylaktischer Indikation erfolgte. Es wurden nur Zähne mit einer vollständigen Wurzel Ausbildung in die Versuche einbezogen. Nach ihrer operativen Entfernung und während der gesamten Versuchsdurchführung lagen die Zähne in physiologischer Kochsalzlösung bei Raumtemperaturen von durchschnittlich $19,5^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Die Zeit der Lagerung zwischen der Verarbeitung der Zahnproben und der Versuchsdurchführung betrug sieben bis 14 Tage.

3.1.2 Materialgewinnung

Die Versuchszähne stammten zum einen aus der chirurgischen Ambulanz der Zahnklinik der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg und zum anderen aus verschiedenen allgemein zahnärztlichen und mund-, kiefer-, gesichtschirurgischen Praxen.

3.1.3 Material zur Fissurenreinigung

Eine Hälfte der Versuchszähne wurde mit der Prophylaxepaste Klint gereinigt. Die andere Hälfte wurde der Behandlung mit dem Pulver-Wasser-Strahlgerät Propyflex[®] unterzogen.

Tab. 2: Klint und Prophyflex®

Handelsname (Firma)	Inhaltsstoffe
Klint (Voco GmbH, Cuxhaven, D)	H ₂ O, Tenside, Silikate, Glycerin, Pfefferminzöl, Farbstoff E102
KaVo Prophyflex® 2 2012, 12g Reinigungspulver (KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, D)	Natriumbikarbonat mit Orangengeschmack

3.1.4 Fissurenversiegler

Die Versuchsreihen wurden mit fünf verschiedenen Fissurenversiegler durchgeföhrt, davon gehören die Versieglermaterialien Ultraseal XT® plus, Conseal f, Diaseal und Smartseal® opaque der lighthärtenden Klasse an. Der Fissurenversiegler Delton® FS+ opak ist Vertreter der chemisch härtenden Gruppe.

Die nachfolgenden Zusammensetzungen wurden von den Herstellern übermittelt:

Tab. 3: Fissurenversiegler

Handelsname (Firma)	Inhaltsstoffe (Gew%)
Ultraseal XT® plus (Ultradent Products Inc., USA)	7,6% Diurethan- Dimethacrylat, 16 % Bis-GMA
Conseal f (SDI Inc., USA)	93% Acrylmonomer, 7% ausgl. Zusatzstoffe
Diaseal (DiaDent group international, Korea)	Bisphenol-diglycidylmethacrylate, tumed Silica
Delton® FS+ Fissurenversiegler opak (Dentsply Detrey, Konstanz, D)	Niedrig visköse Monomere, Triethylenglycoldimethacrylat, Bis-GMA, Bariumaluminofluoroborosilikatglas, Titanoxid, Natriumfluorid, Polymerisationsstarter, Stabilisator
Smartseal® opaque (Detax GmbH & Co. KG, Ettlingen, D)	Mischung von Methacrylharzen mit Hilfs- und Füllstoffen

3.1.5 Ätzmittel

Um die Fissurenoberfläche zu konditionieren, wurden fünf verschiedene Ätzgele, den jeweiligen Fissurenversiegler zugehörig, verwendet.

Tab. 4: Ätzgele

Handelsname (Firma)	Inhaltsstoffe (Gew)]
Ultra-Etch [®] (Ultradent Products Inc., USA)	35% Phosphorsäure
Super Etch LV (SDI Inc., USA)	37% Phosphorsäure, 63% ausgleichende Zusatzstoffe
Dia Etch [®] (DiaDent group international, Korea)	37% Phosphorsäure
Delton [®] EZ Etchant Gel (Dentsply Detrey, Konstanz, D)	37% Phosphorsäure, Tensid, Siliciumoxid, Farbstoff
Smartseal [®] Etch (Detax GmbH & Co. KG, Ettlingen, D)	35-40% Phosphorsäure

3.1.6 Lösungen

Während der gesamten Versuchsdurchführung wurden die Zähne und später die Schnitte in einer 0,9%igen Kochsalzlösung (B. Braun Melsungen AG., Melsungen, D) aufbewahrt.

Zusammensetzung:

- 1000g H₂O
- 9g NaCl

Zur Kontamination der Zahnproben mit Salvia wurde der Fusayama-Speichel, der zuvor in der Apotheke der medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg hergestellt wurde, mit folgender Zusammensetzung herangezogen:

1 Liter Lösung enthält im gereinigten Wasser:

- 4g Mucin
- 1g Harnstoff
- 0,6g Calciumchlorid
- 0,6g Dinatriumhydrogenphosphat
- 0,4g Kaliumchlorid
- 0,4g Natriumchlorid
- 0,0016g Natriumsulfid
- 0,0016g Magnesiumpyrophosphat

3.1.7 Hilfsmittel

Um die Schmelzproben in Kunststoffblöcken zu fixieren, wurde für die Schliffeinbettungen der kaltpolymerisierende Kunststoff Technovit 4071 (Heraeus Kulzer GmbH & Co. KG., Hanau, D) verwendet.

Zusammensetzung laut Herstellerangaben:

Technovit 4071 Pulver:

- Zubereitung auf der Basis von Methacrylat-Copolymerisaten
- Dibenzoylperoxid 0% bis 5%
- Dicyclohexylphthalat 0% bis 5%

Technovit 4071 Flüssigkeit:

- Zubereitung auf der Basis von Methacrylaten
- Methylmethacrylat 25% bis 50%
- 1-Dodecanthiol < 1%
- N,N-Dimethyl-p-toluidin < 1%

Zum Schutz der fissurenversieglerfreien Zahnflächen vor der Farbstofflösung wurde der handelsübliche Nagellack Quick dry 60 seconds (Lady Manhattan Cosmetics GmbH, Stuttgart, D) benutzt. Für die Penetrationstestung wurde 1%iges Methylblau (durch die Apotheke der medizinischen Fakultät der Martin-Luther-Universität hergestellt) als Färbemittel verwendet.

3.2 Methode

3.2.1 Versuchsaufbau

Das nachfolgende Schema skizziert den Ablauf der Versuche.

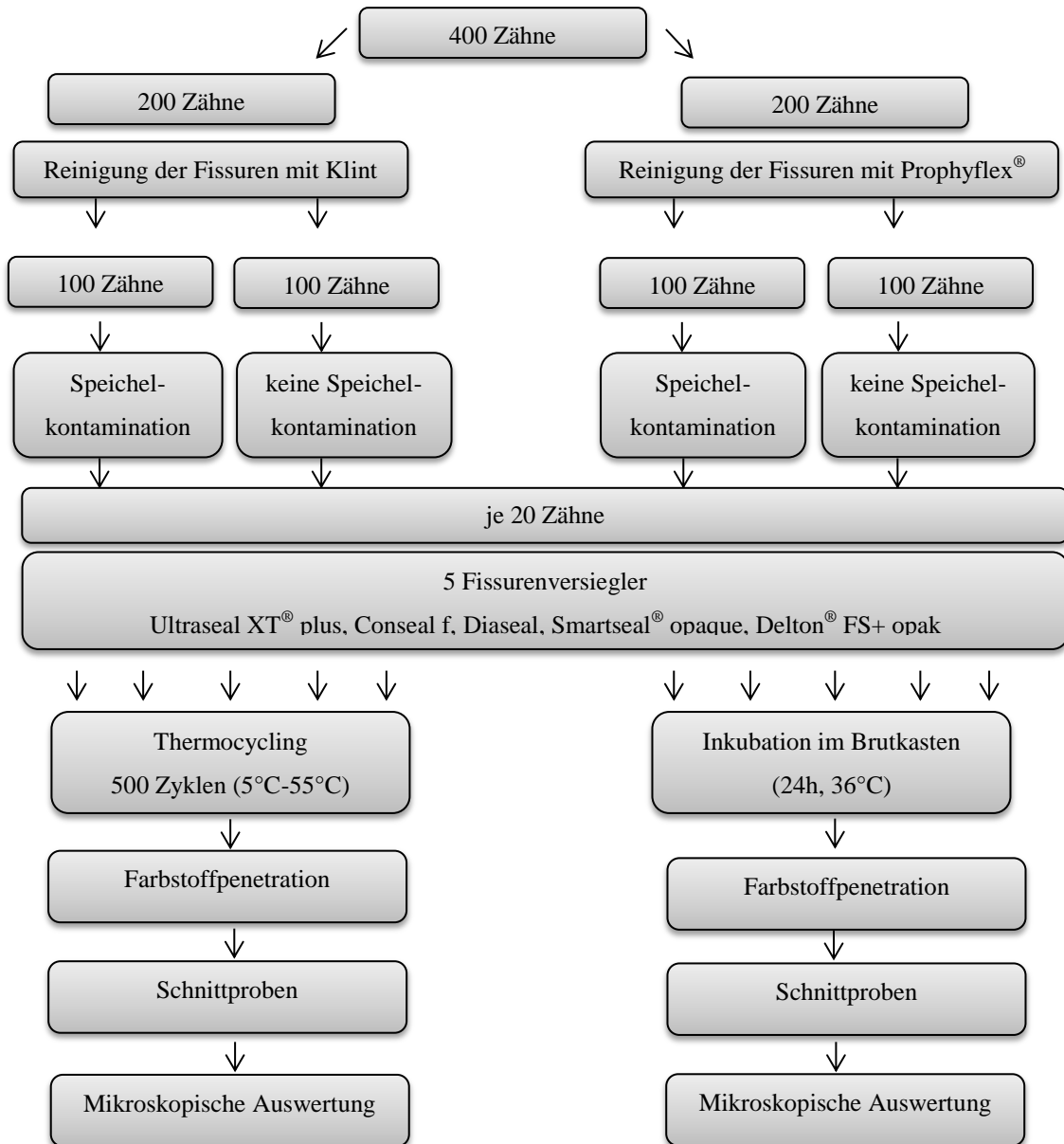


Abb. 4: Versuchsablauf

In dieser Untersuchung wurden zwei Versuchsreihen oS (ohne künstlichen Speichel) und mS (mit künstlichen Speichel) mit unterschiedlichen Vorbehandlungen und mit der Lagerung im Brutkasten (Kontrollgruppe) bzw. mit künstlicher Alterung durch die Lagerung im Thermocycler durchgeführt.

Tab. 5: Gruppeneinteilung

Gruppe	Reinigung	Speichelkontamination	Fissurenversiegler	Thermocycling	Probenanzahl
U1	Klint	-	Ultraseal XT [®] plus	-	80
U1-T	Klint	-	Ultraseal XT [®] plus	+	80
U2	Prophyflex [®]	-	Ultraseal XT [®] plus	-	80
U2-T	Prophyflex [®]	-	Ultraseal XT [®] plus	+	80
U3	Klint	+	Ultraseal XT [®] plus	-	80
U3-T	Klint	+	Ultraseal XT [®] plus	+	80
U4	Prophyflex [®]	+	Ultraseal XT [®] plus	-	80
U4-T	Prophyflex [®]	+	Ultraseal XT [®] plus	+	80
C1	Klint	-	Conseal f	-	80
C1-T	Klint	-	Conseal f	+	80
C2	Prophyflex [®]	-	Conseal f	-	80
C2-T	Prophyflex [®]	-	Conseal f	+	80
C3	Klint	+	Conseal f	-	80
C3-T	Klint	+	Conseal f	+	80
C4	Prophyflex [®]	+	Conseal f	-	80
C4-T	Prophyflex [®]	+	Conseal f	+	80
D1	Klint	-	Diaseal	-	80
D1-T	Klint	-	Diaseal	+	80
D2	Prophyflex [®]	-	Diaseal	-	80
D2-T	Prophyflex [®]	-	Diaseal	+	80
D3	Klint	+	Diaseal	-	80
D3-T	Klint	+	Diaseal	+	80
D4	Prophyflex [®]	+	Diaseal	-	80
D4-T	Prophyflex [®]	+	Diaseal	+	80
De1	Klint	-	Delton [®] FS+opak	-	80
De1-T	Klint	-	Delton [®] FS+opak	+	80
De2	Prophyflex [®]	-	Delton [®] FS+opak	-	80
De2-T	Prophyflex [®]	-	Delton [®] FS+opak	+	80
De3	Klint	+	Delton [®] FS+opak	-	80
De3-T	Klint	+	Delton [®] FS+opak	+	80
De4	Prophyflex [®]	+	Delton [®] FS+opak	-	80
De4-T	Prophyflex [®]	+	Delton [®] FS+opak	+	80
S1	Klint	-	Smartseal [®] opaque	-	80
S1-T	Klint	-	Smartseal [®] opaque	+	80
S2	Prophyflex [®]	-	Smartseal [®] opaque	-	80
S2-T	Prophyflex [®]	-	Smartseal [®] opaque	+	80
S3	Klint	+	Smartseal [®] opaque	-	80
S3-T	Klint	+	Smartseal [®] opaque	+	80
S4	Prophyflex [®]	+	Smartseal [®] opaque	-	80
S4-T	Prophyflex [®]	+	Smartseal [®] opaque	+	80

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D:Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak
 +: mit Speichelkontamination/mit Thermocycling; -: ohne Speichelkontamination/ohne Thermocycling

3.2.2 Versuchsablauf

3.2.2.1 Probenaufbereitung

Nach erfolgter mechanischer Oberflächenbearbeitung mit Scalern und Küretten wurden 200 Zähne mit Klint und einer rotierenden Bürste bei 500 U/min ohne Wasserkühlung für 15 Sekunden gereinigt. Weitere mit Küretten und Scalern vorbehandelte 200 Versuchszähne wurden mit Prophyflex® bei 300000 U/min für 10-15 Sekunden bearbeitet. Dabei wurde auf einen Abstand von ca. 3 mm von der Düse zur Zahnoberfläche geachtet. Anschließend wurden die beiden Gruppen, die Klintgruppe und die Prophyflexgruppe, getrennt voneinander in erneuerter Kochsalzlösung aufbewahrt.

3.2.2.2 Verarbeitung der Fissurenversiegler

Auf jeweils eine Hälfte der mit Klint bzw. mit Prophyflex® gereinigten Fissuren wurde 5 µl künstlicher Speichel mit einer Eppendorf Research Pipette aufgetragen und sofort wieder verblasen, bei der anderen Hälfte entfiel dieser Schritt. Anschließend erfolgte das Auftragen der Fissurenversieglermaterialien auf die Okklusalfächen. Dabei wurden die Herstellerangaben konsequent eingehalten.

Die Fissurenversieglerapplikationen wurden wie folgt angewendet:

Tab. 6: Ultraseal XT® plus

Ultra Etch	1. Auftrag mit InSpiral-Bürstenansatz für 30 Sekunden
	2. Abspülen mit Wasser für 15 Sekunden
	3. Trocknung mit Luftbläser für 15 Sekunden
PrimaDry	4. Auftrag mit dem Blue Micro-Ansatz
	5. Einwirkungszeit von 5 Sekunden
	6. Trocknung mit Luftbläser
Fusayama-Speichel	7. Auftrag von 5 µl Speichel mit der Pipette und leichtes Verblasen
Ultraseal XT® plus	8. Auftrag mit InSpiral Bürstenansatz
	9. Lichtpolymerisation für 20 Sekunden

Tab. 7: Conseal f

Super Etch LV	1. Auftrag mit dem Pinsel für 30 Sekunden
	2. Abspülen mit Wasser für 15 Sekunden
	3. Trocknung mit Luftbläser für 15 Sekunden
Fusayama-Speichel	4. Auftrag von 5 µl Speichel mit der Pipette und leichtes Verblasen
Conseal f	5. Applikation
	6. Lichtpolymerisation für 20 Sekunden

Tab. 8: Diaseal

Dia Etch TM	1. Auftrag mit dem Pinsel für 30 Sekunden
	2. Abspülen mit Wasser für 15 Sekunden
	3. Trocknung mit Luftbläser für 15 Sekunden
Fusayama-Speichel	4. Auftrag von 5 µl Speichel mit der Pipette und leichtes Verblasen
Diaseal	5. Applikation
	6. Lichtpolymerisation für 20 Sekunden

Tab. 9: Delton [®]FS+ Fissurenversiegler opaque

Delton EZ Etch Etchant Gel	1. Auftrag mit dem Pinsel für 30 Sekunden
	2. Abspülen mit Wasser für 15 Sekunden
	3. Trocknung mit Luftbläser für 15 Sekunden
Fusayama-Speichel	4. Auftrag von 5 µl Speichel mit der Pipette und leichtes Verblasen
Delton [®] FS	5. Mischen von einem Tropfen Universal-Flüssigkeit und einem Tropfen Katalysator-Flüssigkeit in der Mischschablone für 10 bis 15 Sekunden (Verarbeitungszeit 45 Sekunden)
	6. Auftrag mit dem Einwegröhrchen im Applikatorgriff auf die Fissur
	7. chemische Aushärtung nach 60 bis 90 Sekunden

Tab. 10: Smartseal [®]& loc opaque

Smartseal [®] Etch	1. Auftrag mit dem Pinsel für 30 Sekunden
	2. Abspülen mit Wasser für 20 Sekunden
	3. Trocknung mit Luftbläser für 20 Sekunden (Schmelzoberfläche darf nicht vollständig trocken sein)
Fusayama-Speichel	4. Auftrag von 5 µl Speichel mit der Pipette und leichtes Verblasen
Smartseal [®] & loc opaque	5. Applikation und Einwirkung für 20 Sekunden
	6. Lichtpolymerisation für 20 Sekunden

3.2.2.3 Inkubation im Thermowechsler bzw. im Brutkasten

Je nach Gruppeneinteilung erfolgte ein thermischer Belastungswechsel der Molaren im Thermocycler (SW-V2.5, Willytec Konstruktion und Vertrieb feinwerktechnischer Geräte GmbH, München, D) für 5000 Zyklen bei Temperaturen von 5°C und 55°C mit einer Verweildauer von 30 Sekunden in den jeweiligen Bädern und einer Transferzeit von fünf Sekunden bzw. die Inkubation im Brutkasten bei konstanten 37°C für 24 Stunden für die Kontrollgruppe.



Abb. 5: Thermozyklriergerät SW-V2.5

3.2.2.4 Farbstoffpenetration

Die nun aus der Inkubation genommenen Zähne wurden in kaltpolymerisierende Technovit-Kunststoffblöcke eingebettet. Als Form diente dabei eine handelsübliche Eiskwürfelbox, wobei jeder Block in seinen Abmaßen 2,5 cm x 4 cm betrug. Pro Block befanden sich zwei Versuchszähne, die bis kurz vor der Schmelz-Zement-Grenze in das Technovit eingetaucht wurden. Die Aushärtung der Technovit-Blöcke galt als beendet, wenn diese vollständig erkaltet waren. Daraufhin erfolgte zum Schutz der noch freien Zahnoberflächen der Überzug mit handelsüblichem Nagellack 1 mm bis 2 mm vor dem Fissureneingang, welcher zweimal aufgetragen wurde. Nach vollständiger Aushärtung des Nagellackes nach fünf Minuten, erfolgte für 48 Stunden das Bad in 1%igem Methylenblau.

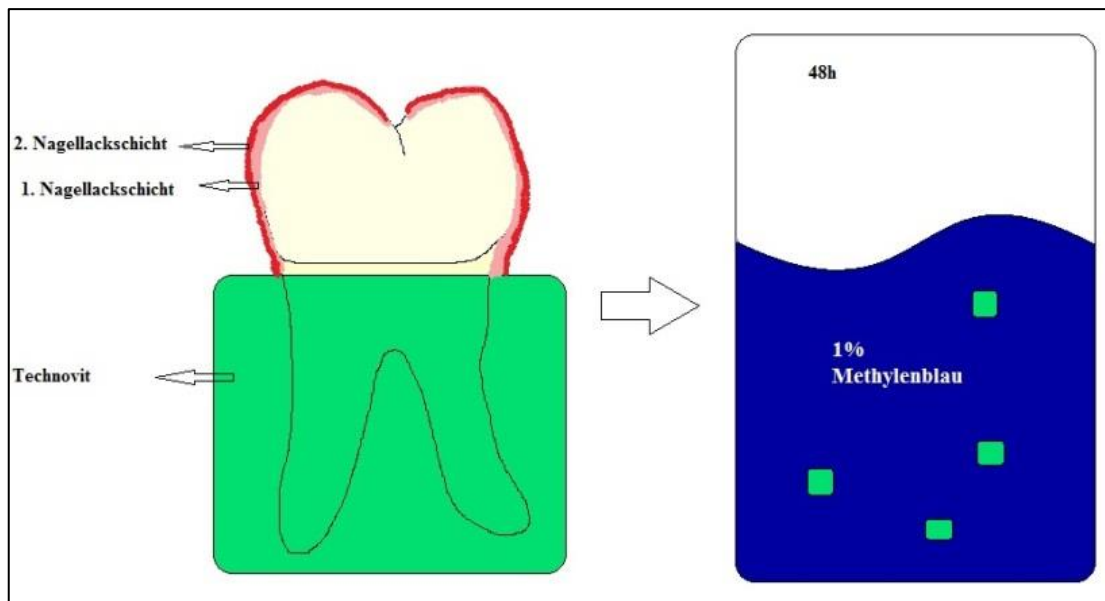


Abb. 6: Einbettung und Farbstoffpenetration

3.2.2.5 Herstellung der Schnittproben

Nach 48 Stunden wurden die Versuchszähne aus dem Methylenbad genommen und mehrfach mit Kochsalzlösung vorsichtig gewaschen, ohne die Proben zu beanspruchen. Der Nagellacküberzug wurde mit Scalern und Küretten vorsichtig entfernt, da dieser immer noch geringe Mengen des Methylenblaus in die umgebene Kochsalzlösung abgab und so eine spätere Färbung nicht ausgeschlossen werden konnte.

Aus den 400 Versuchszähnen wurden insgesamt 1600 durchschnittlich 0,6 mm (1,2 mm - 0,4 mm) dünne Probescheiben mit Hilfe einer diamantierten Trennscheibe (Orbis Dental, Münster, D) präpariert. Dabei wurde auf eine möglichst konstante Schichtdicke geachtet. Die Durchtrennung der zentralen Fissuren der Molaren wurde in vestibulär-lingualer bzw. in vestibulär-palatinaler Richtung unter ständiger Wasserkühlung (80 ml/min aus 3 Düsen) mit einer Umdrehungszahl von 15000 U/min durchgeführt. Kleinere periphere Fissuren wurden vernachlässigt. Bei einem Molaren wurden durchschnittlich vier Scheiben präpariert. Pro Schnitt konnten zwei Schnittflächen beurteilt werden. Die Wurzeln wurden nach der Schnittpräparation von den Zahnkronen mit einer Trennscheibe separiert, bis die Schnitte vollständig aus der Krone herausgelöst werden konnten. Im Anschluss daran, wurden die Schnitte wieder in die physiologische Kochsalzlösung überführt. Nur für den Moment der Beurteilung durch das digitale Mikroskop wurden die Proben aus der Natriumchlorid Lösung entfernt und durch Abtupfen mit Zellstoff vorübergehend getrocknet.

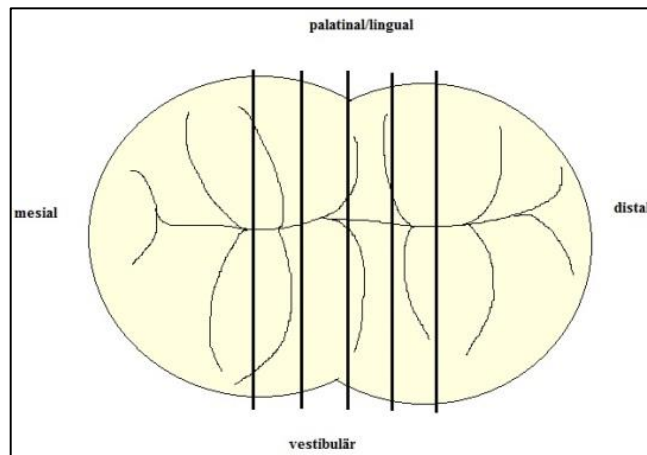


Abb. 7: Schnitte

3.2.2.6 Qualitative Analyse

Um eine mögliche Penetration des Farbstoffes Methyleneblau durch die Fissuren zu beobachten und auszuwerten, wurden sämtliche Schnittflächen mit dem digitalen Lichtmikroskop Dino-Lite (Somikon[®], Taiwan) bei 10 bis 200facher Vergrößerung aufgenommen und mit Hilfe des dazugehörigen Programms auf einer Computerfestplatte gespeichert. Dabei wurde zur qualitativen Auswertung der gesamte Fissurenquerschnitt erfasst und durch die nachfolgend beschriebene Scoreeinteilung klassifiziert.



Abb. 8: Somikon[®] Mikroskop

3.2.2.7 Scoreeinteilung zur Penetrationsklassifizierung

Um die Dichte der Fissurenversiegler zu beurteilen, musste die Penetration des Farbstoffes Methylenblau klassifiziert werden. Dazu diente diese Score-Einteilung nach Grande et al., 1998:

- **Score 0:** keine Penetration des Methylenblaus
- **Score 1:** Penetration in der oberflächlichen Schnittstelle Schmelz-Versiegler
- **Score 2:** Penetration in der gesamten Ausdehnung der Schnittstelle
- **Score 3:** Penetration rund um den Versiegler



Abb. 9: Score 0



Abb. 10: Score 1



Abb. 11: Score 2



Abb. 12: Score 3

3.2.2.8 Statistische Auswertung

Die gewonnenen Daten wurden zur genauen Analyse mithilfe des Statistikprogramms SPSS 18.0 der Kinderzahnheilkunde der Martin-Luther-Universität verarbeitet und auf statistische Signifikanzen untersucht. Dabei wurden grafische Darstellungen und Berechnungen erzeugt.

Der einfaktorielle ANOVA Test und der Tukey`s Test wurden zur statistischen Auswertung in dieser Untersuchung herangezogen.

4 Ergebnisse

In allen Versuchsgruppen konnten einzelne Scorewerte über null beobachtet werden, daraus schlussfolgernd kam es bei allen Fissurenversiegeln zu Durchlässigkeiten. Farbstoffpenetrationen bis in das untere Drittel der Fissurenversiegelung wurden nur vereinzelt nachgewiesen. Die höchsten Mittelwerte ergaben sich durchschnittlich in der Gruppe von Smartseal[®]opaque, sowohl in den Kontrollversuchen, als auch in den Thermocyclingversuchen. Delton[®]FS+opak zeigte die geringsten Mittelwerte ohne und mit künstlicher Alterung.

Eine Übersicht der Mittelwerte der Versuchsreihen ist in der Tab.11 zusammengestellt. Abb.13 zeigt die graphische Darstellung aller Kontroll- und Thermocyclinggruppen mit den entsprechenden Mittelwerten.

Nachfolgend werden die Versuchsgruppen einzeln tabellarisch dargestellt, um eine detaillierte Analyse der Ergebnisse zu ermöglichen.

Tab. 11: Ergebnisse aller Gruppen

Gruppe	Mittelwerte	+/-
U1	0,44	0,82
U1-T	2,29	0,93
U2	0,20	0,49
U2-T	1,90	0,96
U3	1,40	1,11
U3-T	2,04	1,31
U4	1,49	1,13
U4-T	2,06	1,15
C1	0,26	0,59
C1-T	2,33	0,73
C2	0,21	0,52
C2-T	1,08	1,17
C3	1,20	0,99
C3-T	2,04	1,25
C4	1,69	0,96
C4-T	1,84	1,44
D1	0,14	0,44
D1-T	2,44	0,55
D2	0,61	0,96
D2-T	1,41	1,20
D3	1,36	1,23
D3-T	1,40	1,36
D4	1,44	1,15
D4-T	1,74	1,32

Ergebnisse

De1	0,08	0,27
De1-T	0,90	0,99
De2	0,21	0,47
De2-T	0,63	0,92
De3	1,08	1,09
De3-T	1,75	1,41
De4	1,08	1,09
De4-T	1,79	1,40
S1	1,80	0,54
S1-T	2,59	0,67
S2	0,16	0,43
S2-T	1,44	1,20
S3	1,96	0,65
S3-T	2,08	1,13
S4	2,04	0,75
S4-T	2,29	0,90

U: Ultraseal XT® plus; C: Conseal f; D:Diaseal; S: Smartseal® opaque; De: Delton® FS+opak

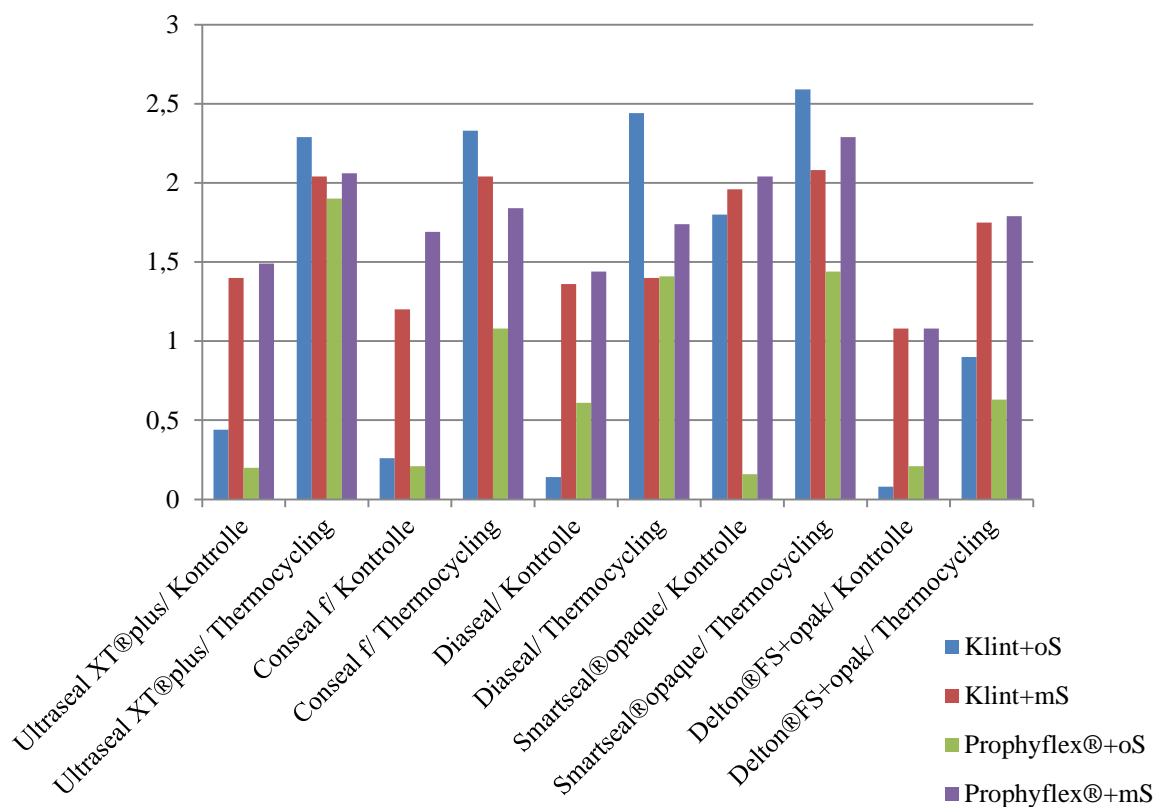


Abb. 13: Mittelwerte Kontrollgruppen-Thermocyclinggruppen

oS: ohne Speichelkontamination, mS: mit Speichelkontamination

4.1 Gegenüberstellung Kontrollgruppen mit Thermocyclinggruppen

Tab. 12 Mittelwerte Versuchsreihe Klint ohne Speichel

Gruppe	U1	U1-T	C1	C1-T	D1	D1-T	S1	S1-T	De1	De1-T
Mittelwert	0,44	2,29	0,26	2,33	0,14	2,44	1,8	2,59	0,08	0,9
+/-	0,82	0,93	0,59	0,73	0,44	0,55	0,54	0,67	0,27	0,99

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
1: Kontrolle; 1-T: Thermocycling

Bei den Versuchsreihen, in denen zunächst eine Bürstenreinigung mit Klint erfolgte und ohne Speichelkontamination der jeweilige Fissurenversiegler aufgetragen wurde, konnte die beste Randdichtigkeit im Falle des selbsthärtenden Versieglers Delton[®]FS+opak (De1) mit einem Wert von 0,08 ($\pm 0,27$) gemessen werden, gefolgt von Diaseal (D1), Conseal f (C1) und Ultraseal XT[®] plus (U1). Die signifikant schlechteste Randdichte wurde bei dem lichthärtenden Fissurenversiegler Smartseal[®] opaque (S1) mit 1,8 ($\pm 0,54$) beobachtet ($p < 0,001$, Tukey`s Test). Nach erfolgter künstlicher Alterung im Thermocycler zeigte Delton[®]FS+opak (De1-T) mit statistischer Signifikanz erneut mit 0,9 ($\pm 0,99$) die beste Dichte, Smartseal[®] opaque (S1-T) wies auch hier den höchsten Score mit 2,59 ($\pm 0,67$) auf ($p < 0,001$, Tukey`s Test). Bei allen verwendeten Fissurenversiegler konnten signifikant bessere Ergebnisse in den Kontrollgruppen als in den Thermocyclinggruppen nachgewiesen werden.

Tab. 13 Mittelwerte Versuchsreihe Klint mit Speichel

Gruppe	U3	U3-T	C3	C3-T	D3	D3-T	S3	S3-T	De3	De3-T
Mittelwert	1,4	2,04	1,2	2,04	1,36	1,4	1,96	2,08	1,08	1,75
+/-	1,11	1,31	0,99	1,25	1,23	1,36	0,65	1,13	1,09	1,41

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
3: Kontrolle; 3-T: Thermocycling

Tabelle 13 stellt die Versuchsreihen dar, die nach erfolgter Bürstenreinigung mit der Prophylaxepaste Klint zusätzlich mit künstlich hergestelltem Speichel kontaminiert wurden. Hier zeigte der chemisch härtende Fissurenversiegler Delton[®]FS+opak (De3) den niedrigsten Mittelwert mit 1,08 ($\pm 1,09$), Conseal f (C3), Diaseal (D3) und Ultraseal XT[®] plus (U3) folgten. Smartseal[®] opaque (S3) wies mit einem Wert von 1,96 ($\pm 0,65$) den höchsten Score auf. Nach der thermischen Wechsellast mit dem Thermozyklengerät war es Diaseal (D3-T), ein lichthärtender Versiegler, der die beste

Randdichte hatte. Delton[®]FS+opak (De3-T), Conseal f (C3-T), Ultraseal XT[®]plus (U3-T) und Smartseal[®]opaque (S3-T) folgten in absteigender Reihenfolge.

Auch in den Versuchsreihen mit einer Speichelbenetzung waren die Kontrollgruppen bei den Fissurenversiegler Smartseal[®]opaque und Diaseal in der Tendenz dichter als in den Gruppen mit dem Thermocycler, signifikant bessere Resultate konnten aber erst bei den Versiegler Ultraseal XT[®]plus, Conseal f und Delton[®]FS+opak erzielt werden. Smartseal lieferte sowohl in der Kontrollgruppe als auch in der Thermocyclinggruppe die signifikant schlechtesten Ergebnisse ($p < 0,001$, Tukey's Test). Im Vergleich der Versuchsreihen mit der Bürstenreinigung und Klint mit und ohne Speichelkontamination wurden niedrigere Scorewerte gemessen als bei den Versuchen mit der Speichelbenetzung. Des Weiteren konnten in den Versuchsreihen mit der Bürstenreinigung und der Kontamination mit künstlichem Speichel weniger Differenzen zwischen den Mittelwerten der Fissurenversiegler als in den Versuchen ohne Speichelkontamination beobachtet werden.

Tab. 14 Mittelwerte Versuchsreihe Prophyflex[®] ohne Speichel

Gruppe	U2	U2-T	C2	C2-T	D2	D2-T	S2	S2-T	De2	De2-T
Mittelwert	0,2	1,9	0,21	1,08	0,61	1,41	0,16	1,44	0,21	0,63
+/-	0,49	0,96	0,52	1,17	0,96	1,2	0,43	1,2	0,47	0,92

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
2: Kontrolle; 2-T: Thermocycling

Bei den Versuchsreihen, die zunächst mit dem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®] bearbeitet wurden, ohne eine zusätzliche Kontamination mit Speichel, zeigte der lichthärtende Fissurenversiegler Smartseal[®]opaque (S2) mit einem Wert von 0,16 ($\pm 0,43$) das geringste Mikroleakage. Der ebenfalls lichthärtende Versiegler Diaseal (D2) wies mit 0,61 ($\pm 0,96$) die geringste Randdichtigkeit auf. Nach künstlicher Alterung zeigte Delton[®]FS+opak (De2-T) mit einem Wert von 0,63 ($\pm 0,92$) die besten Versieglerqualitäten hinsichtlich der Materialdichte. Dagegen konnte bei den Fissurenversiegler Conseal f (C2-T), Diaseal (D2-T) und Smartseal[®]opaque (S2-T) mehr Durchlässigkeiten beobachtet werden. Ultraseal XT[®] plus (U2-T) zeigte mit einem Mittelwert von 1,9 ($\pm 0,96$) das schlechteste Ergebnis.

Aus den Mittelwerten, die in der Tabelle 14 aufgeführt sind, lässt sich entnehmen, dass die Kontrollgruppen der Versiegler Ultraseal XT[®] plus, Conseal f, Diaseal und Smartseal[®]opaque signifikant bessere Ergebnisse gegenüber den Thermocycling-

gruppen aufwiesen ($p < 0,001$, Tukey`s Test). Delton[®]FS+opak zeigte auch in den Kontrollgruppen eine bessere Randdichte als unter künstlicher Alterung, jedoch ohne statistische Relevanz ($p > 0,05$, Tukey`s Test).

Tab. 15 Mittelwerte Versuchsreihe Prophyflex[®] mit Speichel

Gruppe	U4	U4-T	C4	C4-T	D4	D4-T	S4	S4-T	De4	De4-T
Mittelwert	1,49	2,06	1,69	1,84	1,44	1,74	2,04	2,29	1,08	1,79
+/-	1,13	1,15	0,96	1,44	1,15	1,32	0,75	0,9	1,09	1,40

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®]FS+opak;
4: Kontrolle; 4-T: Thermocycling

Die Versuchsreihen, die einer Oberflächenbearbeitung mit dem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®] unterzogen und zusätzlich mit künstlichem Fusayama Speichel kontaminiert wurden, zeigten bei allen Fissurenversiegern Farbstoffpenetrationen des Methylenblaus im oberflächlichen Versiegler-Schmelz Interface. Im Falle des lighthärtenden Versieglers Smartseal[®] opaque (S4-T) mit einem Wert von 2,29 ($\pm 0,9$) konnte das Methylenblau die gesamte Ausdehnung der Schnittstelle erreichen. Dagegen bewies der lighthärtende Versiegler Diaseal (D4-T) mit einem Mittelwert von 1,74 ($\pm 1,32$) die beste Randdichte, gefolgt von Delton[®]FS+opak (De4-T), Conseal f (C4-T) und Ultraseal XT[®] plus (U4-T). Smartseal[®] opaque hatte mit einem Scorewert von 2,29 ($\pm 0,9$) die höchste Durchlässigkeit.

Auch in den Versuchen mit dem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®] mit Speichelkontamination konnten bessere Ergebnisse in den Kontrollgruppen bei allen Fissurenversiegern als in den Versuchen mit künstlicher Alterung beobachtet werden. Statistisch signifikant bessere Resultate konnten jedoch nur bei den Versiegern Ultraseal XT[®] plus und Delton[®]FS+opak nachgewiesen werden ($p < 0,001$, Tukey`s Test).

Zusammenfassend kann in den Versuchsreihen mit bzw. ohne eine künstliche Alterung festgestellt werden, dass durch die Wechsellast im Thermozyklriergerät in jeder Versuchsgruppe mehr Mikroleakage zu verzeichnen war. Gerade in den Gruppen die einer Benetzung mit Fusayama-Speichel unterzogen wurden, konnten die höchsten Scorwerte nachgewiesen werden, wobei jedoch weniger Signifikanzen zwischen den Kontrollgruppen und den Thermocyclinggruppen auftraten.

4.2 Gegenüberstellung Klintgruppen mit Prophylflexgruppen

Tab. 16 Mittelwerte Kontrollgruppen ohne Speichel

Gruppe	U1	U2	C1	C2	D1	D2	S1	S2	De1	De2
Mittelwert	0,44	0,2	0,26	0,21	0,14	0,61	1,8	0,16	0,08	0,21
+/-	0,82	0,49	0,59	0,52	0,44	0,96	0,54	0,43	0,27	0,47

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
1: Klint; 2: Prophylflex[®]

Die Tabelle 16 zeigt zum einen die Versuchsreihen, die der Bürstenreinigung mit Klint zugeführt wurden, ohne eine Kontamination mit künstlichem Speichel und zum anderen die Versuchsreihen, die mit dem Pulverstrahlgerät Prophylflex[®] bearbeitet wurden, ebenfalls ohne eine Speichelkontamination. Vergleicht man beide Reinigungsmethoden miteinander, so zeigten die lichthärtenden Fissurenversiegler Ultraseal XT[®] plus (U2) mit einem Wert von 0,2 ($\pm 0,49$), Conseal f (C2) mit 0,21 ($\pm 0,52$) und Smartseal[®] opaque (S2) mit 0,16 ($\pm 0,43$) in der Prophylflexgruppe bessere Randdichtigkeiten als in der Gruppe der Bürstenreinigung mit Klint. Dagegen wiesen Delton[®] FS+opak (De1) mit einem Mittelwert von 0,08 ($\pm 0,27$) und Diaseal (D1) mit 0,14 ($\pm 0,44$) weniger Mikroleakage in der Gruppe mit Bürstenreinigung und Klint auf.

Bei den Versuchen mit rotierender Bürste und mit fluoridfreier Reinigungspaste Klint konnten die geringsten Scores bei dem selbsthärtenden Fissurenversiegler Delton[®] FS+opak (De1) beobachtet werden, gefolgt von den lichthärtenden Fissurenversiegler Diaseal (D1), Conseal f (C1) und Ultraseal XT[®] plus (U1). Smartseal[®] opaque (S1) erzielte mit einem Scorewert von 1,8 ($\pm 0,54$) das schlechteste Ergebnis. Dagegen konnte der Versiegler Smartseal[®] opaque (S2) in der Gruppe der Pulverstrahlreinigung mit einem Wert von 0,16 ($\pm 0,43$) die beste Randdichte entwickeln, gefolgt von Ultraseal XT[®] plus (U2), Conseal f (C2) und Delton[®] FS+opak (De2). Diaseal (D2) wies mit einem Wert von 0,61 ($\pm 0,96$) die schlechteste Randdichte auf. Die Fissurenversiegler, die mit beiden Reinigungsmethoden behandelt wurden, erreichten alle mit Ausnahme des Versiegler Smartseal[®] opaque Scorewerte unter eins, in den meisten Proben konnten keine Penetrationen des Methyleneblaus beobachtet werden.

In den Kontrollgruppen ohne eine zusätzliche Kontamination mit Speichel zeigten weder die Versuche mit der Pulverstrahlbehandlung noch die Bürstenreinigung mit Klint wesentlich bessere Randdichten mit Ausnahme des Fissurenversiegler

Smartseal[®]opaque, der mit der Pulverbestrahlung signifikant höhere Randqualitäten aufwies als nur mit der Bürstenreinigung ($p < 0,001$, Tukey`s Test).

Tab. 17 Mittelwerte Kontrollgruppen mit Speichel

Gruppe	U3	U4	C3	C4	D3	D4	S3	S4	De3	De4
Mittelwert	1,4	1,49	1,2	1,69	1,36	1,44	1,96	2,04	1,08	1,08
+/-	1,11	1,13	0,99	0,96	1,23	1,15	0,65	0,75	1,09	1,09

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
3: Klint; 4:Prophyflex[®]

Bei den Versuchsreihen, die mit der rotierenden Bürste und Klint gereinigt und zusätzlich mit künstlichem Speichel kontaminiert wurden, zeigte der selbsthärtende Fissurenversiegler Delton[®]FS+opak (De3) mit einem Wert von 1,08 ($\pm 1,09$) die beste Randdichte. Im Falle der lichthärtenden Fissurenversiegler wies Conseal f (C3) mit einem Mittelwert von 1,2 ($\pm 0,99$) das geringste Mikroleakage auf, gefolgt von Diaseal (D3) und Ultraseal XT[®] plus (U3). Bei dem Versiegler Smartseal[®]opaque (S3) konnte mit 1,96 ($\pm 0,65$) das höchste Mikroleakage beobachtet werden. Auch in der Gruppe, die vor der Speichelkontamination mit dem Pulverstrahlgerät gereinigt wurde, konnte wieder Delton[®]FS+opak (De4) mit 1,08 ($\pm 1,09$) das beste Ergebnis erzielen, Diaseal (D4), Ultraseal XT[®] plus (U4) und Conseal f (C4) folgten. Die meisten Durchlässigkeiten wurden wieder bei dem Fissurenversiegler Smartseal[®]opaque (S4) festgestellt. Mit zusätzlicher Speichelkontamination wies die Gruppe der Bürstenreinigung mit Klint gegenüber der Gruppe mit der Pulverstrahlreinigung die geringsten Scorewerte mit Ausnahme des Versieglers Delton[®]FS+opak auf, jedoch ohne statistische Relevanz ($p > 0,05$, Tukey`s Test).

Tab. 18 Mittelwerte Thermocyclinggruppen ohne Speichel

Gruppe	U1-T	U2-T	C1-T	C2-T	D1-T	D2-T	S1-T	S2-T	De1-T	De2-T
Mittelwert	2,29	1,9	2,33	1,08	2,44	1,41	2,59	1,44	0,9	0,63
+/-	0,93	0,96	0,73	1,17	0,55	1,2	0,67	1,2	0,99	0,92

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
1-T: Klint; 2-T:Prophyflex[®]

Nach künstlicher Alterung im Thermocycler zeigte sich in der Versuchsreihe mit dem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®] ohne zusätzliche Speichelkontamination weniger Mikroleakage als in der Versuchsreihe mit Bürstenreinigung und Klint. Dabei wies der chemisch härtende Fissurenversiegler Delton[®]FS+opak (De2-T) mit einem Mittelwert

von 0,63 ($\pm 0,92$) in der Prophyflexgruppe die beste Randdichtigkeit auf. Die lichthärtenden Versiegler Conseal f (C2-T), Diaseal (D2-T) und Smartseal[®] opaque (S2-T) folgten. Bei Ultraseal XT[®] plus (U2-T) konnte die geringste Randdichte mit einem Wert von 1,9 ($\pm 0,96$) beobachtet werden. Bei den Versuchsreihen, die mit rotierender Bürste und Klint bearbeitet und der künstlichen Alterung zugeführt wurden, war es ebenfalls der Fissurenversiegler Delton[®] FS+opak (De1-T) mit einem Score von 0,9 ($\pm 0,99$), der das beste Ergebnis in Bezug auf die Materialdichte hatte. Höhere Randundichtigkeiten konnten bei den lichthärtenden Vertretern ermittelt werden, im Falle des Fissurenversieglers Smartseal[®] opaque (S1-T) zeigte sich die größte Undichte bei einem Wert von 2,59 ($\pm 0,67$). Mit Ausnahme von Delton[®] FS+opak konnten bei allen Fissurenversiegler Farbstoffpenetrationen bis in das obere Interface Schmelz-Versiegler in der Versuchsreihe mit der Pulverstrahlreinigung bzw. Farbstoffpenetrationen in der gesamten Ausdehnung der Schnittstelle in der Versuchsreihe der Bürstenreinigung und Klint ohne eine Speichelkontamination beobachtet werden. Bei den Fissurenversiegler Ultraseal XT[®] plus, Conseal f, Diaseal und Smartseal[®] opaque zeigte die Vorbehandlung mit der Reinigungspaste Klint signifikant schlechtere Randqualitäten als mit der Pulverbestrahlung mit Prophyflex[®] ($p < 0,001$, Tukey`s Test). Bei Delton[®] FS+opak konnten zwar keine signifikanten Ergebnisse nachgewiesen werden, doch zeigten sich auch in der Gruppe mit der Pulverbehandlung bessere Mittelwerte als in der Gruppe mit Klint ($p > 0,05$, Tukey`s Test).

Tab. 19 Mittelwerte Thermocyclinggruppen mit Speichel

Gruppe	U3-T	U4-T	C3-T	C4-T	D3-T	D4-T	S3-T	S4-T	De3-T	De4-T
Mittelwert	2,04	2,06	2,04	1,84	1,4	1,74	2,08	2,29	1,75	1,79
+/-	1,31	1,15	1,25	1,44	1,36	1,32	1,13	0,9	1,41	1,40

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
3-T: Klint; 4-T: Prophyflex[®]

Im Falle der Versuchsreihen, die neben der Bürstenreinigung mit Klint bzw. der Pulverstrahlbehandlung mit künstlichem Speichel kontaminiert wurden und anschließend durch das Thermozyklengerät gealtert wurden, konnten weniger Unterschiede hinsichtlich des Dichteverhaltens der einzelnen Fissurenversiegler festgestellt werden. Die Versiegler zeigten bei der Vorbehandlung mit dem Prophyflex[®]-Gerät keine signifikant besseren Ergebnisse. Nur der lichthärtende Versiegler Conseal f (C4-T) wies nach der Pulverstrahlbehandlung einen niedrigeren

Mittelwert von 1,84 ($\pm 1,44$) im Vergleich zur Reinigung mit der rotierenden Bürste und Klint (C3-T) mit 2,04 ($\pm 1,25$) auf. Alle anderen Fissurenversiegler wiesen geringfügig niedrigere Scores in den Versuchsreihen mit Klint auf. Im Falle des Versieglers Diaseal (D3-T) konnte mit einem Wert von 1,4 ($\pm 1,36$) das beste Ergebnis erreicht werden, gefolgt von Delton[®]FS+opak (De3-T), Conseal f (C3-T), Ultraseal XT[®]plus (U3-T). Smartseal[®]opaque (S3-T) war auch hier mit 2,08 ($\pm 1,13$) der Versiegler mit der schlechtesten Randdichte. Bei der Versuchsreihe mit der Reinigung durch Prophyflex[®], der anschließenden Speichelkontamination und der nachfolgenden künstlichen Alterung war es wiederum Diaseal (D4-T) mit 1,74 ($\pm 1,32$) mit der besten Randdichte, Delton[®]FS+opak (De4-T), Conseal f (C4-T), Ultraseal XT[®]plus (U4-T) folgten. Die meisten Durchlässigkeiten wurden auch hier bei dem lighthärtenden Versiegler Smartseal[®]opaque (S4-T) nachgewiesen.

Zusammenfassend zeigte die Gegenüberstellung der beiden Fissurenreinigungsmethoden Klint und Prophyflex[®] keine nennenswerten Signifikanzen ($p > 0,05$, Tukey`s Test) mit Ausnahme der Versuchsreihen mit künstlicher Alterung und ohne Speichelkontamination. Deutliche Abweichungen der Scorewerte konnten auch innerhalb der Gruppen und innerhalb der einzelnen Fissurenversiegler nicht wahrgenommen werden. Keine der genannten Reinigungsmethoden erreichte eine vollständige Säuberung am Fissurengrund. Gerade im Falle der Pulverstrahlbehandlung konnten vermehrt Pulverrückstände am Fundus der Fissuren festgestellt werden, ohne nachweislich eine Verschlechterung des Dichteverhaltens der Fissurenversiegelung herbeizuführen.

4.3 Gegenüberstellung der Versuchsreihen ohne Speichelkontamination mit den Versuchsreihen mit Speichelkontamination

Die Versuchsreihen, die vor der Fissurenversieglerapplikation mit künstlich hergestelltem Speichel kontaminiert wurden, zeigten vermehrt Luftblasen innerhalb der Versiegelung und auch an der Schmelz-Versiegler-Grenzfläche.

Tab.20 Mittelwerte Kontrollgruppen Klint

Gruppe	U1	U3	C1	C3	D1	D3	S1	S3	De1	De3
Mittelwert	0,44	1,4	0,26	1,2	0,14	1,36	1,8	1,96	0,08	1,08
+/-	0,82	1,11	0,59	0,99	0,44	1,23	0,54	0,65	0,27	1,09

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
1: ohne Speichelkontamination; 3: mit Speichelkontamination

Die Tabelle 20 vergleicht die Versuchsreihen, die mit rotierender Bürste und Klint gereinigt und anschließend mit Speichel kontaminiert wurden, mit der Versuchsreihe, die ebenfalls mit der Bürste und Klint behandelt wurde, ohne jedoch mit Speichel benetzt zu werden. Bei allen Fissurenversiegelungen mit vorhergehender Speichelkontamination kam es zu einem Anstieg der Mittelwerte und damit der Mikroleakage. Der chemisch härtende Fissurenversiegler Delton[®]FS+opak (De3) zeigte mit 1,08 ($\pm 1,09$) die beste Randdichte, gefolgt von den Versiegler Conseal f (C3), Diaseal (D3) und Ultraseal XT[®]plus (U3). Der lighthärtende Vertreter Smartseal[®]opaque (S3) wies mit 1,96 ($\pm 0,65$) den höchsten Mittelwert und damit die größte Mikroleakage auf. Dabei wurden Methylenblaupenetrationen bis in die oberflächliche Interface Schmelz-Versiegler nachgewiesen. Auch ohne die Benetzung mit Fusayama-Speichel war es wieder Delton[®]FS+opak (De1), der mit einem Wert von 0,08 ($\pm 0,27$) die geringste Randdichte hatte. Auch die Versiegler Ultraseal XT[®]plus (U1), Conseal f (C1) und Diaseal (D1) zeigten Scorewerte unter eins.

Tab. 21 Mittelwerte Termocyclinggruppen Klint

Gruppe	U1-T	U3-T	C1-T	C3-T	D1-T	D3-T	S1-T	S3-T	De1-T	De3-T
Mittelwert	2,29	2,04	2,33	2,04	2,44	1,4	2,59	2,08	0,9	1,75
+/-	0,93	1,31	0,73	1,25	0,55	1,36	0,67	1,13	0,99	1,41

U: Ultraseal XT[®] plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal[®] opaque; De: Delton[®] FS+opak;
1-T: ohne Speichelkontamination; 3-T: mit Speichelkontamination

In der Tabelle 21 werden die Versuchsreihen dargestellt, die neben der Bürstenreinigung, mit bzw. ohne Speichelkontamination einer künstlichen Alterung unterzogen wurden. Der selbsthärtende Fissurenversiegler Delton[®]FS+opak (De1-T) zeigte in der Gruppe ohne Speichelkontamination mit einem Wert von 0,9 ($\pm 0,99$) das beste Ergebnis. In der Gruppe mit Speichelkontamination war dann Diaseal (D3-T) mit 1,4 ($\pm 1,36$) der beste Versiegler. Die Scorewerte in den Versuchsgruppen ohne Speichelkontamination waren bei Ultraseal XT[®]plus (U1-T), Conseal f (C1-T), Diaseal (D1-T) und Smartseal[®]opaque (S1-T) höher als in der Gruppe ohne eine Benetzung mit Fusayama-Speichel. Es zeigten sich Farbstoffpenetrationen in der gesamten Ausdehnung der Schmelz-Versiegler Schnittstelle.

Tab. 22 Mittelwerte Kontrollgruppen Prophylflex®

Gruppe	U2	U4	C2	C4	D2	D4	S2	S4	De2	De4
Mittelwert	0,2	1,49	0,21	1,69	0,61	1,44	0,16	2,04	0,21	1,08
+/-	0,49	1,13	0,52	0,96	0,96	1,15	0,43	0,75	0,47	1,09

U: Ultraseal XT® plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal® opaque; De: Delton® FS+opak;
2: ohne Speichelkontamination; 4: mit Speichelkontamination

Bei den Versuchsreihen, die durch das Pulverstrahlgerät Prophylflex® von Verunreinigungen befreit wurden ohne eine zusätzliche Speichelkontamination, zeigte der lichthärtende Fissurenversiegler Smartseal® opaque (S2) mit 0,16 ($\pm 0,43$) die beste Randdichtigkeit, gefolgt von Ultraseal XT® plus (U2) mit 0,2 ($\pm 0,49$), Delton® FS+opak (De2) mit 0,21 ($\pm 0,47$) und Conseal f (C2) mit 0,21 ($\pm 0,52$). Der ebenfalls lichthärtende Versiegler Diaseal (D2) wies mit 0,61 ($\pm 0,96$) das schlechteste Ergebnis auf. Mit anschließender Speichelkontamination konnte bei Delton® FS+ opak (De4) der geringste Scorewert mit 1,08 ($\pm 1,09$) gemessen werden, es folgten Diaseal (D4), Ultraseal XT® plus (U4), Conseal f (C4) und Smartseal® opaque (S4). Die Farbstoffpenetrationen erstreckten sich auch hier über die gesamte Interface Schmelz-Fissurenversiegler.

Tab. 23 Mittelwerte Thermocyclinggruppen Prophylflex®

Gruppe	U2-T	U4-T	C2-T	C4-T	D2-T	D4-T	S2-T	S4-T	De2-T	De4-T
Mittelwert	1,9	2,06	1,08	1,84	1,41	1,74	1,44	2,29	0,63	1,79
+/-	0,96	1,15	1,17	1,44	1,2	1,32	1,2	0,9	0,92	1,40

U: Ultraseal XT® plus; C: Conseal f; D: Diaseal; S: Smartseal® opaque; De: Delton® FS+opak;
2-T: ohne Speichelkontamination; 4-T: mit Speichelkontamination

Nach künstlicher Alterung mit dem Thermocycler wurden in den Versuchsreihen mit Speichelkontamination schlechtere Ergebnisse als ohne Speichelkontamination ermittelt. In der Gruppe ohne Speichelkontamination war Delton® FS+opak (De2-T) mit einem Mittelwert von 0,63 ($\pm 0,92$) der undurchlässigste Versiegler, gefolgt von Conseal f (C2-T), Diaseal (D2-T), Smartseal® opaque (S2-T) und Ultraseal XT® plus (U2-T). In der Versuchsreihe mit Speichelkontamination war Diaseal (D4-T) mit einem mittleren Score von 1,74 ($\pm 1,32$) der Fissurenversiegler mit den besten Ergebnissen. Delton® FS+opak (De4-T), Conseal f (C4-T), Ultraseal XT® plus (U4-T) und Smartseal® opaque (S4-T) folgten in absteigender Reihenfolge. Penetrationen des Methylenblaus konnten in allen Versiegler nachgewiesen werden. Mit der Kontamination von Speichel wurde das Methylenblau bei den Fissurenversiegler

Ultraseal XT[®]plus und Smartseal[®]opaque in der gesamten Ausdehnung der Schnittstelle Schmelz-Versiegler beobachtet.

Aus den aufgeführten Mittelwerten in den Tabellen 20 bis 23 lässt sich schlussfolgern, dass in den Kontrollgruppen ohne Speichelkontamination unabhängig von der Vorbehandlung mit Klint bzw. mit dem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®] signifikant bessere Randdichten zu verzeichnen waren als in den Kontrollgruppen mit einer Speichelbenetzung ($p < 0,001$, Tukey's Test). Dabei bildet der Fissurenversiegler Smartseal[®]opaque eine Ausnahme, da zwar auch in der Kontrollgruppe mit Klint ohne Speichelkontamination ein besseres Ergebnis mit einem Mittelwert von 1,8 gegenüber der Kontrollgruppe mit Klint mit Speichelkontamination mit einem Wert von 1,96 erzielt wurde, jedoch ohne statistische Relevanz. In den Gruppen, die einer künstlichen Alterung zugeführt und pulvergestrahlt wurden, konnten nur signifikant bessere Resultate bei den Fissurenversiegler Conseal f, Delton[®]FS+opak und Smartseal[®]opaque beobachtet werden ($p < 0,001$, Tukey's Test). In den Thermocyclinggruppen mit der Bürstenreinigung mit Klint zeigten die Fissurenversiegler Conseal f, Diaseal, Smartseal[®]opaque und Ultraseal XT[®]plus bessere Randdichten mit Speichelkontamination als ohne Speichelkontamination, wobei nur bei dem Versiegler Diaseal das Ergebnis statistisch relevant war ($p < 0,001$, Tukey's Test). Der selbsthärtende Versiegler Delton[®]FS+opak zeigte ohne eine Speichelbenetzung signifikant bessere Ergebnisse ($p < 0,001$, Tukey's Test).

4.4 Statistische Auswertung

Im Ergebnis der Auswertung der Versuchsreihen ist festzustellen, dass sich statistisch signifikante Abweichungen zwischen den einzelnen Versuchsgruppen abgezeichnet haben.

Laut dem Tukey's Studentized Range Test zeigten die Kontrollgruppen ohne eine Speichelkontamination mit der Bürstenreinigung mit Klint signifikant bessere Ergebnisse bei allen Fissurenversiegler als die Thermocyclinggruppen ($p < 0,001$). Auch in den Kontrollgruppen ohne eine Speichelkontamination mit der Pulverstrahlbehandlung konnten für die Fissurenversiegler Conseal f, Diaseal, Smartseal[®]opaque und Ultraseal XT[®]plus statistisch signifikant bessere Resultate nachgewiesen werden als in der Thermocyclinggruppe ohne Speichelkontamination und mit der Pulverstrahlbehandlung ($p < 0,001$, Tukey's Test).

In den Versuchsreihen mit Speichelkontamination und der Bürstenreinigung mit Klint konnten signifikant höhere Randdichten in der Kontrollgruppe bei den Materialien Conseal f, Ultraseal XT[®]plus und Delton[®]FS+opak als in der Gruppe mit künstlicher Alterung erzielt werden ($p < 0,001$, Tukey`s Test).

Signifikant bessere Randqualitäten konnten in der Kontrollgruppe mit Speichelkontamination und der Vorbehandlung mit dem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®] bei den Versiegeln Ultraseal XT[®]plus und Delton[®]FS+opak beobachtet werden ($p < 0,001$, Tukey`s Test).

Bei Smartseal[®]opaque war die Kontrollgruppe ohne Speichelkontamination und Klint als Vorbehandlung statistisch signifikant schlechter als in der Kontrollgruppe ohne Speichelkontamination und dem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®]. Auch signifikant schlechtere Resultate erzielten die Fissurenversiegler Conseal f, Ultraseal XT[®]plus, Diaseal und Smartseal[®]opaque in der Versuchsreihe mit künstlicher Alterung und Klint ohne eine Kontamination mit künstlichem Speichel ($p < 0,001$, Tukey`s Test).

In allen Kontrollgruppen unabhängig von der jeweiligen Methode der Vorbehandlung konnte ohne eine Speichelkontamination signifikant höhere Randdichten erzielt werden als mit einer Speichelkontamination ($p < 0,001$, Tukey`s Test).

Conseal f, Smartseal[®]opaque und Delton[®]FS+opak wiesen in der Thermocyclinggruppe mit der Pulverbestrahlung und ohne eine Speichelkontamination signifikant bessere Ergebnisse als mit einer Speichelkontamination auf. Auch die Gruppe mit künstlicher Alterung ohne Speichelkontamination und der Bürstenreinigung mit Klint konnten die Versiegler Diaseal und Delton[®]FS+opak signifikant bessere Resultate erzielen ($p < 0,001$, Tukey`s Test).

Die ermittelten Ergebnisse wurden mit Hilfe der Bonferroni Holm Korrektur überprüft und bestätigt.

5 Diskussion

5.1 Die Übertragbarkeit der In-vitro Studien auf die In-vivo Studien

Gerade in der Untersuchung neuer dentaler Werkstoffe, die innerhalb kurzer Zeit auf den Markt gebracht werden, sind In-vivo Studien über Jahre oft weniger zielführend, denn die Resultate beschreiben bereits veraltete Materialien. Standardisierte Untersuchungsmethoden lassen eine objektive Beurteilung zu, da auf die Compliance des Patienten, ein unterschiedliches Mundhygieneverhalten oder auf verschiedene

Speichelzusammensetzungen verzichtet werden kann (Tsotsoria, 2012). Wie die Zugversuche sind auch die Penetrationstests mit Farbstofflösungen eine weit verbreitete Methode zur Erforschung der Fissurenversiegler (Bevilacqua et al., 2007; Asselin et al., 2008). Dabei bietet die mikroskopische Auswertung extrahierter Zähne eine verlässliche Aussage. Wenngleich die Anwendung künstlicher Mundhöhlenbedingungen, wie die künstliche Alterung im Thermocycler oder der Einsatz von Fusayama Speichel letztendlich nur eine Simulation künstlicher Mundhöhlenbedingungen darstellen, können ethische Aspekte der In-vivo Untersuchungen bei der Materialuntersuchung weitestgehend vernachlässigt werden (Tsotsoria, 2012).

5.2 Materialien und Versuchsdurchführung

5.2.1 Zahnproben

Für alle Versuchsreihen wurden menschliche obere und untere Weisheitszähne ausgewählt. Da die Molaren von vielen verschiedenen Patienten mit den unterschiedlichsten Ernährungsgewohnheiten und einem möglichen Konsum von Genussmitteln stammten, stellen die Zähne eines der größten Fehlerquellen in dieser Untersuchung dar. In wie weit diese Gewohnheiten, eine eventuelle Fluoridanamnese, das Alter und die Herkunft der Patienten Einfluss auf die Histologie und Biochemie des Schmelzes haben, wurde in dieser Studie nicht weiter berücksichtigt. Es ist aber davon auszugehen, dass bei den Versuchszähnen keine einheitliche Schmelzqualität vorlag. Um diesen Einflussfaktoren weitgehend vorzubeugen, wurden in dieser Untersuchung meist impaktierte Weisheitszähne verwendet. In der Vergangenheit wurde bereits festgestellt, dass gerade untere Molaren populationsspezifische Unterschiede aufweisen, die in physiologischer Weise Differenzen in der Zahl und Größe der Höcker und der Höckerkontakte in den Fissuren verursachen (Schulze, 1987).

Gerade die eben beschriebenen Formvarianten sind bei den Weisheitszähnen besonders ausgeprägt. Diese Zähne weisen zwar die Grundmerkmale der anderen Molaren auf, sind aber in der Form ihrer Kronen und Wurzeln sehr vielfältig (Lehmann und Hellwig, 2002). Auf die verschiedenen Fissurenbilder wurde in dieser In-vitro Studie nicht weiter eingegangen.

Zum Ausschluss von möglichen weiteren Fehlerquellen wurde bei der Bearbeitung der Versuchszähne streng auf die Angaben der Hersteller geachtet. Um eine artifizielle Schädigung der Zahnhartsubstanz zu verhindern, wurden die Molaren in

physiologischer Kochsalzlösung gelagert. Des Weiteren wurde die Präparation der Schnitte unter ständiger Wasserkühlung durchgeführt, um einer thermischer Schädigung entgegenzuwirken. Die Zähne befanden sich nur zum Zeitpunkt der Zahnreinigung, der Fissurenapplikation, der Einbettung in dem Kunststoff, dem Nagellackauftrag und der mikroskopischen Auswertung im trockenen Milieu. Dies geschah allerdings nie mehr als fünf Minuten. Von einer irreversiblen Austrocknung des Zahnschmelzes kann daher nicht ausgegangen werden.

5.2.2 Die Lagerungsmedien Kochsalzlösung und destilliertes Wasser

Die in dieser In-vitro Studie verwendeten Proben wurden ab dem Zeitpunkt der Extraktion über die Versuchsdurchführung bis zum Ende der Untersuchung in physiologischer Kochsalzlösung gelagert. Während der Durchführung der künstlichen Alterung durch den Thermocycler erfolgte die Lagerung in destilliertem Wasser. In der Literatur sind eine Vielzahl von Lagerungsmedien bekannt und beschrieben worden. Unter anderem zählen Ethanol, Formalin, Chloramin, Leitungswasser, destilliertes Wasser, Thymol, Wasserstoffperoxid und Kochsalzlösung in unterschiedlichen Konzentrationen zu diesen Medien (Goodis et al., 1991, 1993; Haller et al., 1993; Moura et al., 2004; Santana et al., 2008; Tonsun et al., 2007). Es gibt auch heute keine einheitliche Linie zur entsprechenden Verwendung der Lösungsmittelkonzentration, der Lagerungsdauer und -temperatur. An das Lösungsmittel werden einige Anforderungen gestellt, wie etwa den Schutz der Zahnproben vor der Dehydratation, die Verhinderung einer möglichen Kreuzkontamination zwischen den Zähnen und die Unterbrechung der Infektionskette durch die Inaktivierung der pathogenen Keime. Des Weiteren sollte das zu verwendende Medium die De- und Remineralisation nicht beeinflussen (Tosun et al., 2007; Baumeister, 2011). Ein häufig verwendetes und auch in dieser Studie benutztes Lagerungsmedium ist die 0,9%ige Kochsalzlösung (Blackwood et al., 2002; Singla et al., 2011). Sie ist isotonisch, da sie den gleichen osmotischen Druck wie die Körperflüssigkeit besitzt und daher keine Osmose stattfinden kann. In einem Liter Wasser sind 9 g Natriumchlorid gelöst (Margaretha, 2002). Somit besitzt NaCl kein antimikrobielles Wirkspektrum und hat keinen signifikanten Einfluss auf die Demineralisation und Remineralisation (Baumeister, 2011). Da eine Desinfektion nicht Gegenstand der Untersuchung war, aber eine De- bzw. Remineralisation ausgeschlossen werden sollte, stellte das Lösungsmedium Kochsalzlösung ein passendes

Lagerungsmedium für diese Studie dar. In einer anderen Untersuchung wurde der Einfluss der Lagerungsmedien auf die Scherfestigkeit und Haftkraft von Kompositen auf humanen Zähnen nachgewiesen. Dabei konnte die isotonische Kochsalzlösung die zweitgrößten Haftwerte nach normalem Leitungswasser zeigen (Doderer, 2010). Dagegen kam eine andere Studie zu dem Ergebnis, dass die Verwendung der Salzlösung über einen Zeitraum von sechs Monaten zu einer signifikanten Abnahme der Permeabilitätsfähigkeit durch Veränderungen im Dentin führte und als Lagerungsmedium ungeeignet scheint (Goodis et al., 1991; Goodis et al., 1993). So wurde die Dauer der Lagerung von einigen Autoren als Einflussgröße auf die Ergebnisse von Studien beschrieben. Eine Untersuchung riet von einer Lagerung über einen Monat ab, da die Bindungsstärken signifikant abnahmen. Dagegen änderten sich die Bindungsstärken in den verschiedenen Lagerungsmedien bei Lagerungszeiträumen von sieben Tagen bis zu 30 Tagen nicht wesentlich (Santana et al., 2008). In dieser Studie befanden sich die Zahnproben weniger als einen Monat bis zur Untersuchung in isotonischer Kochsalzlösung. Der Faktor der Lagerungszeit kann in dieser Studie deshalb vernachlässigt werden. In einer weiteren Studie wurde die Bedeutung der Wasserlagerung für die marginale Adaptation von Kompositfüllungen untersucht. Nach einer zehntägigen Wasserlagerung kam es durch die initiale Quellung zunächst zu einer Verkleinerung der Randspalten. Diese hatte klinisch keine Relevanz. Nach einer sechswöchigen Wasserlagerung und einer künstlicher Alterung mit thermischer Wechselbelastung wurde in nahezu allen Proben eine signifikante Verschlechterung der marginalen Adaptation registriert. Der Grad der Wasseraufnahme ist auch vom Füllstoffgehalt und von den chemischen und physikalischen Eigenschaften der polymeren Matrix, dem Füllkörpertyp und der Verbindung vom Füllkörper mit der Matrix abhängig. Je geringer der Füllstoffanteil, desto höher ist der Anteil an organischer Matrix und desto mehr Wasser kann in die Kunststoffmatrix diffundieren. Dabei messen die Autoren der hygroskopischen Expansion wenig klinische Relevanz bei (Hannig et al, 1994). Untersuchungen einer einjährigen Wasserlagerung und einer anschließenden Temperaturwechselbelastung zeigten statistisch signifikante Verschlechterungen des Randspaltverhaltens der Kompositfüllungen (Blunck und Roulet, 1997).

5.2.3 Auswirkungen der Speichelkontamination

Die hochreaktive Fläche des Schmelzes ist sehr feuchtigkeitssensibel (Kappert und Eichner, 2008). Durch die Verunreinigungen mit Speichel, Blut oder Gingivaflüssigkeit verliert der Schmelz den durch die Säureätzung erhöhten Porengehalt und die Haftung des Fissurenversieglers wird stark beeinträchtigt (Kappert und Eichner, 2008). Die Zusammensetzung des Speichels ist eine sehr variable Größe und der pH-Wert liegt meist im schwach-sauren Bereich zwischen 6,7 und 6,8. Bereits in den vergangenen Studien war die Interaktion von Speichel und Material von besonderem Interesse. Laut Herstellerangaben sollten die verwendeten Kunststoffe nach Möglichkeit unter absoluter Trockenlegung appliziert werden. Gerade diese Form der Trocknung ist jedoch bei Kindern und Jugendlichen bei einer verminderten Compliance oft nicht realisierbar. Manchmal ist die Mitarbeit so schlecht, dass bei einer relativen Trockenlegung eine kurze Kontamination mit Speichel nicht verhindert werden kann. Um auch das Verhalten der Fissurenversiegler bei einer Kontamination mit Speichel zu untersuchen und damit diese Studie aussagekräftiger zu machen, wurden jeweils 5 µl künstlich hergestellter Fusayama-Speichel auf die Fissuren aufgetragen. Nach einer Studie aus dem Jahr 1993 wurden bei einer Speichelkontamination mit 4 µl reduzierte Bindungsstärken beobachtet, sowie vermehrte Bindungsfehlstellen zwischen dem Zahn und dem Primer (Xie et al, 1993). Dagegen zeigte eine andere Untersuchung mit einer Speichelkontamination nach sechs monatlicher Lagerung nur minimal geringere Haftwerte. Des Weiteren beschreibt die Studie unterschiedliche Materialreaktionen auf die Speichelkontamination und nannte als Ursache für die Haftwertverluste Degradationsprozesse, eine mangelnde Konditionierung durch verdünnte Adhäsivkomponenten und strukturelle Probleme der Interaktionsschicht durch übermäßige Hohlräume innerhalb des Materials (Schnuck, 2009). Auch diese In-vitro Studie konnte eine signifikant höhere Randundichtigkeit bei allen untersuchten Fissurenversiegler mit Speichelkontamination zeigen. Bei einzelnen Proben wurde sogar der vollständige Verlust der Fissurenversiegelung beobachtet. Neben der fehlenden Bindung der Materialien am Schmelz wurden auch vermehrt Luftblasen in der gesamten Versiegelung festgestellt.

Im Speichel befinden sich ganze Enzymgruppen, die dem Verbund zwischen dem Kunststoff und der Zahnhartsubstanz schaden können. In einer Studie wurde die Wirkung des HSDE Enzyms genauer untersucht, welches den Abbauvorgang der Matrix auf Methacrylat-Basis katalysiert. Aus dem Bis-GMA entstand das Bis-HPPP. Die

Frakturbelastbarkeit von Kompositen und Adhäsiven fiel ab. Bereits nach einer Inkubation von acht Tagen in einem mit HSDE-Enzymen angereicherten Speichel konnten im Vergleich zu anderen Lagerungsmedien vermehrt Bis-HPPP nachgewiesen werden. Bei der Inkubation innerhalb von sechs Monaten nach Restaurationslegung wurde der Verfall der mechanischen Integrität der Kunststoff-Dentin Zwischenschicht beobachtet (Shokati et al., 2010). Andere Untersuchungen zeigten auch, dass entzündliche Enzyme, wie die Cholesterol- Esterase oder auch die Pseudocholinesterase PCE, zum Abbau von Bis-GMA und TEGMA Bestandteilen in dentalen Kompositmaterialien führen konnten, indem sie die Hydrolyse der Stoffe katalysierten (Finer und Santerre; 2004). Diese Enzyme waren in der Lage ganze Komponenten der Kunststoffmatrix abzubauen und nicht ausschließlich nur ausgelagerte Monomere (Finer und Santerre; 2004). Das Maß der Abbauprodukte hing durch die starke Enzymkonzentrationsabhängigkeit von der individuellen Speichelzusammensetzung ab. Beide Enzyme erhöhten die Hydrolyserate für diese Monomer-Einheiten in Polymeren durch die vermehrte Produktion von HPPP und Methacrylaten (Finer und Santerre; 2004). Eine andere Studie definierte die Hydrolyseraten für Kunststoffbestandteile in folgender Reihenfolge: HPMA < Bis-GMA < LAMA < DEGMA < TEGDMA < UEDMA < DEGDM. Dabei fanden die Autoren heraus, dass ein TEGDMA Polymer einer schnelleren Hydrolyse ausgesetzt war als ein Bis-GMA Polymer. So konnte geschlussfolgert werden, dass die im Speichel befindlichen Hydrolasen die Verschleißraten von Kunststoffmaterialien erhöhten. Die Verschleißrate ist bei einem hohen TEGDMA-Inhalt in der Monomermischung besonders groß (Munksgaard und Freund; 1990).

5.2.4 Schmelzhaftung

Die Schmelzhaftung gilt als ein zentrales Problem in der präventiven und konservierenden Zahnheilkunde. Aufgrund der eher glatten Schmelzoberfläche und einer geringen Oberflächenenergie ist die Erzeugung eines stabilen Fissuren-Schmelzverbundes problembehaftet (Weber, 2003). Bei Schmelzflächen, die ohne eine vorhergehende Phosphorsäurebehandlung mit einer Füllung versehen worden waren, zeigten sich bereits nach kurzer Zeit Randspaltbreiten von 2 µm bis 12 µm (Hannig et al, 1994). Um eine Bindung zwischen dem Schmelz und dem Versieglerkunststoff herstellen zu können, muss die Säure eine raue und energiereiche Oberfläche schaffen.

Diese sollte aufgrund des unterschiedlichen Säureverhaltens der Prismenzentren und der Prismenperipherie genug Mikrokavitäten aufweisen (Basting, 1987). Die Säurekonzentration, die Ätzdauer und die chemische Zusammensetzung des Enamels regeln die Rautiefe und die Menge des abgetragenen Schmelzes. Im Durchschnitt gehen 10 µm an Schmelzfläche verloren und Rauigkeiten von 5 µm bis 50 µm entstehen. Die Tiefe des retentiven Ätzmusters steigt aber nur bis zu einer Säurekonzentration von 40%, bei einer noch höheren Konzentration wird nicht mehr genug Calcium aus dem Verbund herausgelöst und das Ätzmuster verliert an Ausprägung (Kappert und Eichner, 2008). Die Säureätzung erreicht eine höhere Oberflächenenergie, wodurch sich die Stoffe besser verteilen können und durch die Kapillarkräfte in die Mikroporositäten gelangen (Kappert und Eichner, 2008). Einige Autoren fanden in ihren Untersuchungen heraus, dass eine längere Ätzzeit von 60 Sekunden im Vergleich zu den von den Herstellern geforderten 15 Sekunden eine Säurepenetration auch in tiefere Fissuren erlaubte und für die Konditionierung von größeren Schmelzflächen sorgte. Die Kunststoffadaptation am Schmelz wurde damit wesentlich verbessert. Eine Reduzierung der Säureätzung erhöhte die Fehlstellen zwischen dem Fissurenversiegler und dem Schmelz und führte zu einer verminderten Adaptation des Fissurenversiegler an den vertikalen Schmelzwänden (Symons et al., 1996). Zu ähnlichen Ergebnissen bei der 60 Sekunden Ätzung im Vergleich zur 20 Sekunden Ätzung kamen auch andere Autoren. Hier wurden signifikant bessere Tagformationsqualitäten und vor allem längere Tags beobachtet (Celiberti und Lussi, 2005). Nach einer Ätzzeit von 20 Sekunden traten in einer weiteren Untersuchung zwar kohäsive Brüche in den Füllungen auf, doch die Haftwerte bei einer Ätzdauer von 20 Sekunden im Vergleich mit einer Ätzdauer von 40 Sekunden lieferten ähnliche Ergebnisse, so dass die Autoren zu dem Schluss kamen, dass auch eine Phosphorsäurebehandlung von 20 Sekunden als ausreichend anzusehen ist (Buchalla et al., 1997). In einigen Arbeiten wurde sogar empfohlen speziell bei der Fissurenversiegelung die Ätzzeit auf 120 Sekunden zu erhöhen, da unpräparierter Schmelz geätzt wird, in dem eingelagerte Fluoride und die prismenfreie Zone eine Barriere darstellen (Kappert und Eichner, 2008). Verschiedene Studien zeigten, dass eine erneute Anätzung mit Phosphorsäure über 10 Sekunden gegenüber den Empfehlungen des Herstellers keine negativen Auswirkungen auf die Bindungsstärke hat (Xie et al., 1993). Des Weiteren konnte eine Hohlraumbildung in der Zahn-Versiegler-Schicht durch eine verlängerte Ätzzeit verringert werden (Symons et al., 1996). In anderen Untersuchungen wurde die beste Adhäsion nach einer

Phosphorsäureätzung über 30 Sekunden erzielt (Lussi und Schaffner, 2010). In dieser In-vitro Studie wurde sich streng an die Herstellerangaben gehalten, daher wurde keine Untersuchung mit verlängerten Ätzzeiten durchgeführt. Im Falle des Ultraseal XT[®] plus wurde zusätzlich zur Phosphorsäureätzung ein Primer aufgetragen. Im Primer sind saure Monomere enthalten, die eine selbstkonditionierende Wirkung besitzen. Dabei werden Phosphorsäurereste in die Monomermoleküle eingebaut. Diese Monomermischungen lösen die Schmierschicht auf, demineralisieren den Schmelz und dringen ins entstandene Ätzmuster ein. Ohne vorhergehende Ätzung mit der Phosphorsäure entsteht jedoch nur ein abgeschwächtes retentives Ätzmuster. Die durch das Eindringen des Primers gebildete Hybridschicht misst eine Dicke von 100 nm bis maximal 6 µm (Kappert und Eichner, 2008). In der Literatur wird die Verwendung von All-in-one Adhäsiven und Etch- and rinse-Systemen kontrovers diskutiert und in einer Vielzahl von Studien untersucht. Nach einer 24 stündigen Wasserlagerung von Proben, die mit einem selbstkonditionierenden Adhäsivsystem behandelt wurden, konnten die Autoren einen Abfall der Haftwerte um 35% bis 70% gegenüber der Phosphorsäureätzung nachweisen. Nach dieser Zeit blieben die Werte, trotz der thermischen Wechselbelastungen konstant (Kappert und Eichner, 2008). Etch- and rinse-Systeme zeigten in einer In-vitro Studie weniger Mikrodurchlässigkeiten als All-in-one Produkte oder die alleinige Phosphorsäureätzung (Cehreli und Gungor, 2008). In anderen Studien wurde nachgewiesen, dass ein zusätzliches Ätzen mit einer Phosphorsäure bei All-in-one Produkten keine signifikante Steigerung der Haftfestigkeitswerte mit sich brachte (Beutelspacher, 2004). Bei absoluter Trockenlegung scheint die alleinige Phosphorsäureätzung das Mittel der Wahl zu sein und der zusätzliche Gebrauch von Adhäsivsystemen ist nicht zwingend erforderlich (Symons et al., 1996). Auf der kontaminierten Schmelzoberfläche haben die Adhäsivsysteme einen Vorteil. So fand man in Untersuchungen auf kontaminiertem Schmelz heraus, dass sich die Retentionsraten der Fissurenversiegelung durch den Gebrauch hydrophiler Adhäsive vor dem Auftragen des hydrophoben Kunststoffversieglers verbesserten (Grande et al., 1998; Borsatto et al., 2004; Perdigão et al., 2005). Durch die hydrophile Natur des Materials kam es entweder zur Verdrängung des Speichels oder zur Diffusion des Stoffes durch den Speichel und zur Schmelzbindung. Die Lufttrocknung des Adhäsivsystems führt zu einem weiteren Eindringen in die Schmelzporen (el-Kalla und García-Godoy, 1997). Einen zusätzlichen Vorteil sah man in der Reduzierung der effektiven Fissurentiefe durch das Adhäsiv (Buonocore, 1970).

Auch wenn der Auftrag von Adhäsivsystemen unter der Fissurenversiegelung eine geringere Mikroleakage hervorbrachte, so konnten in nahezu allen Proben Mikrodurchlässigkeiten auch bei den Adhäsiven nachgewiesen werden (Pérez-Lajarín et al., 2003).

5.2.5 Alterungsprozesse durch thermische Wechselbelastungen

Die Mundhöhle ist täglich starken Temperaturschwankungen durch unsere Nahrungsaufnahme unterworfen. Dabei besitzen die Zahnhartsubstanzen und die Kunststoffmaterialien unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten (Hellwig, 2007).

Das Thermocycling dient der Nachahmung der Temperaturschwankungen, die annähernd in der Mundhöhle vorherrschen (Weber, 2003; Wendt et al., 1992). Die Integrität der Zahn-Fissurenversiegler-Zwischenschicht gründet sich auf verschiedenen Faktoren, unter anderem auf die Polymerisationsschrumpfung, die Zeit der Härtung, die Wasseraufnahme und den Unterschied zwischen dem linearen Koeffizienten der thermalen Expansion des Zahnes und der Restauration. Gerade der Ausdehnungskoeffizient von Kunststoffe ist im Vergleich zum Zahn hoch und weist geringere Dimensionsveränderungen durch Temperaturschwankungen auf (Wendt et al., 1992). Bei der Untersuchung auf Farbstoffpenetration konnte bei einer anderen Studie kein Anstieg der Mikrodurchlässigkeit nach Thermocycling beobachtet werden (Wendt et al., 1992; Rossomando und Wendt; 1995), da sich nur interne Rissbildungen im Fissurenversieglermaterial befanden, nicht jedoch an der Material-Schmelz-Zwischenschicht (Becker et al., 1994).

Um die Anforderungen an den Zahnschmelz in dieser In-vitro Studie wiederzugeben, den Ausdehnungskoeffizienten zu belasten und eine schnelle Restaurationsalterung durch thermische Belastungszustände herbeizuführen, wurde das Verfahren des Thermocyclings gewählt (Weber, 2003). Die Empfehlungen zur Anzahl der Zyklen sind in der Literatur sehr variabel. Einige Autoren führten ihre Versuche mit 500 Zyklen durch (Blackwood et al., 2002; Attam et al., 2009) und andere bis zu 2000 Zyklen (Courson et al., 2003; Kramer et al., 2008). Viele Studien ließen die dentalen Materialien bei 5000 Zyklen und Temperaturen von 5°C bis 55°C altern (Barnes et al., 2000; Bevilacqua et al., 2007; Tsotsoria, 2012). Auch in dieser Untersuchung wurden die letztgenannte Zyklenanzahl und Temperaturen von 5°C bis 55°C gewählt, um zum einen den besseren Vergleich zu anderen Studien zu ermöglichen und zum anderen um

die Beständigkeit der Fissurenversiegler über einen längeren Zeitraum und bei weitgehend physiologischen Mundhöhlentemperaturen zu untersuchen. Einige Autoren sahen keinen Zusammenhang zwischen der Anzahl der thermalen Zyklen und den Mikrodurchlässigkeiten der Fissurenversiegler (Celiberti und Lussi, 2005). Andere wiesen Schäden in der Polymerstruktur der Kunststoffe bis hin zur hydrolytischen Degradation der Zahnhartsubstanzen nach (Haller et al., 1993). Bei einer Untersuchung zur künstlichen Alterung wiesen die Komposite das Dreifache der C-O- und C-Si-Verhältnisse im Vergleich zur Ausgangssituation auf. Zusätzlich kam es zu Brechungen der Doppelbindungen und zur Auslösung weiterer Polymerisationsreaktionen (Schulze et al., 2003). Bei einer weiteren Studie konnte der signifikante Einfluss der thermischen Wechsellast auf das Mikroleakage bereits bei 500 Zyklen (5°C-55°C) nachgewiesen werden, dabei waren die Materialtypen bedeutungslos (Wahab et al., 2003). Auch in dieser Studie zeigten sich neben der signifikant erhöhten Randundichte vermehrt Rissbildungen nicht nur am Übergang des Materials zum Schmelz, sondern auch in der gesamten Versiegleroberfläche. Neben dem teilweisen Verlust der Fissurenversiegelung konnte nach dem Thermocycling auch die vollständig freiliegende Fissur beobachtet werden.

5.2.6 Klint und Propyflex®: Wirkung auf den Schmelz

Wasser-Pulverstrahlgeräte zählen heute zu den vielfach eingesetzten Hilfsmitteln zur Reinigung und Bearbeitung der Zahnoberflächen (Blackwood et al., 2002; Bevilacqua et al., 2007). In der Literatur wird die Methode der Airabrasion hinsichtlich ihrer Vor- und Nachteile kontrovers diskutiert und unterschiedliche Ergebnisse dazu veröffentlicht. Einige Studien sehen die Bearbeitung der Schmelzoberfläche als effektiv an (Boyde, 1984).

Die bessere zeitreduzierte Plaqueliminierung, besonders im Fissurenfundus, ist für viele Autoren von großer Bedeutung (Gerbo et al., 1993). Gerade in engen und tiefen Fissuren ist die vollständige Entfernung der Plaque nicht zuverlässig. Aus diesem Grund ist die nachträgliche Reinigung mit Wasserspray grundsätzlich durchzuführen, da die Pulverreste des Natriumbikarbonats in den Fissurenfundi zurückbleiben. Bei der späteren Säureexpression können diese eine Blasenbildung hervorrufen, die einen Retentionsverlust der Fissurenversiegelung zur Folge haben (Staehle, 1994). In dieser In-vitro Studie konnte die nachträgliche Säuberung mit dem Wasserstrahl die

Rückstände des Natriumbikarbonats nicht vollständig entfernen, so dass die Hohlraumbildung Auswirkungen auf die Mikrodurchlässigkeit haben könnte. Einige Autoren forderten, dass die Airabrasion der Bohrerpräparation vorgezogen werden sollte, da es weder zur Vibration, Druck, Hitze, noch Knochenleitung kommen kann (Sengun et al., 2008). Dabei konnte die Bearbeitung der Schmelzfläche als unbedenklich eingestuft werden, auch wenn eine Zunahme der mittleren Rauheitswerte um den Faktor 1,5 festgestellt wurde. Diese war aber klinisch bedeutungslos, da es zu keiner Beschädigung am Schmelz kam (Schulte, 2003). Der durchschnittliche Substanzverlust lag bei 412 µm bis 1040 µm und die durchschnittliche Tiefe bei 64 µm bis 148 µm (Kramer et al., 2008). Es konnten Läsionstiefen im Schmelz von durchschnittlich 0,023 mm beobachtet werden (Topoll et al., 1985). Die Effektivität des Pulver-Wasser-Strahl-Gemisches ist das Ergebnis der artifiziellen Abnahme der organischen Materialien und der mit Fluorid angereicherten Schicht des Schmelzes. Die Makrooberflächenunregelmäßigkeiten führen zu einer größeren Oberfläche, welche wiederum das Erreichen hoher Bindungsstärken erleichtert, die den hohen Thermalkoeffizienten und dem geringeren Elastizitätsmodul des Kunststoffversiegler entgegenwirken (Ellis et al., 1999). Außerdem erzeugt die Airabrasion ein retentiveres Ätzmuster, fördert die Säurepenetration in den tiefen Fissuren und bewirkt ein reaktiveres Enamel. Gleichzeitig wird die Entwicklung der Resin Tags gefördert, um ein besseres Bindungsergebnis zu erzielen (Yazici et al., 2006). Eine alleinige Behandlung mit Airabrasion ohne nachfolgende Säureätzung lieferte keine adäquate Versiegelung, denn das Maß an Mikrodurchlässigkeiten stieg an. So konnte in klinischen Untersuchungen signifikant weniger Mikroleakage bei der Säureätzung beobachtet werden. Eine mögliche Erklärung könnte die Anzahl der Resin Tags und die Qualität der Schmelz-Kunststoffschicht sein (Guirguis et al., 1999). Bei einer In-vitro Untersuchung konnte eine weniger homogene Oberfläche mit tieferen Unregelmäßigkeiten beobachtet werden, dadurch konnte eine bessere Anhaftung an der Zahn-Fissurenversiegler-Schicht gewährleistet werden (Bevilacqua et al., 2007). Lediglich bei der initialen Demineralisation sollte auf eine derartige Reinigungsmaßnahme verzichtet werden, da die Remineralisation weitgehend gestört ist (Schulte, 2003). Bei einer rasterelektronischen Untersuchung beobachtete man lokalisierte Grübchen- und Kraterbildungen, wobei weniger Rillen gesichtet wurden als bei der Untersuchung der Schmelzoberfläche nach der Behandlung mit abrasiven Polierpasten. Einzelne Schmelzkristalle waren aus dem Oberflächenverbund herausgelöst. Nach

15 bis 30 Sekunden wurden die Plaque und das Schmelzoberhäutchen vollständig entfernt (de Boever und Vande Velde, 1985). In weiteren Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Bindungsstärke bei dem pulverstrahlbehandelten säuregeätzten Schmelz nicht signifikant größer war als die Bindungsstärke bei dem mechanisch vorbehandelten säuregeätzten Schmelz (Berry und Ward, 1995; Blackwood et al., 2002). Andere Publikationen wiederum sehen in der Airabrasion gegenüber der mechanischen Bürstenreinigung die besseren Versiegelungen (Chan et al., 1999). Auch in dieser Untersuchung zeigte die vorhergehende Bearbeitung der Fissuren mit einem Pulver-Wasser-Gemisch bei einigen Fissurenversiegeln weniger Mikroleakage nach künstlicher Alterung als mit der Behandlung mit der rotierenden Bürste und Klint. Ohne eine künstliche Alterung der Materialien waren die Randdichten bei der Pulverbehandlung besser als die Bürstenreinigung, allerdings ohne statistische Signifikanz. Anders verhält es sich, laut einigen Veröffentlichungen, aber bei den wesentlich größeren Bindungsstärken bzw. einer geringeren Mikroleakage des pulverstrahlbehandelten, geätzten Schmelz gegenüber dem säuregeätzten Schmelz ohne vorhergehende Oberflächenbehandlung (Berry und Ward, 1995; Hatibovic-Kofman et al., 2001; Bevilacqua et al., 2007). Dabei konnte bei einer Untersuchung eine bessere Retentionsrate nach 24 Monaten beobachtet werden, bei einer anderen Studie erst nach fünf Jahren (Yazici et al., 2006; Bendinskaite et al., 2010). Die hohen Retentionsraten von okklusalen Flächen bei der Airabrasion könnten dadurch erklärt werden, dass Scherbelastungen auf diesen Flächen fehlen (Kanellis et al., 1997). Dagegen gibt es andere Studien, die keine Retentions-unterschiede zwischen der alleinigen Säureätzung und der Kombination aus der Wasser-Pulverstrahlbehandlung mit der darauffolgenden Säurekonditionierung sehen (Brown und Barkmeier, 1996; Bendinskaite et al., 2010). Auch in dieser In-vitro Studie konnten keine wesentlich besseren Ergebnisse bei der Reinigung mit dem Pulverstrahlgerät erzielt werden. Unterschiede zwischen der Bürstenreinigung und der Pulverbestrahlung hinsichtlich eines besseren Dichteverhaltens waren nicht statistisch signifikant. Verluste der Fissurenversiegelung wurden bei beiden Reinigungsmethoden festgestellt. Die unterschiedlichen Parameter, wie die Höhe des Luftdrucks, die Teilchengröße, die Menge der Teilchen, der Düsendurchmesser des Handstücks, die Winkelbildung der Düse, der Abstand zum Objekt und die Zeit der Anwendung spielen laut Literatur für die Entfernung der Zahnhartsubstanz und der Tiefe der Penetration eine entscheidende Rolle. Luftdrücke liegen zwischen 40 psi und 160 psi, 100 psi für den Abtrag bzw. 80 psi für die

Flächenätzung. Die Teilchengrößen liegen zwischen 27 µm und 50 µm, je größer die Teilchen, desto schneller wird das Resultat erreicht. Der Abstand sollte zwischen 0,5 mm und 2 mm betragen, weitere Distanzen produzieren einen diffusen Strahl, es kommt zu einem ungenauen Kavitätenbild und eine verminderte Abtragfähigkeit (Hegde und Khatavkar, 2010). Laut den Herstellerangaben des Prophyflex[®] sollte der Abstand zwischen 3 mm und 5 mm betragen, allerdings erscheint die Abstand-einhaltung problematisch zu sein, da nur mit dem Augenmaß verfahren wurde. Außerdem ist es nicht immer möglich genau das Zentrum der Fissuren zu bearbeiten. Nachteilig für eine exakte Präparation ist der innere Durchmesser der Düse. Je weiter die Düse ist, desto weiter wird der Krater auf dem abgeflachten Schmelz. Dabei spielt der Gebrauch unterschiedlicher Partikelgrößen nur eine Nebenrolle bei dem Substanzverlust (Kramer et al., 2008). Die korrekte Abwinkelung um 90°, der Abstand von etwa 1 mm und die Anwendungsdauer von 15 Sekunden werden als besondere Schwierigkeit der Anwendung aufgefasst (Sengun et al., 2008). Andere Autoren konnten keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Kombinationen Pulverfließrate, Luftdruck und Düsendurchmesser nachweisen (Berry und Ward, 1995; Manhart et al., 2004). Eine Studie, die Untersuchungen über die Sandbestrahlung am Schmelz durchführte, zeigte auf, dass neben dem Glanzverlust und bis zu einer Strahlzeit von 90 Sekunden keine klinisch relevanten Veränderungen am Schmelz zu beobachten waren. Dabei wurde ein Druck von max. 5 kg/cm mit vorgewärmter Luft, Pulver und Wasser aus einer Düse im Winkel von 60° bis 90° und im Abstand von 3 mm bis 5 mm auf die Schmelzoberfläche aufgetragen (Banek-Himpler und Krystyna, 1987).

5.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Penetrationsuntersuchungen zeigten bei allen untersuchten Versieglerkunststoffen ohne eine Speichelkontamination gute Fissurenversieglerqualitäten. Diese Ergebnisse stimmen mit den Aussagen anderer Veröffentlichungen überein (Cueto und Buonocore, 1967; do Rego und Araujo, 1999; Duangthip und Lussi, 2003). Auch in anderen Publikationen konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Fissurenversieglermaterialien hinsichtlich ihrer Mikrodurchlässigkeit ausgemacht werden (Michalaki et al., 2010). Mit der Durchführung der künstlichen Alterung mit thermischer Wechsellast zeigten alle Versieglermaterialien abfallende Adaptations-

fähigkeiten an den Fissurenwänden. Dies wurde auch in anderen Untersuchungen bestätigt (Borem und Feigal, 1994). Grund dafür könnten die unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten des Schmelzes und der Kunststoffe sein (Kappert und Eichner, 2008). Gegen diese Aussage sprechen jedoch Untersuchungen, die keinen Einfluss der thermischen Belastungswechsel und der Zyklenanzahl nachweisen konnten (Celiberti und Lussi, 2005). In einer anderen Studie wurde bei vorherigem thermalem Stress keine Farbstoffpenetration festgestellt (Reinhardt et al., 2004). Der einzige chemisch härtende Versiegler in dieser Studie (Delton[®]FS+opak) zeigte auch nach der künstlichen Alterung weniger Mikroleakage als die lichthärtenden Vertreter. In einer Untersuchung konnte nach einer Tragedauer von einem Jahr eine vollständige Retention bei einem ähnlichen chemisch härtenden Fissurenversiegler beobachtet werden (Osorio et al., 2007; Kargul et al., 2009). Laut einer Studie die einen chemisch härtenden Versiegler über einen Zeitraum von 13 Jahren untersuchte, zeigten sich bei 80% der Fissurenversiegelungen intakte Versiegelungen (Irmisch, 1992). Nach sieben Jahren waren es noch 66% mit einer vollständigen Retention, ein totaler Verlust wurde nur bei 20% beobachtet (Mertz-Fairhurst et al., 1984). Ursache für die gute Fissurenversieglerqualität von Delton[®]FS+opak in dieser Studie kann das sofortige Aushärten direkt nach der Applikation des Materials sein, ohne einen Zeitverlust durch die Bedienung einer Halogen-Lampe. Dadurch besteht keine Gefahr einer erneuten Speichelbenetzung und die Fissurenversieglerkomponenten werden nicht verdünnt. Dagegen steht aber die Aussage in der Literatur, dass chemisch härtende Fissurenversiegler verarbeitungssensitiver sind als lichthärtende Versiegler (Kühnisch et al., 2010). Zum anderen kann auch der Auftrag des Fissurenversieglers Delton[®]FS+opak mit einem speziellen Applikatorröhrchen die Bildung von Luftblasen reduzieren und ein vollständiges Ausfließen der Fissur begünstigen. Da die Hersteller keine genauen Angaben über zugesetzte Katalysatoren und Initiatoren machen, die einen positiven Einfluss auf die Randqualität, Zug- und Druckfestigkeit der Fissurenversiegelung haben könnten, lässt sich nur schwer ein Grund für das bessere Retentionsverhalten ausmachen. Auch können bei unvollständiger Lichtpolymerisation Initiatorenreste im Material verbleiben, die eine schlechte Versieglerqualität begünstigen können. Andere Untersuchungen wiederum zeigten gerade bei den chemisch härtenden Vertretern ein zunehmendes Porenvolumen und damit ein spezifisches Oberflächengebiet mit totalen Porositäten. Die Porengröße ist dabei als kritischer Faktor besonders durch das damit verbundene verschlechterte

Abrasionsverhalten anzusehen (Lekka et al., 1991). Trotz der guten marginalen Integrität (Güngör et al., 2003) wurde ein vollständiger Verlust des selbsthärtenden Fissurenversieglers im feuchten Milieu beobachtet (Grande et al., 1998). Auch in dieser Untersuchung konnten gerade durch die Kontamination mit dem künstlichen Speichel nicht nur mehr Durchlässigkeiten, sondern auch ganze Fissurenversieglerverluste beobachtet werden. Als Ursache dafür kann das reduzierte Säure-Ätz-Relief mit den fehlenden Tags genannt werden. Auch der zurückbleibende Flüssigkeitsspiegel am Fissurengrund, der einen Kontakt vom Kunststoff mit dem geätzten Schmelz verhindert, scheint ein Grund für das erhöhte Mikroleakage zu sein. Klinische Studien zu dem Fissurenversiegler Utraseal XT[®]plus haben bei ihren Auswertungen gute Versieglerqualitäten gezeigt. Dabei erzielte dieser „traditionelle“ Fissurenversiegler bessere Ergebnisse in der Mikroleakage als die chemisch härtenden Vertreter (Conner et al., 2011; Parco et al., 2011). Dafür könnte der zusätzliche Auftrag vom Primer verantwortlich sein, der das Mikroleakage nach der Speichelkontamination reduzieren soll (Borem und Feigal, 1994). Andere Autoren konnten dabei aber keinen Zusammenhang feststellen (Westphal, 2008). In einer Arbeit erzielte auch der gefüllte Versiegler Utraseal[®] XT plus gegenüber Delton[®]FS+opak bessere Resultate (Kwon et al., 2006). Durch das gesteigerte Fließverhalten sah man bei Utraseal XT[®]plus nur wenige Fehlstellen. Dieses Ergebnis konnte in dieser Untersuchung nicht belegt werden, auch wenn Utraseal XT[®]plus einer der besseren Fissurenversiegler war, konnten die höhere Randidichten bei dem chemisch härtenden Delton[®]FS+opak beobachtet werden. Ein signifikanter Vorteil der vorhergehenden Reinigung mit einem Pulver-Wasser-Gemisch, wie das Prophyflex[®] konnte nicht nachgewiesen werden. Das entspricht auch den Ergebnissen anderer Untersuchungen (Yazici et al., 2006; Bendinskaite et al., 2010). Andere Untersuchungen wiesen signifikant höhere Bindungsstärken durch den Gebrauch von Pulverstrahlgeräten nach (Berry und Ward, 1995; Brown und Barkmeier, 1996; Bevilacqua et al., 2007). Zum Teil waren auch einige Fissurenversiegler wie Delton[®]FS+opak oder auch Utraseal XT[®]plus schlechter als mit der Reinigung mit einer fluoridfreien Prophylaxepaste. Pulverrückstände in den tiefen und engen Fissuren, wie in I- und IK-Fissuren, könnten der Grund für die Durchlässigkeiten in der Fissurenversiegelung sein. Bei einigen Autoren spielte auch der erhöhte Zeitfaktor und die damit verbundene Gefahr der Speichelkontamination oder einer möglichen Kontamination mit der feuchten Atemluft eine entscheidende Rolle (Blackwood et al., 2002). Ob und in wie weit eine Reinigung mit einem Pulver-Wasser-Gemisch oder mit

einer fluoridfreien Prophylaxepaste einen positiven Einfluss gegenüber dem Verzicht der Fissurenreinigung auf die Adaptation der Fissurenversiegler an den Schmelzwänden hat, wurde in dieser In-vitro Studie nicht weiter erläutert.

6 Schlussfolgerung

Mit den Einschränkungen einer In-vitro Studie kann geschlussfolgert werden, dass eine Speichelkontamination nach der Säureätzung und vor der Applikation der Fissurenversiegelung zur Verschlechterung der Dichtigkeit dieser Fissurenversiegler bis hin zum vollständigen Verlust des Materials führt. Auffällig war bei allen Versiegler die exzessive Hohlrumbildung im speichelkontaminierten Fissurensystem, die möglicherweise für das entstandene Mikroleakage und den Bindungsverlust des Materials verantwortlich gemacht werden kann.

Grundsätzlich eignen sich alle untersuchten Fissurenversiegler für den Verschluss des Fissurensystems, wobei Delton®FS+opak bei den Versuchen mit Speichelkontamination gegenüber den vier anderen Fissurenversiegler die besten Ergebnisse zeigte. Ohne eine Speichelkontamination hatten alle fünf handelsüblichen Fissurenversiegler ein gutes Dichteverhalten. Es zeigten sich mittlere Scores von 0 bis 2 (nur bei künstlicher Alterung), eine Farbstoffpenetration rund um den Versiegler konnte nur vereinzelt nachgewiesen werden. Statistisch signifikanten Differenzen wurden nicht beobachtet ($p > 0,05$, Tukey`s Test). Entsprechend der Ergebnisse dieser Studie sollte bei Kindern und Jugendlichen mit geringer Compliance der chemisch härtende Fissurenversiegler Delton®FS+opak vorgezogen werden oder ganz auf eine Fissurenversiegelung verzichtet werden, da durch eine Speichelkontamination bei den lighthärtenden Vertretern zunehmend Methylenblauenpenetrationen über die Schmelz-Versiegler-Grenzfläche hinaus beobachtet wurden.

Auch die getesteten zwei Reinigungsmethoden, die Bürstenreinigung mit Klint als Prophylaxepaste und die Reinigung mit dem Pulverstrahlgerät Propyflex®, wiesen keinerlei statistische Signifikanzen hinsichtlich der späteren Fissurenversiegelung auf ($p > 0,05$, Tukey`s Test) mit Ausnahme der Versuchsreihen mit künstlicher Alterung und ohne Speichelkontamination. In den mikroskopischen Aufnahmen konnte bei den Proben mit der Anwendung des Pulverstrahlgeräts zwar vermehrt Natrium-

bikarbonatrückstände am Fissurenfundus beobachtet werden, doch hatten diese scheinbar keinen Einfluss auf das Dichteverhalten der Fissurenversiegelung.

In dieser Untersuchung wurden die Auswirkungen der Speichelkontamination zu anderen Verarbeitungszeiten als zum Zeitpunkt der Fissurenapplikation oder auch vor und während des Säureätzvorgangs und der Lichthärtung nicht berücksichtigt und sollten durch weitere Studien belegt werden. Auch auf das Verhalten unter Kaubelastungen bei den speichelkontaminierten Fissurenversiegelnern konnte nicht weiter eingegangen werden, so dass es auch hier einer kritischen Auswertung bedarf.

7 Zusammenfassung

Die Fissurenversiegelung ist heute ein wichtiger Bestandteil des Individualprophylaxeprogramms für Kinder ab dem 6. bis 17. Lebensjahr zur Prävention von Fissurenkaries. Gerade bei einem hohen Kariesrisiko sollte eine Versiegelung der Fissuren möglichst frühzeitig durchgeführt werden. Zentrales Problem der Fissurenversiegelung ist die Trockenlegung des Fissurensystems während der Applikation des Fissurenversieglermaterials. Da eine absolute Trockenlegung in der kindlichen Mundhöhle oft durch die fehlende oder verminderte Compliance des Patienten nicht zu realisieren ist oder durch die unvollständig durchgebrochenen Molaren unmöglich ist, wächst der Anspruch an die Materialeigenschaften um einen langfristigen Erfolg der Versiegelung zu gewährleisten.

Das Ziel dieser In-vitro Studie war es, das Dichteverhalten von vier handelsüblichen lichthärtenden Fissurenversiegelnern, Ultraseal XT[®]plus (Ultradent Products Inc., USA), Conseal f (SDI Inc., USA), Diaseal (DiaDent group international, Korea), Smartseal[®]opaque (Detax GmbH & Co. KG, Ettlingen, D) und einem selbsthärtenden Fissurenversiegler Delton[®]FS+Fissurenversiegler opak (Dentsply Detrey, Konstanz, D) zu überprüfen. Dabei wurde auch der Einfluss von zwei Fissurenreinigungsmöglichkeiten, wie das Prophyflex[®] 2 2012 (KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, D) und die Bürstenreinigung mit der fluoridfreien Reinigungspaste Klint (Voco GmbH, Cuxhaven, D), und die Kontamination mit Fusayama-Speichel auf die Dichtigkeit der Versiegler untersucht. Um die Studie im Hinblick auf die Langlebigkeit einer Versiegelung mit Kunststoff aussagekräftiger zu gestalten, wurden die Proben einer künstlichen Alterung mit 5000 Zyklen von 5°C bis 55°C ausgesetzt.

Für diese Studie wurden 400 kariesfreie, bleibende, menschliche Molaren des Ober- und Unterkiefers verwendet. Davon wurden 200 Zähne mit einer rotierenden Bürste und Klint und 200 Zähne mit dem Prophyflex[®] gereinigt. Anschließend wurden die Fissurenversiegler nach Herstellerangaben appliziert und die Hälfte der Proben wurde nach der Säureätzung und vor der Fissurenversieglerapplikation, mit Speichel kontaminiert. Danach erfolgte die künstliche Alterung im Thermozykliegerät bzw. die Lagerung im 37°C warmen Brutkasten für 24 Stunden und anschließend die Lagerung im 1%igem Methylenblau für 48 Stunden. Unter ständiger Wasserkühlung wurden aus den behandelten Molaren mit einer diamantierten Trennscheibe 1600 Schnittproben gewonnen, die dann zur qualitativen Auswertung unter dem digitalen Lichtmikroskop (10- bis 200 fache Vergrößerung) betrachtet und mit Hilfe der Scoreeinteilung nach Grande et al. beurteilt wurden.

In den Versuchsreihen mit bzw. ohne eine künstliche Alterung wurde festgestellt, dass durch die Wechsellast im Thermozykliegerät in jeder Versuchsgruppe mehr Mikroleakage zu verzeichnen war. Gerade in den Gruppen, die einer Benetzung mit Fusayama-Speichel unterzogen wurden, konnten die höchsten Scorwerte nachgewiesen werden, wobei jedoch weniger Signifikanzen zwischen den Kontrollgruppen und den Thermocyclinggruppen auftraten. Die Gegenüberstellung der beiden Fissurenreinigungsmethoden Klint und Prophyflex[®] zeigte keine nennenswerten Signifikanzen ($p > 0,05$, Tukey's Test) mit Ausnahme der Versuchsreihen mit künstlicher Alterung und ohne Speichelkontamination. Deutliche Abweichungen der Scorewerte konnten auch innerhalb der Gruppen und innerhalb der einzelnen Fissurenversiegler nicht wahrgenommen werden.

Mit den Einschränkungen einer In-vitro-Studie lässt sich schlussfolgern, dass bei den Versuchen ohne Speichelkontamination alle Materialien als Fissurenversiegler geeignet sind. Nach der künstlichen Alterung der Fissurenversiegelungen konnte signifikant mehr Mikroleakage beobachtet werden. Im Zusammenhang mit der Speichelkontamination verschlechterte sich die Dichtigkeit der Fissuren signifikant, bis hin zum vollständigen Verlust dieser Fissurenversieglerfüllungen bei allen Materialien. Delton[®]FS+opak lieferte die besten Ergebnisse. Kommende Studien sollten die Speichelkontamination zu unterschiedlichen Zeitpunkten untersuchen.

8 Literaturverzeichnis

Ahovuo-Saloranta A, Hiiri A, Nordblad A, Mäkelä M, Worthington H V (2008) Pit and fissure sealants for preventing dental decay in the permanent teeth of children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev* 8: CD001830.

Asselin ME, Fortin D, Sitbon Y, Rompré PH (2008) Marginal microleakage of a sealant applied to permanent enamel: evaluation of 3 application protocols. *Pediatr Dent* 30: 29–33.

Attam K, Talwar S, Yadav S, Miglani S (2009) Comparative analysis of the effect of autoclaving and 10% formalin storage on extracted teeth: A microleakage evaluation. *J Conserv Dent* 12(1) 26–30.

Avery JK: *Oral development and histology*. 2. Aufl. Georg Thieme Verlag, New York, 1994, pp. 228-240.

Banek-Himpler MK: *Die Auswirkungen von Pulverstrahlgeräten zur Zahnreinigung auf die Oberfläche von Zahnschmelz und Gingiva. Eine klinisch-experimentelle Untersuchung am Beispiel des Pulverstrahlgerätes Air-Flow der Firma EMS*. Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule, Aachen, 1987.

Barnes DM, Kihn P, Fraunhofer JA, Elsabach A (2000) Flow characteristics and sealing ability of fissure sealants. *Oper Dent* 25: 306–310.

Basting GH: *Praktische Zahnerhaltungskunde. Ein Handbuch für das gesamte Praxisteam*. 1. Aufl. Quintessenz-Verlags-GmbH, Berlin, 1987, S. 106-107.

Baumeister JP: *Mikroradiografische Untersuchungen zum Einfluss unterschiedlicher Lagerungsmedien und der Politur auf die In-vitro- De- und Remineralisation von bovinem und humanem Schmelz*. Univ. Diss., Medizinische Fakultät Charité der Humboldt-Universität zu Berlin, Berlin, 2011, S. 64.

Bayrak S, Tunc ES, Aksoy A, Ertas E, Guvenc D, Ozer S (2010) Fluoride release and recharge from different materials used as fissure sealants. *Eur J Dent* 4: 245–250.

Becker J, Schriever A, Heidemann D (1994) Haftfähigkeit von Fissurenversiegelungen nach Laserkonditionierung. *Dtsch Zahnärztl Z* 49: 145-147.

- Beirut N, Frencken JE, van't Hof MA, Taifour D, van Palenstein Helderman WH (2006) Caries-preventive effect of a one-time application of composite resin and glass ionomer sealants after 5 years. *Caries Res* 40: 52–59.
- Bendinskaite R, Peciuliene V, Brukiene V (2010) A five years clinical evaluation of sealed occlusal surfaces of molars. *Stomatologija* 12: 87–92.
- Benz C: *Lexikon Zahnmedizin, Zahntechnik*. 1. Aufl. Elsevier Urban & Fischer, München, 2007, S. 249-387.
- Berry EA, Ward M (1995) Bond strength of resin composite to air-abraded enamel. *Quintessence Int* 26: 559–562.
- Beutelspacher C: Der Einfluß der selbstkonditionierenden Dentinhaftvermittler "Resulcin AquaPrime und MonoBond und Solist" verwendet mit beziehungsweise ohne vorherige Ätzung auf die Haftfestigkeit von Kompositproben an Dentinscheiben mit simuliertem Dentinliquorfluß. Univ. Diss., Johann Wolfgang Goethe- Universität, Frankfurt am Main, 2004, S. 70-71.
- Bevilacqua L, Cadenaro M, Sossi A, Biasotto M, Di Lenarda R (2007) Influence of air abrasion and etching on enamel and adaptation of a dental sealant. *Eur J Paediatr Dent* 8: 25–30.
- Biedermann H, Waurick M, Skölziger R (1997) Fissurit F und Helioseal F-Fissurenversiegler mit Fluoridabgabe. *Dtsch Zahnärztl Z* 52: 600–603.
- Blackwood JA, Dilley DC, Roberts MW, Swift EJ (2002) Evaluation of pumice, fissure enameloplasty and air abrasion on sealant microleakage. *Pediatr Dent* 24: 199–203.
- Blunck U, Roulet JF (1997) Einfluß der Wasserlagerung auf die Wirksamkeit von Dentinadhäsiven. *Dtsch Zahnärztl Z* 52: 806-808.
- Borem LM, Feigal RJ (1994) Reducing microleakage of sealants under salivary contamination: digital-image analysis evaluation. *Quintessence Int* 25: 283–289.
- Borsatto MC, Corona S, Alves AG, Chimello DT, Catirse ABE; Palma-Dibb R (2004) Influence of salivary contamination on marginal microleakage of pit and fissure sealants. *Am J Dent* 17: 365–367.

- Borutta A, Hellwig E, Kleeberg L (2011) Kariesprophylaxe durch Intensivfluoridierung. Thieme-Refresher Zahnheilkunde, Thieme Verlag, Stuttgart, R1-R16.
- Bottenberg P, Gräber HG, Lampert F (1996) Penetration of etching agents and its influence on sealer penetration into fissures in vitro. *Dent Mater* 12: 96-102.
- Boyde A (1984) Airpolishing effects on enamel, dentine, cement and bone. *Br Dent J* 156: 287-91.
- Braun AR, Rügheimer S, Frankenberger R, Petschelt A, Krämer N (2002) Fissurenversiegelung: Homogenität, Dichtigkeit und Abrasionsverhalten fließfähiger Komposite. *Oralprophylaxe* 24: 117.
- Brown JR, Barkmeier WW (1996) A comparison of six enamel treatment procedures for sealant bonding. *Pediatr Dent* 18: 29–31.
- Buchalla W, Attin T, Hellwig E (1997) Einfluß der Schmelzätztechnik auf die Haftung von Kompomer-Füllungsmaterialien, *Dtsch Zahnärztl Z* 52: 463-466.
- Buonocore M (1970) Adhesive sealing of pits and fissures for caries prevention, with use of ultraviolet light. *J Am Dent Assoc* 80: 324–330.
- Bürkle V, Hickel R (2003) Fissurenversiegelung mit Glasionomerkementen - eine Literaturübersicht. *Dtsch Zahnärztl Z* 58: 207–211.
- Cehreli ZC, Gungor HC (2008) Quantitative microleakage evaluation of fissure sealants applied with or without a bonding agent: results after four-year water storage in vitro. *J Adhes Dent* 10: 379–384.
- Celiberti P, Lussi A (2005) Use of a self-etching adhesive on previously etched intact enamel and its effect on sealant microleakage and tag formation. *J Dent* 33: 163–171.
- Chan DC, Summitt JB, García-Godoy F, Hilton TJ, Chung KH (1999) Evaluation of different methods for cleaning and preparing occlusal fissures. *Oper Dent* 24: 331–336.
- Conner FA, Vandewalle KS, Bartoloni JA (2011) Degree of microleakage of a self-etch sealant. *Gen Dent* 59: 224–228.

Courson F, Renda AM, Attal JP, Bouter D, Ruse D, Degrange M (2003) In vitro evaluation of different techniques of enamel preparation for pit and fissure sealing. *J Adhes Dent* 5: 313–321.

Cueto EI, Buonocore MG (1967) Sealing of pits and fissures with an adhesive resin: its use in caries prevention. *J Am Dent Assoc* 75: 121–128.

de Boever JA, Vande Velde F (1985) Pulverstrahlgeräte zur Belagsentfernung. Eine klinische und rasterelektronen mikroskopische Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 40: 725-729.

Dennison JB, Straffon LH, More FG (1990) Evaluating tooth eruption on sealant efficacy. *J Am Dent Assoc* 121: 610–614.

Doderer S: Einfluss des Lagerungsmediums auf die Scherfestigkeitswerte eines Self-Etch-Adhäsivs an humanen und bovinen Schmelz- und Dentinflächen. Univ. Diss., Universität Hamburg, 2010, S. 68-69.

do Rego MA, Araujo MA (1999) Microleakage evaluation of pit and fissure sealants done with different procedures, materials, and laser after invasive technique. *J Clin Pediatr Dent* 24: 63-68.

Duangthip D, Lussi A (2003) Microleakage and penetration ability of resin sealant versus bonding system when applied following contamination. *Pediatr Dent* 25: 505–511.

Ehrhardt SC: Evaluation potentieller Infiltrationskunststoffe für Schmelzkaries durch Bestimmung des Penetrationskoeffizienten. Univ. Diss., Medizinische Fakultät Charité`-Universitätsmedizin, Berlin, 2008, S. 11-18.

Eichner K, Kappert HF: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung-Band 1 Grundlagen und ihre Verarbeitung. 7. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2000, S. 198-199.

el-Kalla IH, García-Godoy F (1997) Saliva contamination and bond strength of single-bottle adhesives to enamel and dentin. *Am J Dent* 10: 83–87.

Ellis RW, Latta MA, Westerman GH (1999) Effect of air abrasion and acid etching on sealant retention: an in vitro study. *Pediatr Dent* 21: 316–319.

Finer Y, Santerre JP (2004) Salivary esterase activity and its association with the biodegradation of dental composites. *J Dent Res* 83: 22-26.

Fuchs J: Untersuchungen über Formen, Tiefe und Verteilung der Fissuren bei Prämolaren und Molaren des Menschen. Univ. Diss., Justus Liebig-Univ., Gießen, 1975, S. 62-77.

Galil KA, Gwinnett AJ (1975) Histology of fissures in human unerupted teeth. *J. Dent. Res* 54: 960–964.

Ganß C, Klimek J, Gleim A (1992) Qualität von Fissurenversiegelung mit zwei fluoridfreisetzenden Versieglermaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 54: 108-111.

Gängler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M: Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie. 2. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2005, S. 34-39.

Gerbo LR, Barnes CM, Leinfelder KF (1993) Applications of the air-powder polisher in clinical orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 103: 71-73.

Geurtsen W, Spahl W, Leyhausen G (1999) Variability of cytotoxicity and leaching of substances from four light-curing pit and fissure sealants. *J. Biomed. Mater. Res* 44: 73–77.

Goddon I, Berger S, Senkel H, Tietze W, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R (2007) Klinisches Erscheinungsbild erster bleibender Molaren bei 8- bis 12-jährigen Kindern. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 29: 118–123.

Goodis HE, Marshall GW, White JM (1991) The effects of storage after extraction of the teeth on human dentine permeability in vitro. *Arch. Oral Biol* 36: 561–566.

Goodis HE, Marshall GW, White JM, Gee L, Hornberger B, Marshall SJ (1993) Storage effects on dentin permeability and shear bond strengths. *Dent Mater* 9: 79–84.

Grande RH, Ballester R, Singer JM, Santos JF (1998) Microleakage of a universal adhesive used as a fissure sealant. *Am J Dent* 11: 109–113.

Grewal N, Chopra R (2008) The effect of fissure morphology and eruption time on penetration and adaptation of pit and fissure sealants: An SEM study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 26: 59-63.

Guirguis R, Lee J, Conry J (1999) Microleakage evaluation of restorations prepared with air abrasion. *Pediatr Dent* 21: 311–315.

Gülzow HJ: *Präventive Zahnheilkunde. Grundlagen und Möglichkeiten der Karies- und Gingivitisprophylaxe.* Hanser, München, 1995, S. 117-131.

Güngör HC, Turgut MD, Attar N, Altay N (2003) Microleakage evaluation of a flowable polyacid-modified resin composite used as fissure sealant on air-abraded permanent teeth. *Oper Dent* 28: 267–273.

Haas U: *Physik für Pharmazeuten und Mediziner. Ein Lehrbuch für alle Studierenden mit Physik als Nebenfach.* 6. Aufl. Wiss. Verl.-Ges, Stuttgart, 2002, S. 127-155.

Haller B, Hofmann N, Klaiber B, Pfannkuch A (1993) Beständigkeit des Komposit-Dentinverbundes bei künstlicher Alterung. *Dtsch Zahnärztl Z* 48: 100-104.

Hannig M, Kreuzkamp H, Albers HK (1994) Zur Bedeutung der Wasserlagerung für die marginale Adaptation von Kompositfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 49: 595-600.

Harms V: *Physik für Mediziner und Pharmazeuten.* 18. Aufl. Harms Verlag, Lindhöft, 2010, S. 76-79.

Harten U: *Physik. Einführung für Ingenieure und Naturwissenschaftler.* 3. Aufl. Springer, Berlin, 2009, S. 107-123.

Hatibovic-Kofman S, Butler SA, Sadek H (2001) Microleakage of three sealants following conventional, bur, and air-abrasion preparation of pits and fissures. *Int J Paediatr Dent* 11: 409–416.

Hegde VS, Khatavkar RA (2010) A new dimension to conservative dentistry: Air abrasion. *J Conserv Dent* 13: 4–8.

Hellwege KD: *Die Praxis der zahnmedizinischen Prophylaxe.* 6. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2003, S. 156-180.

Hellwig E: Einführung in die Zahnerhaltung. 4. Aufl. Urban und Fischer, München, 2007, S. 97-177.

Herle GP, Joseph T, Varma B, Jayanthi M (2004) Comparative evaluation of glass ionomer and resin based fissure sealant using noninvasive and invasive techniques-a SEM and microleakage study. J Indian Soc Pedod Prev Dent 22: 56–62.

Irinoda Y, Matsumura Y, Kito H, Nakano T, Toyama T, Nakagaki H, Tsuchiya T (2000) Effect of sealant viscosity on the penetration of resin into etched human enamel. Oper Dent 25: 274–282.

Irmisch B (1992) Kariesprophylaxe mittels Fissurenversiegelung. Dtsch Zahnärztl Z 47: 790–793.

Irmisch B, Rößler I, Range U (1997) Häufigkeit und Retention von Fissurenversiegelungen- eine Querschnittsstudie. Dtsch Zahnärztl Z 52: 190–192.

Jensen OE, Handelman SL (1980) Effect of an autopolymerizing sealant on viability of microflora in occlusal dental caries. Scand J Dent Res 88: 382–388.

Johnson WW, Armanazi Y, Sharp H (1997) Sealant leakage with and without isolation. J Tenn Dent Assoc 77: 32-34.

Kaiser B: Erfolgreiche Prophylaxe: fachlich, wirtschaftlich, organisatorisch. Spitta Verlag, Balingen, 2003. S. 22.

Kanellis MJ, Warren JJ, Levy SM (1997) Comparison of air abrasion versus acid etch sealant techniques: six-month retention. Pediatr Dent 19: 258–261.

Kappert HF, Eichner K: Zahnärztliche Werkstoffkunde und ihre Verarbeitung- Band 2 - Werkstoffe unter klinischen Aspekten, 6.Aufl. Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, 2008, S. 143-235.

Kargul B, Tanboga I, Gulman N (2009) A comparative study of fissure sealants Helioseal Clear Chroma and Delton FS+: 3 year results. Eur Arch Paediatr Dent 10: 218–222.

- Kersten S, Lutz F, Schüpbach P (2000) Optimierung der Fissurenversiegelung. Eine In-vitro-Untersuchung und ihre klinische Relevanz. Schweiz Monatsschr Zahnmed 110: 1178.
- Khanal S, Suprabha BS, Srikant N (2010) Evaluation of microleakage and adaptability of glass ionomer and resin sealants with invasive and non invasive technique. Journal of Nepal Dental Association 11: 4–10.
- Körper K, Ludwig K: Zahnärztliche Werkstoffkunde und Technologie. 2. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1993, S. 211.
- König KG (1963) Dental morphology in relation to caries resistance with special reference to fissures as susceptible areas. J. Dent. Res 2: 461–476.
- Kramer E: Prophylaxefibel. Grundlagen der Zahngesundheit. deutscher Zahnärzterverlag, Köln, 2009. S. 113-116.
- Kramer N, García-Godoy F, Lohbauer U, Schneider K, Assmann I, Frankenberger R (2008) Preparation for invasive pit and fissure sealing: air-abrasion or bur? Am J Dent 21: 383–387.
- Kramer PF, Zelante F, Simionato MR (1993) The immediate and long-term effects of invasive and noninvasive pit and fissure sealing techniques on the microflora in occlusal fissures of human teeth. Pediatr Dent 15: 108–112.
- Kühnisch J, Reichl FX, Hickel R, Reich E, Heinrich-Weltzien R: Leitlinie Fissuren- und Grübchenversiegelung. Stand März 2010,
http://www.dgzmk.de/uploads/tx_szdgzmkdocuments/20100300_Langfassung_Fissurenversiegelung.pdf, 03.10.2011.
- Kwon HB, Park KT (2006) SEM and microleakage evaluation of 3 flowable composites as sealants without using bonding agents. Pediatr Dent 28: 48–53.
- Laurisch L: Individualprophylaxe. Diagnostik und Therapie des individuellen Kariesrisikos. 2. Aufl. Dt. Zahnärzterverl., DÄV Hanser, Köln, 2000, S. 98-109.
- Lehmann KM, Hellwig E: Zahnärztliche Propädeutik. 9. Aufl., Urban & Fischer, München, 2002, S. 32-33.

Lekka M, Papagiannoulis L, Eliades G (1991) Porosity of pit and fissure sealants. *J Oral Rehabil* 18: 213–220.

Lupi-Pégurier L, Muller-Bolla M, Bertrand M-F, Fradet T, Bolla M (2004) Microleakage of a pit-and-fissure sealant: effect of air-abrasion compared with classical enamel preparations. *J Adhes Dent* 6: 43–48.

Lussi A, Schaffner M: *Fortschritte der Zahnerhaltung*. 1.Aufl. Quintessenz Verlag, Berlin, 2010, S. 27-118.

Manhart J, Huth KC, Chen HY, Hickel R (2004) Influence of the pretreatment of occlusal pits and fissures on the retention of a fissure sealant. *Am J Dent* 17: 12–18.

Margaretha P: *Chemie für Mediziner*. 1.Aufl. Springer Verl., Berlin, 2002, S. 45.

Marshall GW, Olson LM, Lee CV (1975) SEM investigation of the variability of enamel surfaces after simulated clinical acid etching for pit and fissure sealants. *J. Dent. Res* 54: 1222–1231.

Marxkors R, Meiners H: *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde*. 5. Aufl. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, München, 2001. S. 269-275.

Marxkors R, Meiners H, Geis-Gerstorfer J: *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. Vom Defekt zur Restauration; mit 11 Tabellen*. 6. Aufl. Dt. Zahnärzte-Verl., Köln, 2008, S. 228-229.

Mertz-Fairhurst EJ, Fairhurst CW, Williams JE, Della-Giustina VE, Brooks JD (1984) A comparative clinical study of two pit and fissure sealants: 7-year results in Augusta, GA. *J Am Dent Assoc* 109: 252–255.

Michalaki MG, Oulis CJ, Lagouvardos P (2010) Microleakage of three different sealants on sound and questionable occlusal surfaces of permanent molars: an in vitro study. *Eur Arch Paediatr Dent* 11: 26–31.

Micheelis W, Hoffmann T: *Vierte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS IV). Neue Ergebnisse zu oralen Erkrankungsprävalenzen, Risikogruppen und zum zahnärztlichen Versorgungsgrad in Deutschland*. Dt. Zahnärzte-Verl., Köln, 2005, S. 6.

Moura JS, Rodrigues LKA, Del Bel Cury AA, Lima EM, Garcia, Rodrigues RM (2004) Influence of storage solution on enamel demineralization submitted to pH cycling. *J Appl Oral Sci* 12: 205–208.

Munksgaard EC, Freund M (1990) Enzymatic hydrolysis of (di)methacrylates and their polymers. *Scand J Dent Res* 98: 261-267.

Nolden R: Zahnerhaltungskunde- begründet von E. Sauerwein. Präventive Zahnheilkunde, Kariologie- Endodontologie- Parodontologie, Kinderzahnheilkunde. 6. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1994, S. 13-14.

Oesterreich D, Ziller S: Präventionsorientierte Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde- wichtige Krankheitsbilder und deren oralprophylaktischer Zugang. Springer Verl., Berlin, 2005, S 553-556.

Osorio E, Osorio R, Davidenko N, Sastre R, Aguilar JA, Toledano M (2007) Polymerization kinetics and mechanical characterization of new formulations of light-cured dental sealants. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 80: 18-24.

Parco TM, Tantbirojn D, Versluis A, Beiraghi S (2011) Microleakage of self-etching sealant on noncontaminated and saliva-contaminated enamel. *Pediatr Dent* 33: 479–483.

Paris S: Versiegelung initialer Schmelzdemineralisationen mit verschiedenen Haftvermittlern und einem Fissurenversiegler bei unterschiedlicher Penetrationszeit in vitro. Univ. Diss., Charité – Universitätsmedizin, Berlin, 2005, S. 50-57.

Perdigão J, Fundingsland JW, Duarte S, Lopes M (2005) Microtensile adhesion of sealants to intact enamel. *Int J Paediatr Dent* 15: 342–348.

Perdigão J, Geraldeli S, Heymann HO, Rosa BT (2000) Effect of conditioner and restorative resin on enamel bond strengths. *Am J Dent* 13: 88-92.

Pérez-Lajarín L, Cortés-Lillo O, García-Ballesta C, Cózar-Hidalgo A (2003) Marginal microleakage of two fissure sealants: a comparative study. *J Dent Child* 70: 24–28.

Pfeiffer M: Morphologische Untersuchung der Fissuren an Prämolaren und Molaren. Univ. Diss., Medizinische Fakultät Charité der Humboldt-Universität zu Berlin, 2002, S. 52-95.

Regolati B (1969) Studien an Schulkindern über Kariesprophylaxe mit Fluoriden. Zeitschrift für Präventivmedizin - Revue de Médecine Préventive 14: 289–290.

Reinhardt R, Wang A, Kaltschmitt J, Koch MJ, Pioch T, Staehle HJ, Schulte A (2004) An in vitro investigation to optimize the quality of compomer-based fissure sealants. Am J Dent 17: 165–168.

Rossomando KJ, Wendt SL Jr (1995) Thermocycling and dwell times in microleakage evaluation for bonded restorations. Dent Mater 11: 47-51.

Santana FR, Pereira JC, Pereira CA, Fernandes Neto AJ, Soares CJ (2008) Influence of method and period of storage on the microtensile bond strength of indirect composite resin restorations to dentine. Braz Oral Res 22: 352–357.

Sauerwein E: Zahnerhaltungskunde. Kariestherapie– Endodontie– Parodontologie, eine Einführung. 5. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1985, S. 132-135.

Schnuck MHA: Untersuchung zur Scherfestigkeit gäniger Adhäsivsysteme nach Speichelkontamination und Alterung. Univ. Diss., Universität Homburg, Homburg/Saar, 2009, S. 20-27.

Schraitle R, Siebert G: Zahngesundheit und Ernährung. 1. Aufl. Hanser Verl., München, 1987, S. 101-113.

Schroeder E: Orale Strukturbiologie. Entwicklungsgeschichte, Struktur und Funktion normaler Hart- und Weichgewebe der Mundhöhle und des Kiefergelenks. 3. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1987, S. 37-79.

Schulte A (2003) Auswirkungen von Wasser-Pulverstrahlgeräten auf Zahnhartgewebe und Restaurationsmaterialien. ZMK 19: 18.

Schulze C: Anomalien und Missbildungen der menschlichen Zähne. 1. Aufl. Quintessenz Verlag, Berlin, 1987, S. 129-171.

Schulze KA, Tinschert J, Marshall SJ, Marshall GW (2003) Der Einfluss der Alterung auf die Farbbeständigkeit und Oberflächenbeschaffenheit von Kompositen. Dtsch Zahnärztl Z 58: 266-272.

Schwenzer N: Konservierende Zahnheilkunde und Mundschleimhauterkrankungen. 1. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1985, S. 239-258.

Seibt W: Physik für Mediziner. 5. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2003, S. 136-148.

Sengun A, Orucoglu H, Ipekdal I, Ozer F (2008) Adhesion of two bonding systems to air-abraded or bur-abraded human enamel surfaces. *Eur J Dent* 2: 167–175.

Shokati B, Tam LE, Santerre JP, Finer Y (2010) Effect of salivary esterase on the integrity and fracture toughness of the dentin-resin interface. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 94: 230-237.

Singla A, Garg S, Jindal SK, Suma Sogi HP, Sharma D (2011) In vitro evaluation of marginal leakage using invasive and noninvasive technique of light cure glassionomer and flowable polyacid modified composite resin used as pit and fissure sealant. *Indian J Dent Res* 22: 205–209.

Staehele HJ: Versiegelungen von Zähnen. Grundlagen - praktisches Vorgehen - zukünftige Entwicklungen. 1. Aufl. Quintessenz-Verl., Berlin, 1994, S. 9-68.

Steininger B, Schwarzbach H, Stachniss V: Mikroskopische Anatomie der Zähne und des Parodonts. 1. Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2010, S. 16-22.

Stroppe H, Langer H, Streitenberger P: Physik für Studenten der Natur- und Ingenieurwissenschaften. Ein Lehrbuch zum Gebrauch neben Vorlesungen. 12. Aufl. Carl-Hanser-Verl., München, 2003, S. 117-136.

Sutalo J, Pupic V, Ciglar I, Skaljic G, Tuda M (1989) Rasterelektronenmikroskopische Studie über die Penetrationsfähigkeit von Versiegelungsmitteln. *Oralprophylaxe* 11: 83-88.

Symons AL, Chu CY, Meyers IA (1996) The effect of fissure morphology and pretreatment of the enamel surface on penetration and adhesion of fissure sealants. *J Oral Rehabil* 23: 791–798.

Theodoridou-Pahini S, Tolidis K, Papadogiannis Y (1996) Degree of microleakage of some pit and fissure sealants: an in vitro study. *Int J Paediatr Dent* 6: 173–176.

Thott EK, Folke LE, Sveen OB (1974) A microbiologic study of human fissure plaque. Scand J Dent Res 82: 428–436.

Tosun G, Sener Y, Sengun A (2007) Effect of storage duration/solution on microshear bond strength of composite to enamel. Dent Mater J 26: 116–121.

Topaloglu AK A, Riza Alpoz A (2010) Effect of saliva contamination on microleakage of three different pit and fissure sealants. Eur J Paediatr Dent 11: 93-96.

Topoll H, Horvath G, Lange DE (1985) Über die Oberflächenbeschaffenheit des Zahnschmelzes, des Wurzelzementes und des Dentins nach Einwirkung von Ultraschall und nach Abstrahlung mit einem Wasser-Natriumbikarbonat-Gemisch. Dtsch Zahnärztl Z 40: 755-758.

Tosun G, Sener Y, Sengun A (2007) Effect of storage duration/solution on microshear bond strength of composite to enamel. Dent Mater J 26: 116–121.

Trowbridge HO (1987) Model systems for determining biologic effects of microleakage. Oper Dent 12: 164–172.

Tsotsoria M: De- und Remineralisation von Zahnhartsubstanz unter Anwesenheit von antibakteriellen Füllungswerkstoffen. Untersuchungen in einem biofilmbasierten In-vitro Kariesmodell. Univ.Diss., Ludwig-Maximilians-Universität, München, 2012, S. 102-119.

Vehkalahti MM, Solavaara L, Rytömaa I (1991) An eight-year follow-up of the occlusal surfaces of first permanent molars. J. Dent. Res 70: 1064–1067.

Verma Gupta K, Verma P, Trivedi A (2011) Evaluation of Microleakage of Various Restorative Materials: An in Vitro Evaluation of microleakage of various restorative materials: an in Vitro study. J Life Sci 3: 29–33.

Viohl J, Dermann J, Quast D, Venz S: Die Chemie zahnärztlicher Füllungskunststoffe. Mit 15 Tabellen. 1. Aufl. Hanser Verl., München, 1986, S. 49-69.

Wadewitz T: Flüssige Grenzphasensysteme: Struktur und Grenzflächeneigenschaften. Uni.Diss., Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg, Halle (Saale), 1999, S. 11-21.

Wahab F K, Shaini FJ, Morgano SM (2003) The effect of thermocycling on microleakage of several commercially available composite Class V restorations in vitro. *J Prosthet Dent* 90: 168–174.

Weber K: Randqualität und Mikropenetrationsverhalten verschiedener Adhäsiv- und Kompositsysteme in gemischten Klasse- V- Kavitäten. Univ. Diss., Universität München, 2003, S. 84-85.

Weber T : *Memorix Zahnmedizin*. 2. Aufl. Georg- Thieme Verlag, Stuttgart, 2003, S.41.

Wendt SL, McInnes PM, Dickinson GL (1992) The effect of thermocycling in microleakage analysis. *Dent Mater* 8: 181-184.

Westphal JO: Der Einfluss von Speichelkontamination beim Klebevorgang auf die Scher- Abschäl-Haftung von Brackets bei Verwendung selbstätzender Primer. Univ.Diss., Medizinische Fakultät der Ludwig- Maximilians-Universität zu München, München, 2008, S. 49.

Xie J, Powers JM, McGuckin RS (1993) In vitro bond strength of two adhesives to enamel and dentin under normal and contaminated conditions. *Dent Mater* 9: 295-299.

Yazici AR, Kiremitçi A, Celik C, Ozgünlaltay G, Dayangaç B (2006) A two-year clinical evaluation of pit and fissure sealants placed with and without air abrasion pretreatment in teenagers. *J Am Dent Assoc* 137: 1401–1405.

Youssef MN, Youssef FA, Souza-Zaroni WC, Turbino ML, Vieira MMF (2006) Effect of enamel preparation method on in vitro marginal microleakage of a flowable composite used as pit and fissure sealant. *Int J Paediatr Dent* 16:342–347.

Zimmer S, Strafela N, Bastendorf KD, Bartsch A, Lang H, Barthel CR (2009) Klinische Erfolgsraten von Fissurenversiegelungen mit Kompomer oder bis-GMA nach drei Jahren. *Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde* 31: 8-12.

Zwiauher K (2011)Karies- und Fluoridprophylaxe bei Kindern und Jugendlichen in Österreich. *Monatsschrift Kinderheilkunde* 159: 1128–1132.

9 Thesen

1. Die Versiegelung von Fissuren und Grübchen mit Kunststoffen ist seit langem ein bewährtes Mittel der Kariesprophylaxe und gehört zu den tragenden Pfeilern der präventiven Zahnheilkunde.
2. Limitierende Faktoren der Fissurenversiegelung sind neben dem Verbund zwischen dem Kunststoff und dem Zahnschmelz, auch die Fissurenmorphologie mit den oft engen Fissureneingangstrichtern und der meist unvollständigen Reinigung des Fissurenfundus. Eine beachtliche Fehlerquelle geht von der Applikation der Versiegelung auf Speichel kontaminierten Fissuren aufgrund der fehlenden absoluten Trockenlegung aus.
3. Penetrationsuntersuchungen und die künstliche Alterung durch das Thermocycling sind gängige und bewährte Verfahren in der experimentellen Zahnheilkunde.
4. Das Ziel dieser In-vitro Studie war es, fünf Fissurenversieglermaterialien (Ultraseal XT[®] plus, Conseal f, Diaseal, Delton[®] FS+ opak und Smartseal[®] opaque) auf ihre Dichtigkeit mit und ohne Speichelkontamination und nach künstlicher Alterung zu bestimmen. Des Weiteren wurde die Effektivität von zwei Reinigungsmethoden, zum einen mit einer fluoridfreien Prophylaxepaste Klint (Voco GmbH, Cuxhaven, D) und einer rotierenden Bürste und zum anderen mit einem Pulverstrahlgerät Prophyflex[®] (KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß, D) genauer untersucht.
5. Die Versuchsreihen mit Speichelkontamination zeigten vermehrt Lufteinschlüsse und Randspalten. Es konnten in dieser Gruppe die häufigsten Versieglerverluste und ein signifikant höheres Mikroleakage beobachtet werden ($p < 0,001$, Tukey's Test).

6. Nach der künstlichen Alterung konnten statistisch signifikant höhere Durchlässigkeiten in den Fissurenversiegelungen beobachtet werden, die Penetration des Farbstoffes erfolgte im oberen Bereich der Schmelz-Fissurenversiegler- Grenzfläche ($p < 0,001$, Tukey's Test).
7. Durch keine der beiden Reinigungsmethoden konnte eine vollständige Reinigung des Fissurenfundus erzielt werden. Allerdings hatten die Reste am Fissurengrund keinen erkennbaren Einfluss auf das Dichteverhalten der Versiegler.
8. Delton[®] FS+ Fissurenversiegler opak zeigte signifikant das geringste Mikroleakage ($p < 0,001$, Tukey's Test). Gerade in den Versuchsreihen mit der Applikation von künstlichen Speichel (Fusayama Speichel) konnte bei diesem Versiegler ein besseres Dichteverhalten beobachtet werden.
9. Die lichthärtenden Fissurenversiegler Ultraseal XT[®] plus, Conseal f und Diaseal zeigten ähnliche Ergebnisse hinsichtlich der Randdichte, sowohl in den Versuchsreihen mit Speichelkontamination, als auch in den Gruppen ohne Fusayama Speichel. Smartseal[®] opaque wies dabei das höchste Mikroleakage auf.
10. Unter den Bedingungen dieser In-vitro Studie lässt sich schlussfolgern, dass grundsätzlich alle Fissurenversieglermaterialien für die klinische Anwendung bei Einhaltung der Herstellerangaben empfehlenswert sind.

10 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name: Corinna Hoidis
Anschrift: Wollenweberstr. 59, 18055 Rostock
Geburtsdatum und -ort: 28.07.1985, Ueckermünde
Familienstand: ledig

Schulische Ausbildung

1992 bis 1996 Grundschole Eggesin
1996 bis 2005 Albert-Schweitzer Gymnasium in Ueckermünde
06/2005 Allgemeine Hochschulreife

Hochschulausbildung

10/2005 Studium der Zahnmedizin an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
09/2006 naturwissenschaftliche Vorprüfung
02/2008 zahnärztliche Vorprüfung
07-11/ 2010 zahnärztliche Prüfung
11/2010 Approbation als Zahnärztin

Beruflicher Werdegang

01/2011 bis 06/2012 Assistenz Zahnärztin in einer allgemein zahnärztlichen Gemeinschaftspraxis, Wolfsburg
seit 07/2012 Weiterbildungsassistentin für Oralchirurgie in der Gemeinschaftspraxis für Mund-, Kiefer- und Plastische Gesichtschirurgie, Rostock
09/2013 2. Platz in der "Dental Challenge" der Firma Voco: Randedichtigkeit des neuen Fissurenversieglers Control Seal mit und ohne zusätzliche Verwendung eines Adhäsiv-Systems vor und nach künstlicher Alterung

11 Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation

*„Der Einfluss der Speichelkontamination und der Behandlung mit einem Pulver-
Wasser-Strahlgerät auf das Dichteverhalten von Fissurenversiegelungen
(Eine In-vitro Studie)“*

zur Erlangung des akademischen Grades „Doktor der Zahnmedizin“ selbstständig, ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Corinna Hoidis, Rostock, 04.07.2014

12 Erklärung über frühere Promotionsversuche

Hiermit erkläre ich, dass ich bisher keine Promotionsversuche unternommen habe. Weder diese noch eine andere Dissertation wurde von mir im Inland oder Ausland einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt. Weitere Promotionsarbeiten zur Begutachtung an der Universität Halle-Wittenberg oder an einer anderen Universität liegen nicht vor.

Corinna Hoidis, Rostock, 04.07.2014

13 Danksagung

Ich danke Herrn Privatdozent Dr. med. dent. habil. Christian R. Gernhardt und im Besonderen Frau Privatdozentin Dr. med. dent. habil. Katrin Bekes für die Überlassung des interessanten Themas und die wohlwollende Unterstützung, Motivation und kritischen Anmerkungen.

Des Weiteren gilt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dr. med. dent. Hans-Günter Schaller für die Zulassung zur Promotion an der Universitätspoliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie des Departments für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg.

An dieser Stelle möchte ich mich bei Frau Dr. rer. nat. Susanne Schulz für die Bereitstellung der Lösungen und bei Frau Dr. med. dent. Sonja Mansour für die Hilfe am Thermozykliegerät bedanken. Auch Frau Dr. med. dent. Elisabeth Ehnert gebührt mein Dank für die wertvollen Hinweise und Ratschläge.

Meinen herzlichen Dank an meine Freunde und Kommilitonen für ihre Hilfsbereitschaft und ständige Motivation.

Zuletzt gebührt mein außerordentlicher Dank meinen Eltern und meiner Schwester, auf deren Unterstützung ich mich immer verlassen konnte und deren konstruktive Kritik zur Fertigstellung dieser Arbeit beigetragen hat.