

Optimierung der Fissurenversiegelung

Eine In-vitro-Untersuchung und ihre klinische Relevanz

Sabine Kersten*, Felix Lutz* und Peter Schüpbach**

* Klinik für Präventivzahnmedizin, Parodontologie und Kariologie

** Institut für orale Mikrobiologie und Immunologie

Schlüsselwörter: Fissurenversiegelung, Schmelz-Adhäsiv-Technik, Kariesprävention

Korrespondenzadresse:
 OA Dr. Sabine Kersten
 Zentrum für Zahn-, Mund- und Kiefererkrankungen
 Universität Zürich
 Plattenstrasse 11, 8028 Zürich
 Tel. +41-1-634 32 84
 Fax +41-1-634 43 08
 E-Mail: kersten@zmk.unizh.ch

(Texte français voir page 1185)

Einleitung

Okklusale Fissuren und Grübchen sind Prädilektionsstellen für die Entstehung von Karies (BRUNELLE & CARLOS 1982, BOHANNAN 1983). Aufgrund der komplexen Anatomie (JUHL 1983) und der damit verbundenen erschwerten Zugänglichkeit für präventive Massnahmen liegt die Kariesprävalenz in den Fissurensystemen der Molaren bei 12–14-jährigen Schülern in der Schweiz bei 80% (MENGHINI et al. 1998).

Früher wurden verfärbte oder kariöse Fissuren mit rotierenden Instrumenten ausgeschliffen und konventionell gefüllt, um ein Fortschreiten der Karies zu verhindern (HYATT 1923, BODECKER 1964). Heute ist dieses Vorgehen wegen des hohen Verlustes an

Die Fissurenversiegelung stellt eine noninvasive präventive Massnahme dar, die die Entstehung von Karies in Fissuren und Grübchen verhindern kann. Das Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war die Untersuchung der Penetrationstiefe eines ungefüllten Versiegelungsmaterials in die Fissur und in die konditionierte Schmelzoberfläche bei unterschiedlicher operativer Technik. Anhand von Schliffpräparaten wurde die Penetrationstiefe in die Fissur lichtmikroskopisch bestimmt und in Relation zur definierten Fissurentiefe gesetzt. Die Adhäsionszone zwischen konditioniertem Schmelz und Versiegler wurde im konfokalen Lasermikroskop qualitativ beurteilt und die Anteile unterschiedlicher Güte vermessen. Das Abwarten einer Penetrationszeit, die Intensivierung des Ätzworganges mit Ultraschall und die Unterstützung des Trockenvorgangs mit Aceton zeigten einen positiven Effekt auf die Penetrationstiefe des Versiegelungsmaterials in die Fissur und in den konditionierten Schmelz. Die Kombination dieser Methoden verbessert die Fissurenversiegelung signifikant. Um die klinische Qualität der Fissurenversiegelungen zu steigern, sind die beschriebenen Massnahmen sinnvoll und zudem klinisch einfach durchzuführen.

gesunder Zahnhartsubstanz und wegen übermässiger Destruktivität obsolet. Die Versiegelung verfärbter oder demineralisierter Fissuren und Grübchen ist neben kariesreduzierenden Massnahmen die präventive Therapie der Wahl (LUTZ et al. 1985, LUSSI & SCHROEDER 1998). Durch adhäsive Versiegelung kann die Entstehung von Karies vermieden, das Fortschreiten von Demineralisationsprozessen verhindert (RIPA 1993) und ein Rückgang der Kariesprävalenz im okklusalen Molarenbereich erzielt werden (ADA COUNCIL 1997).

Fehlerhafte Versiegelungen können jedoch den Fortlauf der Krankheit begünstigen (HOROWITZ et al. 1977, MERTZ-FAIRHURST et al. 1984). Eine Versiegelung ist dann insuffizient, wenn die Verbindung zwischen Versiegelungsmaterial und

Zahnhartsubstanz ungenügend ist. Dies kann zum partiellen oder vollständigen Retentionsverlust des Versiegelungsmaterials führen. Aus einer Zusammenfassung mehrerer klinischer Studien in den USA wurde eine jährliche Verlustrate von Versiegelungen in permanenten Molaren von 5–10% errechnet (FEIGAL 1998).

Fehlerquellen können in den Materialeigenschaften des Versieglers und in der klinischen Vorgehensweise bei der Patientenbehandlung liegen (JASMIN et al. 1991). Das Versiegelungsmaterial sollte die konditionierte Zahnhartsubstanz gut benetzen (LUTZ 1974), zu Gunsten einer tiefen Penetration in die Fissuren niederviskös (PINKERNELL 1994) und gegenüber der Zahnhartsubstanz adherent sein (FORSS et al. 1994). Zwischen autopolymerisierenden und lighthärtenden Versiegern konnten bezüglich Adhäsionskraft (WRIGHT & RETIEF 1984) und klinischer Retentionsrate (SHAPIRA et al. 1990) keine Unterschiede gefunden werden. Auch der Füllungsgrad des Versiegelungsmaterials scheint in Bezug auf Penetrationstiefe (FELDENS et al. 1994) und Retentionsverlust (BOKSMANN et al. 1993) keine Rolle zu spielen. Bei dem klinischen Vorgehen ist auf adäquate Reinigung, Konditionierung der Zahnoberfläche ohne Kontamination und einwandfreie Versieglerapplikation zu achten (WAGGONER & SIEGAL 1996).

Ziel der vorliegenden Studie war die Untersuchung der Penetration eines ungefüllten, lighthärtenden, adhäsiven Versiegelungsmaterials (Heliobond, Viavadent, Schaan, Liechtenstein) in die Fissurentiefe und in die konditionierte Schmelzoberfläche bei unterschiedlichen Konditionierungsverfahren des Fissurensystems.

Material und Methoden

Für 6 Versuchsreihen wurden je 8 extrahierte, kariesfreie menschliche Molaren ausgewählt, die vom Zeitpunkt der Extraktion an in 0,1%iger Thymollösung gelagert worden waren. Die Wurzeln wurden mit einem Scaler von Desmodontalresten befreit und die Kronen mit rotierendem Bürstchen und einem Gemisch aus Bimssteinpulver und Wasser gereinigt. Die Zähne wurden mit kalthärtendem Kunststoff (Paladur, Heraeus-Kulzer GmbH, Wehrheim, Deutschland) zentrisch auf runden Probeträgern fixiert.

Die okklusalen Fissurensysteme wurden mit dem ungefüllten Versiegelungsmaterial Heliobond (Vivadent, FL-Schaan), das mit 0,1% Rhodamin B versetzt worden war und so fluoreszierend wirkte, unter der Anwendung der Schmelz-Adhäsiv-Technik versiegelt. Die zu testenden Faktoren (Tab. 1) waren gegenüber der Kontrollgruppe (Gruppe 1) der Einfluss einer Penetrationszeit (Gruppe 2), Ultraschallanwendung beim Ätzzvorgang (Gruppe 3), Netzmittelzusatz beim Ätzzvorgang (Gruppe 4) und die Anwendung von Aceton beim Trocknungsvorgang nach dem Ätzen (Gruppe 5). In Gruppe 6 wurde eine Kombination der Methoden getestet.

Das Fissurensystem der Zähne der ersten Versuchsreihe (Gruppe 1) wurde mit 37%igem Phosphorsäuregel (Ultraetch, # 1-800-552-5512, Ultradent Products Inc., USA) für 120 Sekunden geätzt. Das Gel wurde so aufgetragen, dass ein 1,5 bis 2 mm breites Ätzmuster um das Fissurensystem entstand. Das Fissurensystem wurde 40 Sekunden mit Wasserspray gespült und anschliessend mit ölfreier Druckluft (2 bar) getrocknet. Das Versiegelungsmaterial wurde mit einer stumpfen Sonde während 15 Sekunden in das Fissurensystem appliziert und direkt im Anschluss für 60 Sekunden von okkusal lichtpolymerisiert (Optilux 500, serial R + D 50010; > 1000 mW/cm², adjust-

Tab. 1 Versiegelungsmethoden der sechs Testgruppen (n = 8) in der Übersicht.

Gruppe 1

Phosphorsäure-Gel (35%, Ultra-Etch, # 1-800-552-5512, Ultradent Products Inc., South Jordan, UT, USA) mit einer Einwirkzeit von 120 Sekunden, Versieglerapplikation während 15 Sekunden *ohne Penetrationszeit*.

Gruppe 2

Phosphorsäure-Gel mit einer Einwirkzeit von 120 Sekunden, Versieglerapplikation während 15 Sekunden *mit einer Penetrationszeit von 20 Sekunden*.

Gruppe 3

Phosphorsäure-Gel mit einer Einwirkzeit von 120 Sekunden, *ultraschall-unterstützt* (microPiezon mit SP-tip, EMS, Nyon, Schweiz), Versieglerapplikation während 15 Sekunden mit einer Penetrationszeit von 20 Sekunden.

Gruppe 4

37% ethanolsche Phosphorsäure-Lösung mit einer Einwirkzeit von 120 Sekunden, Versieglerapplikation während 15 Sekunden mit einer Penetrationszeit von 20 Sekunden.

Gruppe 5

Phosphorsäure-Gel mit einer Einwirkzeit von 120 Sekunden, *Schmelztrocknung mit Aceton*, Versieglerapplikation während 15 Sekunden mit einer Penetrationszeit von 20 Sekunden.

Gruppe 6

Phosphorsäure-Gel mit einer Einwirkzeit von 120 Sekunden, *ultraschall-unterstützt* (MiniPiezon mit SP-tip, EMS, Nyon, Schweiz), *Schmelztrocknung mit Aceton*, Versieglerapplikation während 15 Sekunden mit einer Penetrationszeit von 20 Sekunden.

ment by Demetron Curing Radiometer, model 100, P/N 10503, serial # 130207, Demetron, Danbury, CT, USA).

In der zweiten Versuchsreihe (Gruppe 2) wurde wie oben beschrieben verfahren, wobei nach der Applikationszeit des Bonds von 15 Sekunden bis zur Lichtpolymerisation eine Penetrationszeit von 20 Sekunden abgewartet wurde.

In der dritten Versuchsreihe (Gruppe 3) wurden die Zähne während der Einwirkzeit des Ätzzgels zusätzlich mit einem Ultraschallgerät (microPiezon mit SP-Ansatz, EMS, Nyon, Schweiz) intermittierend in Schwingung versetzt. Anschliessend wurde während 15 Sekunden das Bond appliziert und nach weiteren 20 Sekunden lichtpolymerisiert (60 Sekunden).

In der vierten Versuchsreihe (Gruppe 4) wurde der Ätzzvorgang mit einer wässrigen äthanolischen Phosphorsäure-Lösung (37 ml 85% H₃(PO)₄ in 48 ml 96% Ethanol) durchgeführt. Das Fissurensystem wurde ebenfalls für 120 Sekunden angeätzt, 40 Sekunden lang abgesprayt und mit ölfreier Druckluft (2 bar) getrocknet. Die weitere Versiegelung erfolgte entsprechend den Gruppen 2 und 3.

In der fünften Versuchsreihe (Gruppe 5) wurde das Fissurensystem nach dem Ätzzvorgang mit 37%igem Phosphorsäuregel (Ultraetch, # 1-800-552-5512, Ultradent Products Inc., USA) und dem Abwaschen für 40 Sekunden zweimal mit 0,5 ml Aceton (99,5%, HS-Nr. 2914 11 00) benetzt und mit Druckluft (2 bar) getrocknet. Die Applikations-, Penetrations- und Polymerisationszeit wurden entsprechend den Gruppen 2 bis 4 beibehalten.

In der sechsten Versuchsreihe (Gruppe 6) wurde das Fissurensystem für 120 Sekunden mit 37%igem Phosphorsäuregel

(Ultraetch, # 1-800-552-5512, Ultradent Products Inc., USA) angeätzt. Während des Ätzvorganges wurde der Zahn zusätzlich mit einem Ultraschallgerät (microPiezon mit SP-Ansatz, EMS, CH-Nyon) intermittierend in Schwingung versetzt. Nach dem Abspülen des Ätzgels wurde das Fissurensystem zweimal mit 0,5 ml Aceton (99,5%, HS-Nr. 2914 11 00) benetzt und mit Druckluft (2 bar) getrocknet. Die Versiegelung erfolgte wie für die Gruppen 2 bis 5 beschrieben.

Aus den versiegelten Zähnen wurden Schliffpräparate hergestellt (Isomet 11-1180, Buehler LTD, Illinois). Die Zähne wurden in bucco-oraler Richtung durch den tiefsten Punkt der Zentralfissur geschnitten. Das Penetrationsverhalten des Versieglers in die Fissur wurde unter dem Auflichtmikroskop (Zeiss, Oberkochen, Deutschland) bei 64facher Vergrößerung untersucht. Dabei wurde die Fissurentiefe als Abstand zwischen dem Fissurreneingang mit einer Breite von 200 µm zum Fissurenboden definiert. Die Strecke des penetrierten Versieglers wurde vermessen und in Relation zur Fissurentiefe gesetzt (Abb. 1a).

Die beidseitigen Grenzflächen zwischen Versiegler und Zahnhartsubstanz in der Schnittebene wurden im konfokalen Lasermikroskop (confocal scanning light microscope – CLSM) analysiert (Abb. 1b). Die Schliffpräparate wurden auf Glasträgern

befestigt und während der gesamten Untersuchung unter 100%iger Feuchtigkeit gehalten. Die Analyse erfolgte unter einem Mikroskop (Axioplan, Zeiss, Oberkochen, Deutschland), das mit einem konfokalen Argon-Crypton-Laser (Bio-Rad MRC 600, Bio-Rad, Glattbrugg, Schweiz) ausgerüstet war. Konfokale Laserfluoreszenz-Bilder (excitation 520 nm, emission 580 nm) wurden durch eine Wasserobjektiv-Linse (Plan Neofluar 25×/0,8) erzeugt. Die Rohbilder wurden mit einer speziellen Software (Imaris, Bitplane, Zürich, Schweiz) in einer Indigo-2ex-Workstation (Silicon Graphics, Mountain View, CA, USA) entwickelt. Die abschliessenden Bilder wurden in einem digitalen Drucker (Fujix Pitrography 3000, Fuji, Tokyo, Japan) gedruckt.

Die gegenüberliegenden Adhäsionszonen der Schnittflächen wurden in ihrer Gesamtlänge vermessen und in einzelne, qualitativ unterschiedliche Abschnitte unterteilt. Die Länge der zottenförmigen Formationen des Versieglungsmaterials im Ätzmuster des Schmelzes dienten als Mass für die Güte der Adhäsionszone. Das Versiegler-Schmelz-Interface wurde demnach in vier Klassen unterteilt. Alpha: Zotten-Länge > 20 µm, beta: Zotten-Länge < 20 µm, gamma: Keine Zottenbildung und delta: Sichtbarer Spalt. Da nur in einer Untersuchungsgruppe

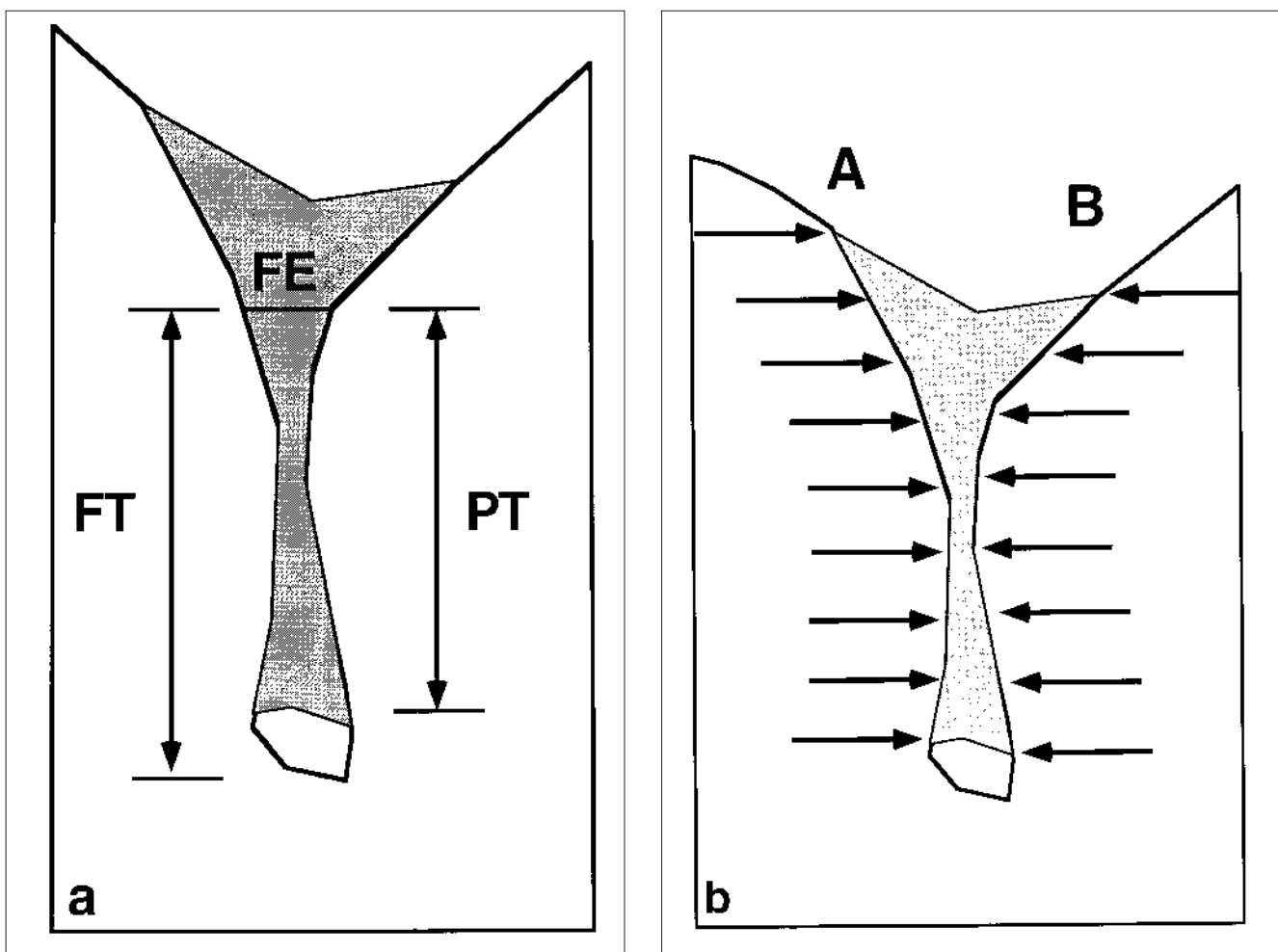


Abb. 1 Schemazeichnung einer bucco-oralen Schlifffläche durch einen versiegelten Zahn. a) Messung der Fissurentiefe (FT) vom Fissurreneingang mit einer Breite von 200 µm (FE) zum Fissurengrund; Messung der Penetrationstiefe (PT) vom Fissurreneingang (FE) bis zum Ende der Versiegler-schicht. b) Untersuchung der Versiegler-Schmelz-Interfaces auf einer A- und der gegenüberliegenden B-Seite.

Fig. 1 Schéma d'une coupe bucco-orale polie dans une dent avec scellement. a) Mesure de la profondeur du sillon (FT), du début à partir d'une largeur de 200 µm (FE) au fond du sillon; mesure de la profondeur de pénétration (PT) du début du sillon (FE) à la fin de la couche de scellement. b) Etude de l'interface scellement-émail des côtés opposés A et B.

Alpha-Konfigurationen angetroffen wurden, wurden zur abschliessenden Auswertung die Alpha- und Beta-Abschnitte statistisch den Gamma- und Delta-Abschnitten gegenübergestellt.

Zur statistischen Auswertung der prozentualen Penetrationstiefe in die Fissuren wurden ANOVA- und Scheffe-F-Test durchgeführt. Die qualitative Beurteilung der Adhäsionszonen wurde mit dem Chi-Square-Test statistisch geprüft.

Resultate

Die Ergebnisse der Untersuchung der Penetrationstiefe des Fissurenversieglers in die definierte Fissur sind in Abbildung 2 dargestellt. Die Unterschiede der Werte der Penetrationstiefe waren statistisch signifikant (ANOVA, $p < 0.01$). Die besten Penetrationswerte zeigte mit 92% die Gruppe 6, bei der die Kombination der Methoden angewandt worden war, die schlechtesten mit 30% die Gruppe 4, bei der der Ätzworgang mit einer alkoholischen Phosphorsäure-Lösung durchgeführt worden war. Der Unterschied zwischen diesen beiden Gruppen war signifikant (Scheffe-F-Test, $p < 0.05$).

Die Ergebnisse der konfokalen Untersuchung der Adhäsionszone der Schliffpräparate sind in Abbildung 3 zusammengefasst. Die beiden gegenüberliegenden Adhäsionszonen wurden getrennt ausgewertet (A-Seite, B-Seite). Der Anteil von Streckenabschnitten mit Alpha- und Beta-Bewertung war auf der jeweiligen A-Seite nicht signifikant unterschiedlich (Chi-Square-Test: $p > 0,05$), während der Vergleich der B-Seiten signifikante Unterschiede zeigte (Chi-Square-Test: $p < 0,01$). Gruppe 4, bei der der Schmelz mit alkoholischer Phosphorsäurelösung angeätzt wurde, zeigte meist eine sichtbare Trennung zwischen Versiegler und Schmelz (Abb. 4). Eine typische Konfiguration der Adhäsionszone der Gruppe 3 waren kurze Zotten $< 20 \mu\text{m}$ (Abb. 5). Die beste Konfiguration mit der ausgeprägtesten Zottenbildung wurde in der Gruppe 6 vorgefunden, bei der die Anwendung von Ultraschall beim Ätzen mit der Trocknung mit Aceton nach dem Ätzen und der Penetrationszeit für das Versiegelungsmaterial kombiniert wurden (Abb. 6). In Einzelfällen zeigten sich in der Tiefe der Fissur trotz ausgeprägter Ad-

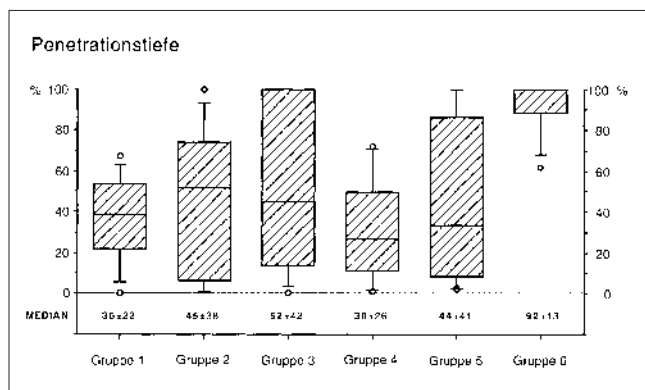


Abb. 2 Resultate der Untersuchung der Penetrationstiefe des Versieglers in die Fissur (% Versieglerpenetration = Penetrationstiefe/Fissurentiefe $\times 100$); aufgeführt sind Durchschnittswerte \pm Standardabweichung, Box-Plots mit Median, Minimum, Maximum und 10%, 25%, 75% und 90% Prozentanteilen.

Fig. 2 Résultats de l'étude de la profondeur de pénétration du vernis de scellement dans le sillon (% de pénétration = profondeur de pénétration/profondeur du sillon $\times 100$); sont mentionnées les moyennes \pm écart type, diagramme à colonnes avec médiane, minimum, maximum et 10%, 25%, 75% et 90% des pourcentages.

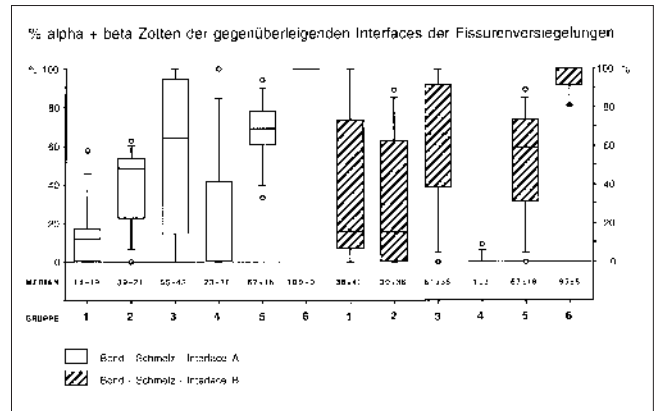


Abb. 3 Adhäsionszonenanteile mit Alpha- und Beta-Qualität gegenüber der gesamten untersuchten Interface-Länge, auf der A- und der gegenüberliegenden B-Seite; aufgeführt sind Durchschnittswerte \pm Standardabweichung, Box-Plots mit Median, Minimum, Maximum und 10%, 25%, 75% und 90% Prozentanteilen.

Fig. 3 Pourcentages des zones d'adhésion des qualités alpha et bêta par rapport à la longueur totale d'interface étudiée, côtés opposés A et B; sont mentionnés les moyennes \pm écart type, diagramme à colonnes avec médiane, minimum maximum et 10%, 25%, 75% et 90% des pourcentages.

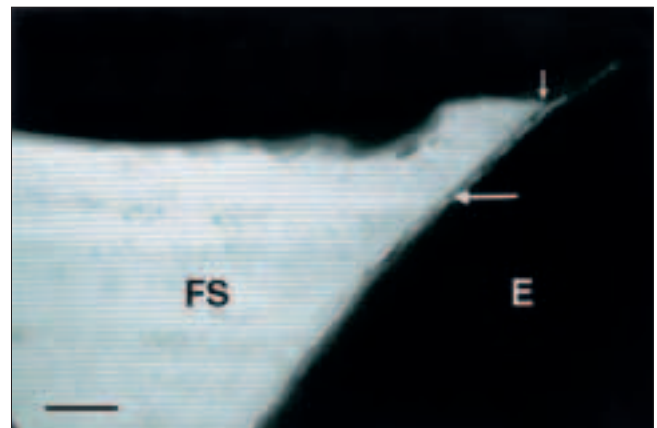


Abb. 4 CLSM-Bild des Versiegler-Schmelz-Interface einer Delta-Qualität; diese Spaltbildung im Randbereich der Versiegelung (kleiner Pfeil) und weiterhin zwischen Bond und Schmelz (grosser Pfeil) ist typisch für die Gruppe 4 (ethanolische Phosphorsäurelösung); FS, fissure sealant; E, enamel; bar: 40 μm .

Fig. 4 Photo CLSM de l'interface scellement-émail d'une qualité delta; cette formation d'interstice dans la zone marginale du scellement (petite flèche) et plus loin entre le vernis et l'émail (grande flèche) est typique du groupe 4 (solution alcoolique d'acide phosphorique); FS, sillon sealant (verniss); E, enamel; tiret: 40 μm .

häsionszonen mit Alpha-Zottenbildung Trennungen zwischen Versiegler und Schmelzoberfläche (Abb. 7).

Diskussion

Die Ergebnisse dieser *In-vitro*-Untersuchung zeigen deutlich, dass einzelne Schritte bei der klinischen Vorgehensweise der Fissurenversiegelung grossen Einfluss auf die Qualität der Versiegelung haben. Einerseits wird die Qualität der Fissurenversiegelung durch die Tiefe der Penetration des Versiegelungsmaterials in die Fissur und andererseits durch die Mikroretention der Zotten im konditionierten Schmelz erreicht.

Ein vollständiges Ausfüllen der komplexen Anatomie der Fissu-

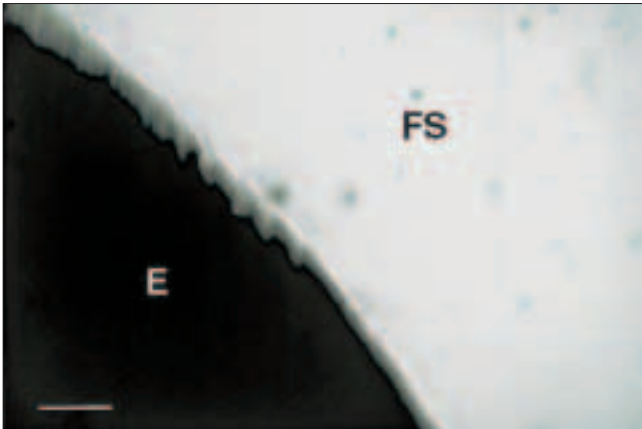


Abb. 5 CLSM-Bild des Versiegler-Schmelz-Interface einer Beta-Qualität mit einer Zottenbildung mit Längen $< 20 \mu\text{m}$ typisch für die Gruppe 3 (ultraschall-unterstützter Ätzvorgang); FS, fissure sealant; E, enamel; bar: $40 \mu\text{m}$.

Fig. 5 Photo CLSM de l'interface scellement-émail d'une qualité bêta avec formation de villosités d'une longueur $< 20 \mu\text{m}$ typique du groupe 3 (mordançage associé aux ultrasons); FS, fissure sealant (vernis); E, enamel; tiret: $40 \mu\text{m}$.

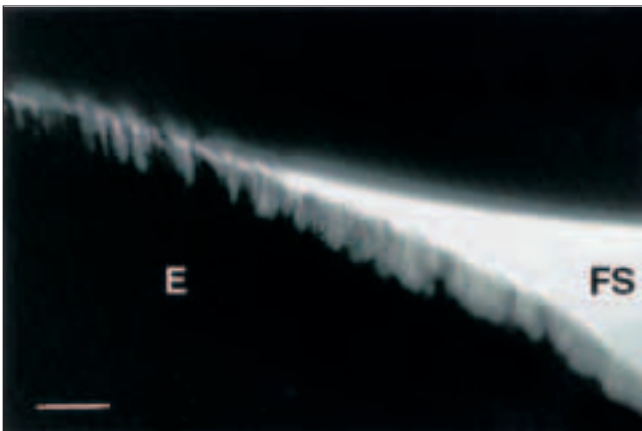


Abb. 6 CLSM-Bild des Versiegler-Schmelz-Interface einer Alpha-Qualität mit einer Zottenbildung mit Längen $> 20 \mu\text{m}$ typisch für die Gruppe 6 (Kombination ultraschall-unterstützter Ätzvorgang, Schmelztrocknung mit Aceton und Penetrationszeit); FS, fissure sealant; E, enamel; bar: $40 \mu\text{m}$.

Fig. 6 Photo CLSM de l'interface scellement-émail d'une qualité alpha avec formation de villosités d'une longueur $> 20 \mu\text{m}$ typique du groupe 6 (combinaison du mordançage, des ultrasons, du séchage à l'acétone et du temps de pénétration); FS, fissure sealant (vernis); E, enamel; tiret: $40 \mu\text{m}$.

rensyste ist schwierig zu erzielen. Unvollständig gefüllte Fissuren wurden in frühen Studien bereits beschrieben (TAYLOR & GWINNETT 1973, SILVERSTONE 1974). Mit verschiedenen Materialien und Methoden wurden Versuche unternommen, um die Fissuren auch in der Tiefe zu füllen (PERCINOTO et al. 1995, PERLEA et al. 1997a). Man erklärte sich die auftretenden Schwierigkeiten mit dem Vergleich der engen Fissuren mit einer «close-end capillary» oder «isolated capillary» (O'BRIEN 1973), in der Lufteinschlüsse die Benetzung verhindern. Auch Ablagerungen und Bakterien in der Tiefe der Fissur, die nicht entfernt werden können, behindern den Benetzungsvorgang (GWINNETT & BUONOCORE 1972). In der vorliegenden Studie ergaben sich unterschiedliche Füllverhalten bei unterschiedlichen Versiegelungsmethoden. Die besten Ergebnisse erreichte das Ätzen mit



Abb. 7 CLSM-Bild des Versiegler-Schmelz-Interface einer Delta-Qualität (grosser Pfeil) in Kombination mit Alpha-Zotten (kleine Pfeile), wahrscheinlich durch die Schrumpfung des Kompositmaterials in wenigen tiefen Fissurbereichen hervorgerufen; FS, fissure sealant; E, enamel; bar: $40 \mu\text{m}$.

Fig. 7 Photo CLSM de l'interface scellement-émail d'une qualité delta (grande flèche) en combinaison avec des villosités alpha (petite flèche), vraisemblablement dues au retrait du matériau composite dans les zones moins profondes des sillons; FS, fissure sealant (vernis); E, enamel; tiret: $40 \mu\text{m}$.

Phosphorsäure-Gel unterstützt mit Ultraschall und anschliessender Trocknung mit Aceton bei Abwarten einer 20-sekündigen Penetrationszeit des Versieglers. Diese Kombination ermöglichte die beste Benetzung, sodass die Fissur im Durchschnitt zu 93% gefüllt werden konnte.

Die qualitative Auswertung der Adhäsionszone erfolgte anhand des Prozentsatzes von Alpha- und Beta-Verzahnungen pro untersuchtem Interface. Dieser Anteil ist in der Kontrollgruppe erwartungsgemäss gering, da hier dem Bond vor der Lichtpolymerisation keine Zeit gegeben wurde, in den konditionierten Schmelz zu penetrieren. Dementsprechend findet sich eine ausgeprägtere Zottenbildung beim Abwarten einer Penetrationszeit von 20 Sekunden (Gruppe 2), da das Bond mit fortschreitender Zeit zunehmend in die konditionierte Schmelzoberfläche eindringt. Die Schwingungen durch die Anwendung von Ultraschall beim Ätzen (Gruppe 3) haben einen positiven Einfluss auf die Konfiguration der Mikroverzahnung. Durch eine Verlagerung der entstehenden Präzipitate von der Schmelzoberfläche weg in die Gelmasse hinein kann die Säure auch an sonst verdecktem Schmelz angreifen. Das Abwaschen wird effizienter, da ein Grossteil der Präzipitate nicht an der Schmelzoberfläche haftet, sondern im Gel weggeschwemmt wird.

Auch nach Trocknung des konditionierten Schmelzes mit Aceton (Gruppe 5) wurden vermehrt mikroretentive Strukturen gefunden. Aceton bewirkt eine Erhöhung der Oberflächenspannung, so dass das Bond förmlich in das ausgetrocknete Ätzmuster hineinschießt und in dieser Gruppe eine ausgeprägte Mikroverzahnung entsteht. Ähnliche Beobachtungen wurden bei der Anwendung von Schmelz-Dentin-Adhäsiven gemacht, die eine zusätzliche Trocknung und Erhöhung der Toleranz des hydrophoben Versieglers gegenüber Feuchtigkeit bewirken. Die Penetrationstiefe wurde dabei zwar erhöht, es konnte aber auch hier keine vollständige Penetration garantiert werden (SYMONS et al. 1996, PERLEA et al. 1997b).

Das mit der äthanolischen, wässrigen Phosphorsäure erzielte Ätzmuster (Gruppe 4) hat einen wenig retentiven Charakter. Die Ausprägung der Adhäsionszone ist entsprechend gering.

Der positive Effekt, den das Benetzungsmittel haben sollte, wird scheinbar durch die Anwendung einer wässrigen Lösung anstelle eines dünnen Gels negiert (GUBA et al. 1994).

Ein bleibendes Problem der adhäsiven Versiegelung stellt die Schrumpfung des Materials dar. In der Tiefe enger Fissuren übersteigen die Schrumpfkraftkräfte die der Adhäsion und es kommt zur Ablösung des Versieglers trotz ausgeprägter Zottenbildung im konditionierten Schmelz. Schrumpfungsfreie Materialien wären hier wünschenswert, sind aber bis heute nicht verfügbar.

In der Klinik wird die Fissurenversiegelung präventiv erfolgreich eingesetzt und kann ein Fortschreiten initialer Karies verhindern. Der für den Erfolg der Fissurenversiegelung massgeblichere Faktor scheint demnach neben der Penetrationstiefe in die Fissur die Abdichtung des Fissurensystems zur Mundhöhle und damit zu den kariesinduzierenden Faktoren zu sein. Diese Abdichtung ist durch die Mikroverzahnung zwischen konditioniertem Schmelz und Bond gegeben. Je ausgeprägter diese Zone ist, desto höher ist die Retention und die Dichtigkeit der Versiegelung. Daher hat die Aussage über die Konfiguration der Adhäsionszone weitaus mehr Gewicht für die Erfolgsaussage eines Materials oder einer Methode als die Tiefe der Penetration in die Fissur. Undichte Fissurenversiegelungen mit unterbrochener Kontinuität vor allem im Randbereich können zu einer Erhöhung des Kariesrisikos führen.

Dass die Fissuren dreidimensionale Systeme sind, die in dieser Untersuchung zweidimensional betrachtet werden, ist bei der Interpretation der vorliegenden Ergebnisse immer zu berücksichtigen. Erst die dreidimensionale Darstellung gäbe mehr Aufschluss über das tatsächliche makroskopische und mikroskopische Zusammenspiel von Fissur und Versiegler. Untersuchungsmethoden, bei denen die Zahnhartsubstanz vom Versiegler entfernt wird, geben zwar ein dreidimensionales Bild der Zotten, lassen aber nur ungenaue Schlüsse auf die Relation des Versieglers zur Zahnhartsubstanz zu. Dreidimensionale bildgebende Verfahren wie Computertomographie etc. sind für die Strukturen Zahnschmelz, Dentin und Versiegelung zu ungenau und nicht geeignet. HIRANO & AOBA (1995) gelang es, Zähne und ihre Fissurensysteme dreidimensional darzustellen und einen Eindruck der Komplexität ihrer Struktur zu geben. In mühevoller Arbeit wurden die Versuchszähne schichtweise abgetragen und fotografiert. Die Bilder wurden in einem Rechner zu einem dreidimensionalen Bild verarbeitet. Der Zahn selbst ging dabei verloren. Diese Methode wäre bei der Untersuchung von Fissurenversiegelungen insofern sinnvoll, als die Bestimmung der makroskopischen Penetration gezielter und effizienter als an Schliffpräparaten vorgenommen werden kann. Diese Erkenntnisse stehen jedoch in keiner Relation zu dem zur Zeit noch sehr hohen Aufwand der dreidimensionalen Darstellung.

Schlussfolgerung

Zur Verbesserung der Qualität von Fissurenversiegelungen in der Klinik können verschiedene Massnahmen herangezogen werden: Die Unterstützung des Ätzvorganges mit Ultraschall ist von Vorteil, setzt jedoch ein entsprechendes Gerät am Behandlungsplatz voraus. Ist dies ohnehin vorhanden (z.B. für das adhäsive Einsetzen von Werkstücken), ist diese sinnvolle Massnahme ohne Zeitverlust mit nur wenig Mehraufwand verbunden. Das Trocknen des Fissurensystems mit Aceton dient ebenfalls der Qualitätsverbesserung und bedarf keiner aussergewöhnlichen Anschaffungen und Behandlungsschritte. Eine Penetrationszeit von mindestens 20 Sekunden ist Grundvoraus-

setzung für die Qualität der Versiegelung und sollte in jedem Fall eingehalten werden.

Danksagung

Die Autoren danken Prof. Bächli und den Mitarbeitern des Labors für Elektronenmikroskopie der Universität Zürich für die Überlassung der Geräte und ihre freundliche technische Unterstützung.

Literatur

- ADA Council on Access, Prevention, and Interprofessional Relations: ADA Council on scientific affairs: Dental sealants. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 485–488
- BODECKER C F: Enamel fissure eradication. *NY State Dent* 1964; 30: 149–55
- Bohannon H M: Caries distribution and the case of sealants. *J Public Health Dent* 1983; 43: 200–04
- BOKSMAN L, MC CONNELL R J, CARSON B: A 2-year clinical evaluation of two pits and fissure sealants placed with and without the use of a bonding agent. *Quintessence Int* 1993; 24: 131–133
- BRUNELLE J A, CARLOS J P: Changes in the prevalence of dental caries in US schoolchildren, 1961–1980. *International Conference on the Declining Prevalence of Dental caries. J Dent Res* 1982; 61: 1346–52
- FEIGAL R J: Sealants and preventive restorations: Review of effectiveness and clinical changes for improvement. *Pediatr Dent* 1998; 20: 85–92
- FELDENS E G, FELDENS C A, DE ARAUJO F B: Invasive technique of pit and fissure sealants in primary molars: An SEM study. *J Clin Pediatr Dent* 1994; 18: 187–190
- FORSS H, SAARNI U M, SEPPA L: Comparison of glass ionomer and resin-based fissure sealants; a 2-year clinical trial. *Community Dent Oral Epidemiol* 1994; 22: 21–24
- GUBA C J, CROCHAN M A, SWARTZ M L: The effect of varied etching time and etching solution viscosity on bond strength and enamel morphology. *Oper Dent* 1994; 19: 146–153
- GWINNETT A J, BUONOCORE M G: A scanning electron microscope study of pit and fissure surfaces conditioned for adhesive sealing. *Arch Oral Biol* 1972; 17: 415–423
- HIRANO Y, AOBA T: Computer-assisted Reconstruction of enamel fissures and carious lesions of human premolars. *J Dent Res* 1995; 74: 1200–1205
- HOROWITZ H S, HEIFETZ S P, POULSON S: Retention and effectiveness of a single application of an adhesive sealant in preventing occlusal caries: Final report after five years of study in Kalispell, Montana. *J Am Dent Assoc* 1977; 95: 1133–1139
- HYATT T P: Prophylactic odontotomy: the cutting into the tooth for the prevention of disease. *Dent Cosmos* 1923; 65: 234–41
- JASMIN J R, VAN WAES H, VIJAYARAGHAVAN T V: Scanning electron microscopy study of the fitting surface of fissure sealants. *Pediatr Dent* 1991; 13: 370–372
- JUHL M: Three-dimensional replicas of pits and fissures morphology in human teeth. *Scand J Dent Res* 1983; 91: 90–95
- LUSSI A, SCHROEDER A: Methoden zur Diagnose und Verlaufsdiagnose der Karies. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 1998; 108: 357–370
- LUTZ F: Die Adhäsiv-Versiegelung. Fortsetzung einer Literaturübersicht. *Schweiz Monatsschr Zahnheilk* 1974; 84: 1082–1112
- LUTZ F, CURILOVIC Z, BEN-ZUR E: Fissurenversiegelung (FV) –

- Merkpunkte, Richtlinien und Empfehlungen. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1985; 95: 699–704
- MENGHINI G D, STEINER M, MARTHALER T M: Zahngesundheit und weitere orale Befunde bei Schülern in 16 Landgemeinden des Kantons Zürich. Acta Med Dent Helv 1998; 3: 87–92
- MERTZ-FAIRHURST E J, FAIRHURST C W, WILLIAMS J E, DELLA-GIUSTINA V E, BROOKS J D: A comparative clinical study of two pits and fissure sealants: 7-year results in Augusta, Georgia. J Am Dent Assoc 1984; 109: 252–255
- O'BRIEN W J: Capillary action around dental structures. J Dent Res 1973; 53: 544–50
- PERCINOTO C, CUNHA R F, DELBEM A C B, ARAGONES A: Penetration of a light-cured glass ionomer and a resin sealant into occlusal fissures and etched enamel. Am J Dent 1995; 8: 20–22
- PERLEA P, AIGUIER C, KOCH M J: Applikation von gefülltem Versiegelungsmaterial mit einem ultraschallaktivierten Instrument. Dtsch Zahnärztl Z 1997a; 52: 459–462
- PERLEA P, KOCH M J, AIGUIER C, PIOCH T: Beeinflussung der Fissurenversiegelung durch ein Schmelz-Dentin-Adhäsiv. Dtsch Zahnärztl Z 1997b; 52: 206–209
- PINKERNELL A: REM-Untersuchung über die Kombination verschiedener Materialien zur Fissurenversiegelung. Dtsch Zahnärztl Z 1994; 49: 288–294
- RIPA L W: Sealants revisited: An update of the effectiveness of pit-and-fissure sealants. Caries Res 1993; 27 (Suppl.1): 77–82
- SHAPIRA J, FUKS A, CHOSACK A: A comparative clinical study of autopolymerized and light polymerized fissure sealants: Five year results. Pediatr Dent 1990; 12: 168–169
- SILVERSTONE L M: Fissure sealants. Caries Res 1974; 8: 2–26
- SYMONS A L, CHU CY, MEYERS I A: The effect of fissure morphology and pretreatment of the enamel surface on penetration and adhesion of fissure sealants. J Oral Rehabil 1996; 23: 791–98
- TAYLOR C L, GWINNETT A J: A study of the penetration of sealants into pits and fissures. J Am Dent Assoc 1973; 87: 1181–1188
- WAGGONER W F, SIEGAL M: Pits and fissure sealant application: Updating the technique. J Am Dent Assoc 1996; 127: 351–361
- WRIGHT J T, RETIEF D H: Laboratory evaluation of eight pits and fissure sealants. Pediatr Dent 1984; 6: 36–40