

Forschung · Wissenschaft Recherche · Science

Publisher Herausgeber Editeur

Schweizerische Zahnärzte-
Gesellschaft SSO
Société Suisse
d'Odonto-Stomatologie
CH-3000 Bern 7

Editor-in-chief Chefredaktor Rédacteur en chef

Adrian Lussi, Bern

Editors Redaktoren Rédacteurs

Urs Belser, Genève
Andreas Filippi, Basel
Rudolf Gmür, Zürich

Assistant Editors Redaktions-Assistenten Rédacteurs assistants

Brigitte Zimmerli, Bern
Klaus Neuhaus, Bern

Adresse der wissenschaftlichen Redaktion

Prof. Adrian Lussi
Klinik für Zahnerhaltung,
Präventiv- und Kinder-
zahnmedizin
Freiburgstr. 7, 3010 Bern

Advisory board Gutachtergremium Comité de lecture

T. Attin, Zürich
P. Baehni, Genève
J.-P. Bernard, Genève
C.E. Besimo, Basel
M.M. Bornstein, Bern
D. Bosshardt, Bern
S. Bouillaguet, Genève
U. Brägger, Bern
W. Buchalla, Zürich
D. Buser, Bern
M. Cattani, Genève
B. Ciucchi, Genève
K. Dula, Bern
D. Ettlin, Zürich
G. Eyrich, Zürich
J. Fischer, Zürich
L.M. Gallo, Zürich
U. Gebauer, Bern
R. Glauser, Zürich
W. Gnoinski, Zürich
T. Göhring, Zürich

K.W. Grätz, Zürich
Ch. Hämmerle, Zürich
N. Hardt, Luzern
T. Imfeld, Zürich
K.H. Jäger, Basel
J.-P. Joho, Genève
R. Jung, Zürich
S. Kiliaridis, Genève
I. Krejci, Genève
J.Th. Lambrecht, Basel
N.P. Lang, Bern
T. Lombardi, Genève
H.U. Luder, Zürich
H. Lüthy, Neuchâtel
C. Marinello, Basel
G. Menghini, Zürich
R. Mericske-Stern, Bern
J. Meyer, Basel
J.-M. Meyer, Chêne-Bougeries
T. Mitsiadis, Zürich
A. Mombelli, Genève
W. Mörmann, Zürich
F. Müller, Genève
S. Palla, Zürich
S. Paul, Zürich

T. Peltomäki, Zürich
M. Perrier, Lausanne
Ch. Ramseier, Bern
M. Richter, Genève
H.F. Sailer, Zürich
G. Salvi, Bern
J. Samson, Genève
U.P. Saxer, Zürich
J.-P. Schatz, Genève
S. Scherrer, Genève
P.R. Schmidlin, Zürich
J. Türp, Basel
H. van Waes, Zürich
P. Velvart, Zürich
T. von Arx, Bern
T. Waltimo, Basel
F. Weber, Zürich
R. Weiger, Basel
A. Wichelhaus, Basel
A. Wiskott, Genève
M. Zehnder, Zürich
H.F. Zeilhofer, Basel
N.U. Zitzmann, Basel

HENDRIK MEYER-LUECKEL¹
OLE FEJERSKOV²
SEBASTIAN PARIS¹

¹ Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie des Universitätsklinikums Schleswig-Holstein, Christian-Albrechts-Universität zu Kiel

² Institute of Anatomy, University of Aarhus, Dänemark

Korrespondenzadresse

Dr. Sebastian Paris
Klinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
Universitätsklinikum Schleswig-Holstein, Campus Kiel
Christian-Albrechts-Universität zu Kiel
Arnold-Heller-Str. 3 – Haus 26
24105 Kiel
Tel. (+49) 431 597 2817
Fax (+49) 431 597 4108
E-Mail: paris@konspar.uni-kiel.de
Schweiz Monatsschr Zahnmed 119: 454–461 (2009)

Zur Veröffentlichung angenommen: 29. November 2008

Neuartige Therapiemöglichkeiten bei approximaler Karies

Schlüsselwörter: Approximalkaries, Therapieentscheidung, Prävention, Infiltration, Versiegelung

Zusammenfassung Bisherige Ansätze zur Behandlung der Karies verfolgen ein relativ dichotomes Schema: Präventiv non-operative Massnahmen der primären und sekundären Präventionsebenen werden oftmals der invasiven Therapie der Karies gegenübergestellt. Je nach Behandlungsphilosophie des Zahnarztes bzw. der ausbildenden Institution wird ein frühzeitiges oder spätes invasives Vorgehen empfohlen. Eine Versiegelung der kariösen Approximalflächen, analog zur der Behandlung von Grübchen und Fissuren, ist heutzutage weltweit bisher nur wenig etabliert. Darüber hinaus könnte die Infiltration der Schmelzanteile einer (Approximal-)karies die therapeutische Lücke zwischen präventiven und invasiven Massnahmen schliessen. Diese

neuartigen Behandlungsmöglichkeiten für die Approximalkaries befinden sich zumeist noch in den letzten Phasen der Entwicklung entsprechender Produkte. Unter Berücksichtigung der bisherigen klinischen Ergebnisse zur Versiegelung approximaler Läsionen kann diese Behandlung mit dem Ziel der Verzögerung der Läsionsprogression bereits zum jetzigen Zeitpunkt empfohlen werden. Eine Infiltration von approximalen, aber auch an anderen Glatflächen lokalisierten Läsionen kann bei positiver klinischer Evaluierung eine verbesserte Möglichkeit der Behandlung der Karies darstellen. Diese neuartigen begrenzt invasiven Methoden könnten somit die bisherige dichotome Therapiestrategie sinnvoll ergänzen.

Einleitung

Präventiv non-operative Massnahmen wie Fluoridierung sowie Ernährungs- und Mundhygieneberatung werden oftmals der invasiven Therapie der Karies gegenübergestellt (Abb. 1). Hierbei wird in vielen Fällen sowohl vonseiten der Akteure des Gesundheitssystems als auch der Patienten das invasive Eingreifen als der adäquate Weg gesehen, den Kariesprozess zu «managen» (KIDD & FEJERSKOV 2003). Mit der Insertion einer Füllung steigt die Wahrscheinlichkeit eines späteren Zahnverlustes jedoch deutlich an (ELDERTON 1993, LUAN ET AL. 2000). Die Abwägung des Zeitpunktes der erstmaligen invasiven Intervention spielt somit für die Lebensdauer des Zahnes und die Lebensqualität des Patienten eine entscheidende Rolle. Dies gilt insbesondere für die invasive Behandlung der approximalen Karies, da hierbei relativ grosse Anteile gesunder Zahnhartsubstanz «geopfert» werden müssen, um Zugang zur Karies zu erhalten.

Zur Detektion approximaler Läsionen stehen im Wesentlichen die klinisch visuelle Beurteilung der Läsionsoberfläche und -farbe sowie die röntgenologische Beurteilung der Läsions-

ausdehnung zur Verfügung (KIDD ET AL. 2003). Eine Kombination der beiden Methoden bietet die grösste Sicherheit für die Beurteilung der Behandlungsbedürftigkeit approximaler Läsionen (HINTZE & WENZEL 1994). Insbesondere Läsionen, die röntgenologisch bis in die erste Hälfte des Dentins reichen, sollten nach Zahnseparation hinsichtlich des Vorliegens von (Mikro-)kavitäten visuell beurteilt werden. Da ab diesem röntgenologischen Stadium auch aufgrund des Vorliegens dieser oberflächlichen Diskontinuitäten von einer erhöhten Progressionstendenz der Karies ausgegangen werden kann (MEJARE ET AL. 2004), stellt die Überschreitung der Schmelz-Dentin-Grenze für viele Autoren eine Schwelle für einen invasiven Therapieentscheid dar (ELDERTON 1993, ANUSAVICE 2003, KIDD ET AL. 2003). Andererseits ist die Abhängigkeit der Kariesprogression von der Kavitationsgrösse wissenschaftlich nur wenig geklärt; teilweise geht man davon aus, dass zumindest Läsionen mit Mikrokavitäten ebenso arretieren können (FEJERSKOV ET AL. 2003, KIDD ET AL. 2003, MEJARE & MJÖR 2003). Die potenzielle Gefahr einer Überbehandlung durch die unreflektierte Anwendung von diagnostischen Hilfsmitteln ist generell zu beachten. Darüber hinaus sollten die individuellen Risikofaktoren bei der

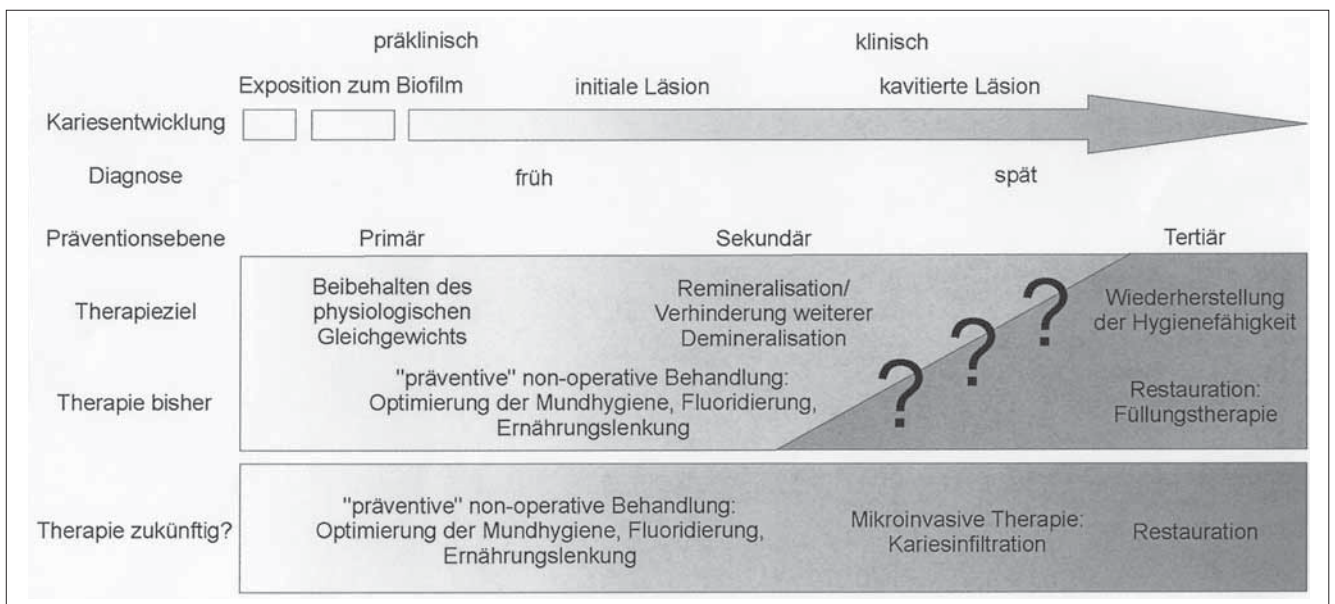


Abb. 1 Die Betrachtung der Karies als einen biologischen Prozess modifiziert nach Fejerskov und Nyvad (FEJERSKOV 2004) stellt die Unterschiede des möglichen Zeitpunktes der Diagnose «Karies» dar. Die klassische Einteilung nach Präventionsebenen verdeutlicht die therapeutischen Möglichkeiten. Je nach Behandlungsphilosophie wird eine frühzeitigere oder spätere invasive Intervention vorgeschlagen. Durch die Implementierung der approximalen Versiegelung bzw. der Infiltration der Schmelzanteile approximaler Läsionen würde, analog zur Versiegelung von Fissuren und Grübchen, die therapeutische Lücke zwischen präventiven und invasiven Massnahmen bei Approximalkaries geschlossen werden.

Therapieentscheidung berücksichtigt werden und nicht alleine zahn- oder flächenspezifische Faktoren ausschlaggebend sein, um zu einem adäquaten Therapieentscheid zu kommen (BAELUM ET AL. 2008, NYVAD ET AL. 2008).

Auch aufgrund dieser diagnostischen Schwierigkeiten werden in verschiedenen Ländern unterschiedliche röntgenologische Schwellenwerte hinsichtlich des invasiven Therapieentscheids approximaler Läsionen berichtet. Während in Frankreich 56% der Zahnärzte eine auf den Schmelz begrenzte Karies bereits invasiv behandeln würden (DOMEJEAN-ORLIAGUET ET AL. 2004), wird Schmelzkaries in Norwegen (ESPELID ET AL. 1994, TVEIT ET AL. 1999), Schweden (MEJARE ET AL. 1999) und Australien (ESPELID ET AL. 1994) nur von 1% bis 22% der Zahnärzte invasiv versorgt. In diesen Ländern entschieden sich unter der Annahme, dass es sich um einen relativ kariesinaktiven jungen Patienten handelt, hingegen zwischen 44 und 62 Prozent der Zahnärzte erst ab einer radiologischen Ausdehnung der Karies bis in das mittlere Dentindrittel für eine restaurative Behandlung.

Auch aufgrund der Schwierigkeiten eines adäquaten invasiven Therapieentscheids haben sich in der jüngeren Vergangenheit verschiedene Arbeitsgruppen mit begrenzt invasiven Massnahmen zur Behandlung der Approximalkaries beschäftigt.

Neuartige Therapiemöglichkeiten bei approximaler Karies

Für okklusale Flächen steht bereits seit vielen Jahren mit der Fissurenversiegelung eine Therapie zur Verfügung, um nicht remineralisierbare kariöse Läsionen zu behandeln. Eine adäquat ausgeführte Versiegelung bedarf zwar ebenfalls einer regelmässigen professionellen Kontrolle, allerdings hat das Mundgesundheitsverhalten des Patienten, welches oftmals nur schwierig zu beeinflussen ist, nur zu einem geringeren Grad Einfluss auf den Effektivität dieser Behandlung. Die Versiegelung okklusaler Flächen von Molaren wird nicht zuletzt aus diesem Grund als wirksam und effektiv zur Reduktion der Kariespro-

gression beschrieben (MEJARE ET AL. 2003, AHOVUO-SALORANTA ET AL. 2008, GRIFFIN ET AL. 2008).

Das Konzept der Arretierung der Karies durch das Auftragen einer oberflächlichen Diffusionsbarriere aus Kunststoff wurde auch auf approximale Glattflächen übertragen. Bei dieser approximalen Versiegelung werden nach temporärer Separation der betroffenen Zähne Adhäsive und Fissurenversiegler auf die approximalen Läsionen aufgetragen und gehärtet (GOMEZ ET AL. 2005, MARTIGNON ET AL. 2006). Ein weiterer Therapieansatz verfolgt die Applikation einer Kunststoffolie auf der Schmelzoberfläche ebenfalls nach Zahnseparation (SCHMIDLIN ET AL. 2006b).

Bei der Kariesinfiltration wird im Gegensatz zu den beiden zuvor genannten Verfahren die Diffusionsbarriere nicht auf, sondern innerhalb der Karies selbst geschaffen. Hierzu wird nach Ätzung mit Salzsäure auf die Karies ein sehr niedrig visköser Kunststoff aufgetragen, welcher in die poröse Schmelzstruktur penetriert und die Poren des Läsionskörpers und somit die Diffusionswege für kariogene Säuren obturiert (PARIS ET AL. 2007b, MEYER-LUECKEL & PARIS 2008a).

Versiegelung von approximalen Läsionen

Applikation von Adhäsiven und Fissurenversiegler

Eine kürzlich veröffentlichte klinische Studie untersuchte die Progression von versiegelten approximalen Läsionen (MARTIGNON ET AL. 2006). Hierbei wurden die Zähne mithilfe von Gummiringen separiert und nach kurzer Ätzung versiegelt. Während des Versuchszeitraumes von 1,5 Jahren blieben 56% der behandelten Läsionen (n=72) röntgenologisch stabil, während in der Kontrollgruppe nur 16% nicht voranschritten. In einer weiteren klinischen Studie wurde ebenfalls von einer Kariesinhibierung durch die approximale Applikation von Fissurenversiegler nach zwei Jahren Beobachtung berichtet (GOMEZ ET AL. 2005). Bei den Patienten dieser Studie wurden regelmässige Intensivfluoridierungen vorgenommen, sodass nur sehr geringe Unterschiede zwischen versiegelten und unversiegelten

Läsionen gefunden werden konnten. Bei beiden Studien bleibt unklar, ob die Inhibierung der Kariesprogression durch eine oberflächliche Penetration des jeweiligen Materials oder durch eine oberflächliche Versiegelung der Poren der Oberflächenschicht erreicht wurde. Aufgrund der schlechten Penetrationseigenschaften eines Adhäsivs in natürliche Läsionen (DAVILA ET AL. 1975, PARIS ET AL. 2007C) ist die zuletzt genannte Variante wahrscheinlicher.

Darüber hinaus wurde die Versiegelung einer Glattflächenläsion im Sinne einer «mikrorestaurativen» Vorgehensweise beschrieben. Hierbei wurde mit diamantierten Schleifern die oberste demineralisierte Schicht der Glattflächenkaries entfernt und diese mit Fissurenversiegeln oder Adhäsiven versiegelt (CROLL 1987).

Applikation einer Kunststoffolie

Ein weiterer Therapieansatz verfolgt die Adaption einer Kunststoffolie (Patch) mithilfe eines Adhäsivs auf den Schmelz. Dieses Verfahren wurde *in vitro* bisher nur auf gesunden Oberflächen angewendet. Hierbei konnte ein vergleichbarer kariesinhibierender Effekt wie nach Applikation eines fließfähigen Komposits festgestellt werden (SCHMIDLIN ET AL. 2002, SCHMIDLIN ET AL. 2005, SCHMIDLIN ET AL. 2006b). Die Abrasionsstabilität der Folie war ebenfalls mit derjenigen des fließfähigen Kunststoffes vergleichbar (SCHMIDLIN ET AL. 2006a).

Erste klinische Ergebnisse sechs Monate nach Applikation der Folien auf 43 Approximalläsionen konnten in acht Fällen einen tastbaren Rand sowie in einem Fall einen Folienverlust aufzeigen. Ein verstärktes Auftreten von Gingivitis oder Plaque wurde jedoch nicht beobachtet. Ebenfalls in Form eines Abstracts liegen von dieser klinischen Untersuchung Ergebnisse der Kariesprogression nach drei Jahren vor. Bei den 25 Nachuntersuchten konnte bei den mit dem Patch behandelten Flächen vermehrte Regressionen (8) der Karies im Vergleich zu den unbehandelten Kontrollen (6) anhand von Bissflügelröntgenaufnahmen festgestellt werden. Hierbei ist anzumerken, dass eine röntgenologisch feststellbare Kariesregression zumindest bei den mit dem Patch behandelten Läsionen nur schwerlich erklärbar ist, wenn man von einer dichten Obturation der Läsionsoberfläche durch die Kunststoffolie ausgeht. Somit könnten die beobachteten Verkleinerungen der Radioluzenzen durch die unterschiedlichen Projektionen der sequenziellen Bissflügelröntgenbilder und nicht durch eine Remineralisation bedingt sein.

Bei beiden Verfahren, der Versiegelung nach Phosphorsäureätzung sowie der Folientechnik, scheint nur eine oberflächliche

Barriere etabliert zu werden, deren Stabilität bei längerer Verweildauer in der Mundhöhle zumindest fraglich erscheint. Aus diesem Grund könnte die ausschliessliche Infiltration eines Materials in approximale Läsion ohne Belassen eines Überschusses vorteilhaft sein (Tab. I).

Infiltration der (Approximal-)Karies mit Kunststoffen

Bereits in den 70er-Jahren des letzten Jahrhunderts wurde die Penetration eines Adhäsivs in künstliche Läsionen beschrieben. Bezüglich der Versiegelung von natürlichen Läsionen wurden rein qualitative Aussagen hinsichtlich einer zu künstlichen Läsionen vergleichsweise schlechteren Penetration vorgenommen (DAVILA ET AL. 1975). Darüber hinaus konnte eine Verhinderung der Progression künstlicher Läsionen nach Applikation eines niedrig viskosen Kunststoffes gezeigt werden. Das in dieser Studie verwendete Material Resorcinol-Formaldehyd war jedoch aufgrund seiner toxischen Eigenschaften für den klinischen Gebrauch ungeeignet (ROBINSON ET AL. 1976).

Die grundsätzliche Eignung dentaler Adhäsive für die Versiegelung künstlicher initialer Schmelzdemineralisationen konnte in mehreren nachfolgenden *In-vitro*-Studien anhand der Parameter «Penetrationstiefe» sowie «Verhinderung einer Läsionsprogression» gezeigt werden (RODDA 1983, GOEPFERD & OLBERDING 1989, DONLY & RUIZ 1992, GARCÍA-GODOY ET AL. 1997, ROBINSON ET AL. 2001, GRAY & SHELLIS 2002, SCHMIDLIN ET AL. 2004). Diese Autoren beschrieben zumeist eine relativ oberflächliche Versiegelung kommerziell erhältlicher Adhäsive und schienen eine oberflächliche Schicht des jeweiligen Materials zu belassen.

Da die pseudointakte Oberflächenschicht der verwendeten künstlichen Läsionen (Porenvolumen ca. 1%) den Zugang von applizierten Materialien zu dem stärker porösen Läsionskörper wahrscheinlich verhinderte, wurde in fast allen oben aufgeführten Studien eine vorherige Ätzung der Oberflächen der Läsionen mit Phosphorsäure für 5 s bis zu 120 s durchgeführt. Hierbei scheint das gewählte Demineralisationsverfahren zur Herstellung der künstlichen Läsionen einen grossen Einfluss auf die Stabilität der Läsionsoberfläche zu haben, da in einer Studie bereits nach 10 s Destruktionen beschrieben wurden (GRAY & SHELLIS 2002), die in anderen Studien sogar bei ein- oder zweiminütiger Applikation der Phosphorsäure offensichtlich nicht festgestellt werden konnten (DAVILA ET AL. 1975, GOEPFERD & OLBERDING 1989, SCHMIDLIN ET AL. 2004).

Mehrmaliges Auftragen des Versieglers ermöglichte eine stärkere Reduktion des Porenvolumens (ROBINSON ET AL. 1976, ROBINSON ET AL. 2001) und eine verbesserte Penetration der

Tab. I Übersicht über die verschiedenen neuartigen Therapiemöglichkeiten bei approximaler Karies

Bezeichnung		Variable	<i>In-vitro</i> -Daten künstliche Läsionen	<i>In-vitro</i> -Daten natürliche Läsionen	Klinische Daten	Barriere
Versiegelung	Adhäsiv/Fissurenversiegler	Penetration	ca. 100 µm nach 1 Minute	ca. 20 µm nach 5 Minuten	vierfache Reduktion der Kariesprogression	oberflächlich
		Inhibierung Karies	unvollständig	–		
	Folientechnik	Penetration	nicht angestrebt		keine eindeutigen Ergebnisse	oberflächlich
		Inhibierung Karies	sehr gut	–		
Infiltration		Penetration	einige hundert µm		Ergebnisse 2009 erwartet	innerhalb
		Inhibierung Karies	sehr gut	sehr gut		

Kunststoffe (GRAY & SHELLIS 2002). Auch eine Trocknung der Läsion mit Ethanol vor dem Auftragen des Versiegelungskunststoffes verbesserte die Penetration, sodass bis zu 90% der Läsionstiefe mit Kunststoff infiltriert werden konnte (GRAY & SHELLIS 2002). Bei natürlichen Läsionen wurden hingegen nach Ätzung mit Phosphorsäure nur sehr geringe Penetrationen im Vergleich zu künstlichen Läsionen beschrieben (DAVILA ET AL. 1975).

Wie bereits erwähnt, wurden bei den genannten Studien zu meist oberflächliche Überschüsse belassen. Aus diesem Grund könnten die bisher verfügbaren Daten über den Umfang der Reduktion des Porenvolumens in der Läsion nach mehrfachen Applikationen eines Kunststoffes irreführend sein, da die auf der versiegelten Oberfläche der Läsionen belassenen kompakten Adhäsivschichten dem Testmedium den Zugang zu den (eventuell noch vorhandenen) Poren im Schmelz zumindest teilweise blockiert haben dürften (ROBINSON ET AL. 1976, ROBINSON ET AL. 2001). Die Ergebnisse zur Verhinderung der Progression der Läsion (GOEPFERD & OLBERDING 1989, DONLY & RUIZ 1992, GARÇIA-GODOY ET AL. 1997) sowie der Erhöhung des Porenvolumens nach einer zweiten Säureexposition der Proben (ROBINSON ET AL. 2001) sind demnach ebenfalls unter dem genannten Aspekt einer zumindest zusätzlichen oberflächlichen Versiegelung, und eben keiner alleinigen Penetration der porösen Kariesstruktur, zu betrachten.

Eigene Studien zur Behandlung von künstlichen Läsionen mit Adhäsiven und einem Fissurenversiegler (ohne Belassen überschüssigen Materials auf der Zahnoberfläche) konnten die Abhängigkeit der Penetrationstiefe von der Applikationszeit bestätigen (MEYER-LUECKEL ET AL. 2005, MEYER-LUECKEL ET AL. 2006). Darüber hinaus zeigten die verwendeten Materialien in Abhängigkeit von der Applikationszeit aber auch der Homogenität der etablierten Kunststoffschicht einen unterschiedlichen kariesinhibierenden Effekt (PARIS ET AL. 2006). Durch eine zweimalige Applikation konnten die kariesinhibierenden Eigenschaften der meisten der verwendeten Materialien gesteigert werden (MUELLER ET AL. 2006).

Diese recht vielversprechenden Ergebnisse hinsichtlich der Penetration der kommerziell erhältlichen Materialien konnten bei natürlichen Läsionen nicht bestätigt werden. Nach zweiminütiger Ätzung mit Phosphorsäure und anschließender fünfminütiger Applikation eines Adhäsivs konnten mittlere Penetrationstiefen von weniger als 20 µm beobachtet werden (Tab. I). Das Adhäsiv vermochte nicht durch die meist 20–70 µm dicke stark mineralisierte Oberflächenschicht zu penetrieren (PARIS ET AL. 2007c).

Die nur geringen Penetrationstiefen kommerziell erhältlicher Adhäsive bei natürlichen Läsionen wurden zum einen auf das relativ geringe Porenvolumen der Oberflächenschicht, wodurch eine tiefere Penetration verhindert wurde, und zum anderen auf die nicht adäquaten physikalischen Eigenschaften der verfügbaren Adhäsive zurückgeführt (PARIS ET AL. 2007c). Deshalb wurde zunächst zur gezielten Erosion der Oberflächenschicht ein alternatives Ätzverfahren entwickelt. Eine zweiminütige Ätzung mit einem Salzsäuregel (15%) konnte hierbei eine ausreichende Entfernung der entsprechenden Schmelzbereiche der Oberflächenschicht von permanenten Zähnen (MEYER-LUECKEL ET AL. 2007) erzielen, wodurch eine signifikant tiefere Penetration eines kommerziellen Adhäsivs erreicht werden konnte. Allerdings betrug diese bei den in der Studie verwendeten permanenten Zähnen im Mittel nur 58 µm (PARIS ET AL. 2007c).

Zur Veranschaulichung der Vorgänge, welche bei der Penetration von Flüssigkeiten in Schmelzkaries auftreten, erscheint es

hilfreich, die demineralisierte Schmelzmatrix als System von winzigen Röhren (Kapillaren) zu betrachten. Benetzende Flüssigkeiten haben aufgrund ihres Kohäsionsdruckes in Kapillaren das Bestreben, in diesen entlangzuwandern (Kapillarkraft). Die Rate, in der eine Flüssigkeit durch die eigene Kapillarkraft durch eine offene horizontale Röhre fließt, wird durch die Poiseuille'sche Gleichung (Gl. 1) beschrieben (FAN ET AL. 1975).

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\gamma_{LV} \cdot \cos\theta}{2\eta} \cdot \frac{r}{2x} \quad \text{Gleichung 1}$$

dx = Strecke, dt = Zeit, γ_{LV} = Oberflächenspannung zwischen flüssiger und gasförmiger Phase, θ = Kontaktwinkel zwischen flüssiger und fester Phase, η = Viskosität der Flüssigkeit, r = Radius der Kapillaren

Sind die Eigenschaften der Flüssigkeit unabhängig von der Zeit, kann man die Formel integrieren und erhält die sogenannte *Washburn*-Gleichung (Gl. 2) (BUCKTON 1995).

$$x^2 = \left(\frac{\gamma \cos\theta}{2\eta} \right) r \cdot t \quad \text{Gleichung 2}$$

Der in Klammern stehende Term der *Washburn*-Gleichung stellt den so genannten Penetrationskoeffizienten (PK) dar (FAN ET AL. 1975, O'BRIEN ET AL. 1978).

$$\text{PK} = \left(\frac{\gamma \cos\theta}{2\eta} \right) \quad \text{Gleichung 3}$$

Je grösser der PK, umso schneller fließt eine Flüssigkeit durch eine Kapillare mit dem Radius r und legt dabei in der Zeit t den Weg x zurück. Der PK und die ihn bestimmenden Komponenten sind temperaturabhängig (FAN ET AL. 1975, HAAS 2003).

Um experimentelle Infiltranten zu entwickeln, wurden in einem ersten Schritt die physikalischen Eigenschaften verschiedener Monomerkombinationen bestimmt und daraus deren Penetrationskoeffizienten berechnet (PARIS ET AL. 2007a). Zwölf dieser Materialien wurden anschliessend hinsichtlich ihrer penetrierenden (PARIS ET AL. 2007b) und kariesinhibierenden (MEYER-LUECKEL & PARIS 2008a) Eigenschaften anhand von künstlichen Läsionen untersucht. Hierbei konnte eine gute Korrelation zwischen der Penetrationstiefe und der Wurzel aus dem Produkt des PK und der Applikationszeit gefunden werden. Dies bedeutet, dass die Kenntnis des Penetrationskoeffizienten eines Monomergemisches eine gute Voraussagbarkeit über dessen penetrierenden und kariesinhibierenden Eigenschaften ermöglicht. Um gut penetrierende Monomergemische abzugrenzen, wurden Materialien mit Penetrationskoeffizienten über 50 cm/s in der Folge als «Infiltranten» bezeichnet (PARIS ET AL. 2007b, MEYER-LUECKEL & PARIS 2008a).

Penetrationsversuche anhand von natürlichen Läsionen konnten vergleichbare Ergebnisse aufzeigen. In einem ersten Versuch wurden signifikant höhere Penetrationstiefen eines Infiltranten im Vergleich zu dem in den vorherigen Versuchen verwendeten Adhäsiv festgestellt (MEYER-LUECKEL 2008, MEYER-LUECKEL & PARIS 2008b). Eigene Versuche mit Infiltranten mit PK über 200 cm/s penetrierten Schmelzläsionen mit einer mittleren Tiefe von 750 µm in allen Fällen nahezu vollständig und führten zu einer Arretierung der Läsionsprogression im demineralisierenden Milieu *in vitro* (Abb. 2) (PARIS ET AL. 2009).

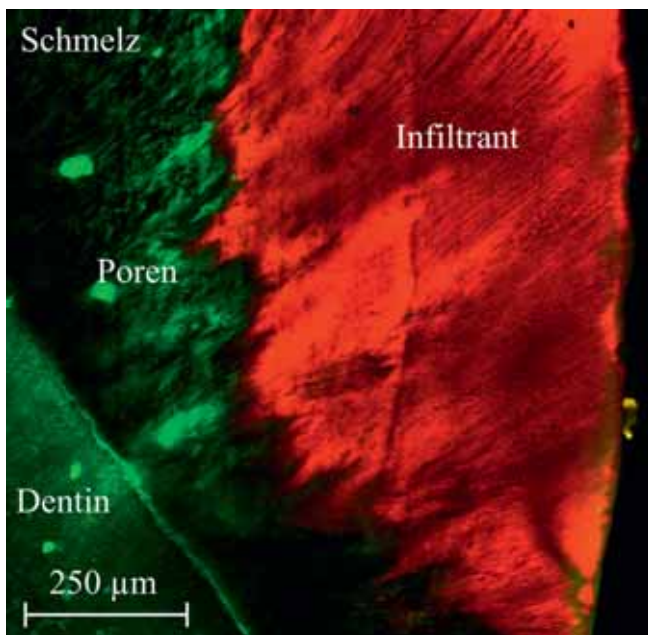


Abb. 2 Konfokalmikroskopische Aufnahme einer approximalen Läsion, die nach Ätzung mit HCl (15%) für 120 s, mit dem Infiltranten (rot) behandelt wurde. Verbliebene Poren im Schmelz und im Dentin wurden mit einem grün fluoreszierenden Farbstoff gefärbt. Diese Aufnahmen verdeutlichen, dass Infiltranten die Schmelzbereiche einer bis an die Schmelz-Dentin-Grenze extendierten Läsion nahezu vollständig penetrieren können.

Die in diesen Versuchen verwendete relativ lange Penetrationszeit von fünf Minuten scheint auf drei Minuten verkürzbar zu sein.

Die ersten Ergebnisse von klinischen Studien zur Infiltration approximaler Karies werden Anfang 2009 erwartet. Die bisherigen Ergebnisse der Hauptzielparameter der drei neuartigen Behandlungsmethoden sind in Tabelle I zusammengefasst.

Klinische Anwendung

Ein wichtiger Aspekt ist die klinische Durchführbarkeit einer Versiegelung oder Infiltration approximaler Läsionen. Mithilfe von orthodontischen Gummiringen ist eine ausreichende Separation mit Aufhebung des Kontaktpunktes möglich (PITTS & LONGBOTTOM 1987, RIMMER & PITTS 1990, DE ARAUJO ET AL. 1992), sodass der Zugang zur Läsion erleichtert ist. Die Separationszeiten betragen hierbei mehrere Stunden bis zu zwei Tagen, was bei der Planung einer entsprechenden Therapie zu berücksichtigen ist. Die Patienten scheinen diese Vorgehensweise zur Verbesserung der approximalen Kariesdiagnostik, auch bei multipler Anwendung grösstenteils zu tolerieren (RIMMER & PITTS 1990).

In den beiden bisherigen klinischen Studien zur Kariesversiegelung wurden nach Zahnseparation zunächst eine relative (MARTIGNON ET AL. 2006) oder eine absolute Trockenlegung (GOMEZ ET AL. 2005) durchgeführt. Die Nachbarzähne wurden während der Behandlung mit einer Matrize oder einem Teflon-Band geschützt. Nach Phosphorsäureätzung für 60 s bzw. 20 s wurden die jeweiligen kommerziell erhältlichen Adhäsive und Versiegler mit Pinseln, «Microbrushes» oder Floss aufgetragen. Eine Politur erfolgte nach Lichthärtung mit Polierstreifen. Ein klinischer Fall aus der Studie von MARTIGNON ET AL. (2006) ist in Abbildung 3 dargestellt.

Bei der klinischen Anwendung der Folientechnik wurden die Zähne des entsprechenden Approximalraums ebenfalls zuerst

separiert. In einer zweiten Sitzung wurde nach dem Legen von Kofferdam zunächst der Nachbarzahn mit einer Metallmatrize geschützt. Hiernach wurde die entsprechende Approximalfläche mit Phosphorsäure für 60 s geätzt, das Ätzgel abgesprüht und das Arbeitsfeld getrocknet. Nach Applikation eines Adhäsivs wurde die relativ dünne Polyurethanmethacrylatfolie appliziert. Nach Lichthärtung erfolgte eine Politur mit entsprechenden Scheiben und Streifen. Die Fissuren des Zahnes wurden ebenfalls versiegelt.

Bei der Infiltration werden die entsprechenden Zähne durch abgeflachte Keilchen um einige Mikrometer separiert. Mittels spezieller Applikationsstreifen werden die Materialien (Salzsäuregel und Infiltrant) nacheinander aufgetragen; hierbei ist der Nachbarzahn durch die Applikationsvorrichtung vor einer versehentlichen Kontamination geschützt. Dieses Vorgehen hat den Vorteil, dass die Zähne nur minimal separiert werden müssen und daher die Behandlung in einer Sitzung erfolgen kann. Nach der Erosion der Oberflächenschicht mit Salzsäuregel wird die Läsion getrocknet und der Infiltrant aufgetragen. Abschliessend werden oberflächliche Überschüsse entfernt und der Infiltrant gehärtet. Ein wesentlicher Vorteil der Kariesinfiltration gegenüber den versiegelnden Verfahren besteht darin, dass überschüssiges Material vor dem Lichthärten von der Zahnoberfläche abgewischt wird. Somit verbleiben keinerlei Überschüsse, an deren Rändern Plaqueretentions- und damit Kariesprädispositionsstellen entstehen könnten (MEYER-LÜCKEL 2008). Aufgrund der fehlenden Röntgenopazität des Infiltranten ist approximal derzeit keine postoperative Kontrolle der Penetrationstiefe des Infiltranten möglich. Der Behandlungserfolg lässt sich somit, wie auch bei den Versiegelungstechniken, mittel- und langfristig alleine an der Verhinderung oder Verlangsamung der Kariesprogression bemessen. Um versiegelte oder infiltrierte Flächen bei einem Behandlerwechsel vor einer frühzeitigen Therapie zu bewahren, sollten dem Patienten die sequenziellen Röntgenbilder sowie ein entsprechendes «Behandlungsheft», in dem die behandelten Zahnflächen markiert werden, ausgehändigt werden.

Darüber hinaus ist eine interne Infiltration der angrenzenden approximalen Schmelzbereiche nach Präparation einer okklusalen Kavität im benachbarten Fissurengrübchen gleichzeitig mit der beschriebenen externen Infiltration denkbar, wie dies mit handelsüblichen Adhäsiven bereits beschrieben wurde (ARDU ET AL. 2006).

Schlussfolgerungen

Die in diesem Übersichtsartikel dargestellten neuartigen Behandlungsmöglichkeiten approximaler kariöser Läsionen befinden sich zumeist noch in den letzten Phasen der Entwicklung entsprechender Produkte. Unter Berücksichtigung der bisherigen klinischen Ergebnisse zur Versiegelung mit Adhäsiven/Fissurenversiegler (GOMEZ ET AL. 2005, MARTIGNON ET AL. 2006) scheint zum jetzigen Zeitpunkt die klinische Anwendung dieser Therapie für approximale Läsionen, die bis an die Schmelz-Dentin-Grenze oder in das erste Dentindrittel extendiert sind, indiziert. Die Kariesprogression sollte im Rahmen des Kariesmonitorings anhand von Bissflügelröntgenbildern in regelmässigen Abständen überprüft werden, um bei entsprechender Vergrößerung der Läsionsausdehnung rechtzeitig invasiv einschreiten zu können. Eine Infiltration von approximalen, aber auch an anderen Glattflächen lokalisierten Läsionen könnte bei positiver klinischer Evaluierung eine verbesserte Möglichkeit im Sinne einer mikroinvasiven Behandlung der Karies darstellen. Generell besteht eine gute Aussicht, dass

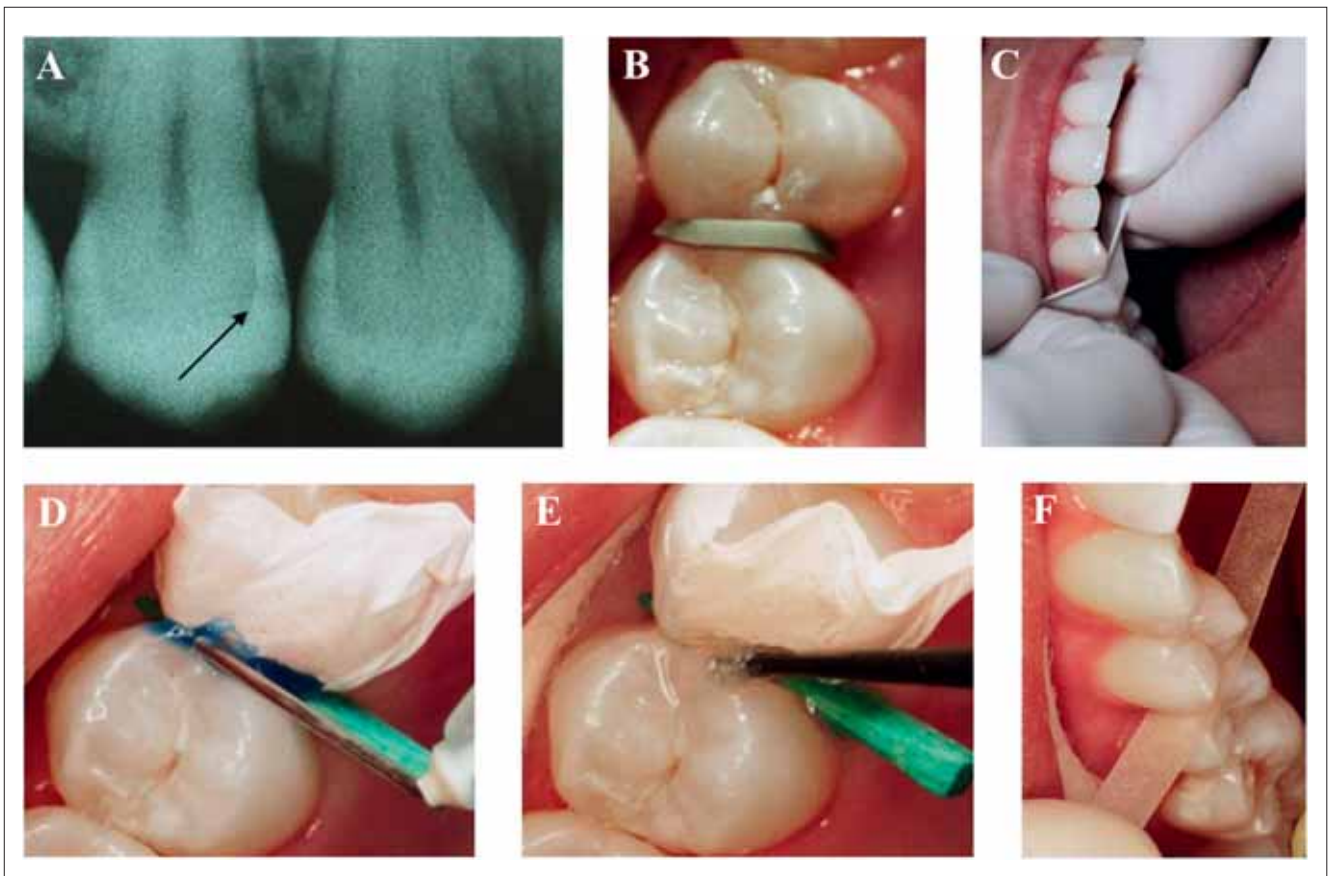


Abb. 3 Falldarstellung der Versiegelung einer approximalen Karies aus der Studie von MARTIGNON et al. (2006). Die Diagnostik anhand des Bissflügelröntgenbildes ergab eine D3-Karies an Zahn 15 mesial sowie eine D2-Karies an Zahn 14 distal (A). Die beiden Zähne zeigen auf dem Röntgenbild bereits eine natürliche Separation. Nach anschließender forcierter Zahnseparation mithilfe eines Gummiringes (B) wurde in einer zweiten Sitzung zunächst der Nachbarzahn mit einem Teflonband geschützt (C). Die Phosphorsäure wurde für 30 s appliziert (D) und hiernach abgesprüht. Anschliessend wurde das Arbeitsfeld getrocknet und ein Adhäsiv mithilfe eines Microbrushes (E) appliziert. Nach Reinigung der behandelten Fläche und Lichthärtung des Adhäsivs erfolgte eine abschliessende Politur (F) (diese Bilder wurden uns freundlicherweise von Prof. Stefania Martignon, Bogota, Kolumbien, zur Verfügung gestellt).

die vorgestellten neuartigen Therapiemöglichkeiten bei approximaler Karies in naher Zukunft die bisherigen dichotomen Strategien sinnvoll ergänzen werden (Abb. 1), wodurch der Zeitpunkt der Erstversorgung mit einer Restauration zeitlich erheblich verschoben würde.

Summary

MEYER-LUECKEL H, FEJERSKOV O, PARIS S: **Novel treatment options for proximal caries** (in German). *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 119: 454–461 (2009)

So far approaches for caries treatment follow a dichotomized scheme: Non invasive options of primary and secondary prevention are contrasted to invasive treatment of caries lesions. Depending on the treatment philosophy of dentists and dental schools an early or late invasive treatment threshold is recommended. Sealing of proximal lesions as done in pit and fissures has only been established in some dental schools, so far. Moreover, infiltration of the enamel part of lesions could close the gap between preventive and invasive measures. Most of these novel treatment options for proximal surfaces are currently in the last stages of product development. With respect to the good clinical results of proximal sealing with conventional sealants, this regimen seems already be recommendable to hamper further lesion progression in clinical practice. Caries infiltration of lesions situated on

proximal and other smooth surfaces might even be a more promising approach, if clinical studies corroborate the recent *in vitro* findings. All these novel limited invasive strategies might be suitable to complete the current dichotomized way of caries treatment.

Résumé

Dans le traitement de la carie, les approches précédemment mises en œuvre se conformaient à un schéma de type relativement dichotome: des mesures non invasives à des niveaux de prévention primaires et secondaires s'opposant souvent à un traitement invasif de la carie. Les recommandations préconisant une procédure invasive précoce ou tardive diffèrent selon la philosophie thérapeutique du dentiste ou de celle de l'institution de formation. De nos jours, un scellement des surfaces de caries proximales, comparable au traitement utilisé pour les fossettes et les fissures dentaires, ne s'est jusqu'à présent établi mondialement que dans de très rares facultés de chirurgie dentaire. L'infiltration des parties cariées de l'émail pourrait en outre contribuer à combler la lacune thérapeutique existante entre des mesures de type préventif et invasif. Dans la plupart des cas, les produits permettant ces possibilités innovatrices de traitement se trouvent actuellement encore dans leur dernière phase de développement. Si l'on tient compte des résultats cliniques jusqu'à présent obtenus dans le scellement de lésions

approximales faisant appel à une vitrification des fissures, ce traitement ayant pour but un retardement de la progression des lésions nous paraît désormais déjà indiqué. En présence d'une évaluation clinique positive, une infiltration des lésions proximales, mais également celle de toute autre lésion loca-

lisée sur des surfaces lisses, pourrait constituer une possibilité améliorée du traitement de la carie. Ces nouvelles méthodes partiellement invasives pourraient donc compléter judicieusement la stratégie thérapeutique de type dichotome jusqu'à présent mise en œuvre.

Literatur

- AHOVUO-SALORANTA A, HIIRI A, NORDBLAD A, MAKELA M, WORTHINGTON H V: Pit and fissure sealants for preventing dental decay in the permanent teeth of children and adolescents. *Cochrane Database Syst Rev*: Art. No.: CD001830. DOI: 001810.001002/14651858.CD14001830. pub14651853 (2008)
- ANUSAVICE K J: The maze of treatment decision. In: Fejerskov O, Kidd E A M (Hrsg): *Dental caries – the disease and its clinical management*. 1. Aufl., Blackwell Munksgaard, Oxford, pp 251–265 (2003)
- ARDU S, PERROUD R, KREICI I: Extended sealing of interproximal caries lesions. *Quintessence Int* 37: 423–427 (2006)
- BAELUM V, NYVAD B, GRONDAHL H G, FEJERSKOV O: The foundations of good diagnostic practice. In: Fejerskov O, Kidd E A (Hrsg): *Dental caries: The disease and its clinical management*. 2. Aufl., Blackwell Munksgaard, Oxford, pp 103–118 (2008)
- BUCKTON G: Interfacial phenomena in drug delivery and targeting. 2. Aufl., Harwood Academic Publishers, Chur (1995)
- ROLL T P: Bonded resin sealant for smooth surface enamel defects: new concepts in «micro-restorative» dentistry. *Quintessence Int* 18: 5–10 (1987)
- DAVILA J M, BUONOCORE M G, GREELEY C B, PROVENZA D V: Adhesive penetration in human artificial and natural white spots. *J Dent Res* 54: 999–1008 (1975)
- DE ARAUJO F B, ROSITO D B, TOIGO E, DOS SANTOS C K: Diagnosis of approximal caries: radiographic versus clinical examination using tooth separation. *Am J Dent* 5: 245–248 (1992)
- DOMEJEAN-ORLIAGUET S, TUBERT-JEANNIN S, RIORDAN P J, ESPELID I, TVEIT A B: French dentists' restorative treatment decisions. *Oral Health Prev Dent* 2: 125–131 (2004)
- DONLY K J, RUIZ M: In vitro demineralization inhibition of enamel caries utilizing an unfilled resin. *Clin Prev Dent* 14: 22–24 (1992)
- ELDERTON R J: Overtreatment with restorative dentistry: when to intervene? *Int Dent J* 43: 17–24 (1993)
- ESPELID I, TVEIT A B, RIORDAN P J: Radiographic caries diagnosis by clinicians in Norway and Western Australia. *Community Dent Oral Epidemiol* 22: 214–219 (1994)
- FAN P L, SELUK L W, O'BRIEN W J: Penetrativity of sealants. *J Dent Res* 54: 262–264 (1975)
- FEJERSKOV O: Changing paradigms in concepts on dental caries: consequences for oral health care. *Caries Res* 38: 182–191 (2004)
- FEJERSKOV O, NYVAD B, KIDD E A M: Clinical and histological manifestations of dental caries. In: Fejerskov O, Kidd E A M (Hrsg): *Dental Caries: The disease and its clinical management*. 1. Aufl., Blackwell Munksgaard, Oxford, pp 71–97 (2003)
- GARCÍA-GODOY F, SUMMITT J B, DONLY K J: Caries progression of white spot lesions sealed with an unfilled resin. *J Clin Pediatr Dent* 21: 141–143 (1997)
- GOEPFERD S J, OLBERDING P: The effect of sealing white spot lesions on lesion progression in vitro. *Pediatr Dent* 11: 14–16 (1989)
- GOMEZ S S, BASILI C P, EMILSON C G: A 2-year clinical evaluation of sealed noncavitated approximal posterior carious lesions in adolescents. *Clin Oral Investig* 9: 239–243 (2005)
- GRAY G B, SHELLIS P: Infiltration of resin into white spot caries-like lesions of enamel: An in vitro study. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 10: 27–32 (2002)
- GRIFFIN S O, OONG E, KOHN W, VIDAKOVIC B, GOOCH B F, BADER J, CLARKSON J, FONTANA M R, MEYER D M, ROZIER R G, WEINTRAUB J A, ZERO D T: The effectiveness of sealants in managing caries lesions. *J Dent Res* 87: 169–174 (2008)
- HAAS U: *Physik für Pharmazeuten und Mediziner*. 5. Aufl., Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart (2003)
- HINTZE H, WENZEL A: Clinically undetected dental caries assessed by bitewing screening in children with little caries experience. *Dentomaxillofac Radiol* 23: 19–23 (1994)
- KIDD E A M, FEJERSKOV O: Prevention of dental caries and the control of disease progression: concepts of preventive non-operative treatment. In: Fejerskov O, Kidd E A M (Hrsg): *Dental Caries*. 1. Aufl., Blackwell Munksgaard, Oxford, pp 167–169 (2003)
- KIDD E A M, MEJARE I, NYVAD B: Clinical and radiographic diagnosis. In: Fejerskov O, Kidd E A M (Hrsg): *Dental caries: The disease and its clinical management*. 1. Aufl., Blackwell Munksgaard, Oxford, pp 111–128 (2003)
- LUAN W, BAEUM V, FEJERSKOV O, CHEN X: Ten-year incidence of dental caries in adult and elderly Chinese. *Caries Res* 34: 205–213 (2000)
- MARTIGNON S, EKSTRAND K R, ELLWOOD R: Efficacy of sealing proximal early active lesions: An 18-month clinical study evaluated by conventional and subtraction radiography. *Caries Res* 40: 382–388 (2006)
- MEJARE I, SUNDBERG H, ESPELID I, TVEIT B: Caries assessment and restorative treatment thresholds reported by Swedish dentists. *Acta Odontol Scand* 57: 149–154 (1999)
- MEJARE I, LINGSTROM P, PETERSSON L G, HOLM A K, TWETMAN S, KALLESTAL C, NORDENRAM G, LAGERLOF F, SODER B, NORLUND A, AXELSSON S, DAHLGREN H: Caries-preventive effect of fissure sealants: a systematic review. *Acta Odontol Scand* 61: 321–330 (2003)
- MEJARE I, MJÖR I A: Prognosis for caries and restoration. In: Fejerskov O, Kidd E A M (Hrsg): *Dental caries: The disease and its clinical management*. 1. Aufl., Blackwell Munksgaard, Oxford, pp 295–302 (2003)
- MEJARE I, STENLUND H, ZELESNY-HOLMLUND C: Caries incidence and lesion progression from adolescence to young adulthood: a prospective 15-year cohort study in Sweden. *Caries Res* 38: 130–141 (2004)
- MEYER-LUECKEL H: Mikroinvasive Behandlung der Karies durch Kunststoffinfiltration. *Malnutritionsschrift. Charité – Universitätsmedizin Berlin* (2008)
- MEYER-LUECKEL H, MUELLER J, PARIS S, HUMMEL M, KIELBASSA A M: Penetration verschiedener Adhäsive in initiale Schmelzläsionen in vitro. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115: 316–323 (2005)
- MEYER-LUECKEL H, PARIS S, MUELLER J, COLFEN H, KIELBASSA A M: Influence of the application time on the penetration of different dental adhesives and a fissure sealant into artificial subsurface lesions in bovine enamel. *Dent Mater* 22: 22–28 (2006)
- MEYER-LUECKEL H, PARIS S, KIELBASSA A M: Surface layer erosion of natural caries lesions with phosphoric and hydrochloric acid gels. *Caries Res* 41: 223–230 (2007)
- MEYER-LUECKEL H, PARIS S: Progression of Artificial Enamel Caries Lesions after Infiltration with Experimental Light Curing Resins. *Caries Res* 42: 117–124 (2008a)
- MEYER-LUECKEL H, PARIS S: Improved resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res* 1112–1116 (2008b)
- MUELLER J, MEYER-LUECKEL H, PARIS S, HOPFENMULLER W, KIELBASSA A M: Inhibition of lesion progression by penetration of resins in vitro: Influence of the application procedure. *Oper Dent* 31: 339–346 (2006)
- NYVAD B, FEJERSKOV O, BAEUM V: Visual-tactile caries diagnosis. In: Fejerskov O, Kidd E A M (Hrsg): *Dental caries: The disease and its clinical management*. 2. Aufl., Blackwell Wiley, Oxford, pp 49–67 (2008)
- O'BRIEN W J, FAN P L, APOSTOLIDES A: Penetrativity of sealants and glazes. The effectiveness of a sealant depends on its ability to penetrate into fissures. *Oper Dent* 3: 51–56 (1978)
- PARIS S, BITTER K, RENZ H, HOPFENMUELLER W, MEYER-LUECKEL H: Validation of two dual fluorescence techniques for confocal microscopic visualization of resin penetration into enamel caries lesions. *Microsc Res Tech* 23. Epub ahead of print (2009)
- PARIS S, MEYER-LUECKEL H, MUELLER J, HUMMEL M, KIELBASSA A M: Progression of sealed initial bovine enamel lesions under demineralizing conditions in vitro. *Caries Res* 40: 124–129 (2006)
- PARIS S, MEYER-LUECKEL H, COLFEN H, KIELBASSA A M: Penetration coefficients of commercially available and experimental composites intended to infiltrate enamel carious lesions. *Dent Mater* 742–748 (2007a)
- PARIS S, MEYER-LUECKEL H, COLFEN H, KIELBASSA A M: Resin infiltration of artificial enamel caries lesions with experimental light curing resins. *Dent Mater* 26: 582–588 (2007b)
- PARIS S, MEYER-LUECKEL H, KIELBASSA A M: Resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res* 86: 662–666 (2007c)
- PITTS N B, LONGBOTTOM C: Temporary tooth separation with special reference to the diagnosis and preventive management of equivocal approximal carious lesions. *Quintessence Int* 18: 563–573 (1987)

- RIMMER P A, PITTS N B: Temporary elective tooth separation as a diagnostic aid in general dental practice. *Br Dent J* 169: 87–92 (1990)
- ROBINSON C, HALLSWORTH A S, WEATHERELL J A, KUNZEL W: Arrest and control of carious lesions: A study based on preliminary experiments with resorcinol-formaldehyde resin. *J Dent Res* 55: 812–818 (1976)
- ROBINSON C, BROOKES S J, KIRKHAM J, WOOD S R, SHORE R C: In vitro studies of the penetration of adhesive resins into artificial caries-like lesions. *Caries Res* 35: 136–141 (2001)
- RODDA J C: Impregnation of caries-like lesions with dental resins. *N Z Dent J* 79: 114–117 (1983)
- SCHMIDLIN P R, GOHRING T N, SENER B, LUTZ F: Resistance of an enamel-bonding agent to saliva and acid exposure in vitro assessed by liquid scintillation. *Dent Mater* 18: 343–350 (2002)
- SCHMIDLIN P R, ZEHNDER M, PASQUALETTI T, IMFELD T, BESEK M J: Penetration of a bonding agent into de- and remineralized enamel in vitro. *J Adhes Dent* 6: 111–115 (2004)
- SCHMIDLIN P R, ZEHNDER M, ZIMMERMANN M A, ZIMMERMANN J, ROOS M, ROULET J F: Sealing smooth enamel surfaces with a newly devised adhesive patch: a radiochemical in vitro analysis. *Dent Mater* 21: 545–550 (2005)
- SCHMIDLIN P R, GOHRING T N, ROOS M, ZEHNDER M: Wear resistance and surface roughness of a newly devised adhesive patch for sealing smooth enamel surfaces. *Oper Dent* 31: 115–121 (2006a)
- SCHMIDLIN P R, KLUCK I, ZIMMERMANN J, ROULET J F, SEEMANN R: Caries-preventive potential of an adhesive patch after thermomechanical loading – a microbial-based in vitro study. *J Adhes Dent* 8: 7–12 (2006b)
- TVEIT A B, ESPELID I, SKODJE F: Restorative treatment decisions on approximal caries in Norway. *Int Dent J* 49: 165–172 (1999)