

H. Meyer-Lückel¹, O. Fejerskov², S. Paris¹

Neuartige Therapiemöglichkeiten bei approximaler Karies*



H. Meyer-Lückel

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 gegenüber gestellt. Je nach Behandlungsphilosophie des Zahnarztes bzw. der ausbildenden Institution wird ein frühzeitiges oder spätes invasives Vorgehen empfohlen. Eine Versiegelung der kariösen Approximallflächen, analog zu 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 Glattflächen 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.

Schlüsselwörter: Approximalkaries, Therapieentscheidung, Prävention, Infiltration, Versiegelung

Novel treatment options for proximal caries

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.

Keywords: proximal caries, treatment decision, prevention, infiltration, sealing

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

² Institute of Anatomy, University of Aarhus, Dänemark

* Hierbei handelt es sich um eine Übersichtsarbeit, die zeitgleich in der DZZ und der Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin erscheint.

1 Einleitung

Präventiv non-operative Maßnahmen, wie Fluoridierung sowie Ernährungs- und Mundhygieneberatung werden oftmals der invasiven Therapie der Karies gegenüber gestellt (Abb. 1). Hierbei wird in vielen Fällen sowohl von Seiten der Akteure des Gesundheitssystems als auch der Patienten das invasive Eingreifen als der adäquate Weg gesehen, den Kariesprozess zu „managen“ [26]. Mit der Insertion einer Füllung steigt die Wahrscheinlichkeit eines späteren Zahnverlustes jedoch deutlich an [14, 28]. 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 Läsionsausdehnung zur Verfügung [27]. Eine Kombination der beiden Methoden bietet die größte Sicherheit für die Beurteilung der Behandlungsbedürftigkeit approximaler Läsionen [25]. 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 [32], stellt die Überschreitung der Schmelz-Dentingrenze für viele Autoren eine Schwelle für einen invasiven Therapieentscheid dar [5, 14, 27]. 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 [18, 27, 31]. Die potenzielle Gefahr einer Überbehandlung durch die unreflektierte Anwendung von diagnostischen Hilfsmitteln ist generell zu beachten. Darüber hinaus sollten die individuellen Risikofaktoren bei der Therapieentscheidung berücksichtigt werden und nicht alleine zahn- oder flächenspezifische Faktoren ausschlaggebend sein, um

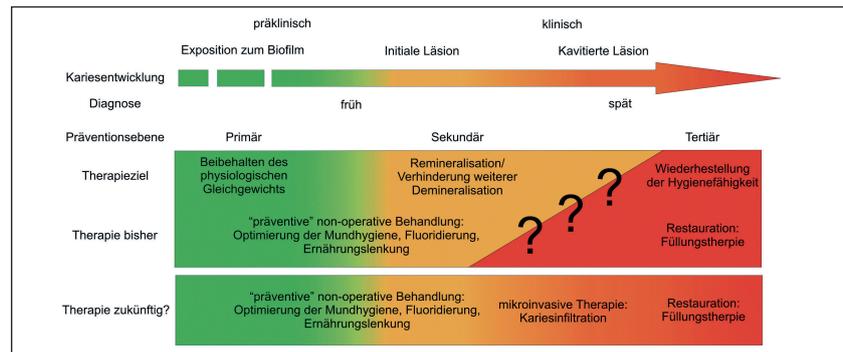


Abbildung 1 Die Betrachtung der Karies als einen biologischen Prozess modifiziert nach Fejerskov [17] stellt die Unterschiede des möglichen Zeitpunktes der Diagnose „Karies“ dar. Die klassische Einteilung nach Präventionsebenen verdeutlicht die therapeutischen Möglichkeiten. Je nach Behandlungsphilosophie 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.

Figure 1 The analysis of caries as a biological process modified according to Fejerskov [17] intrinsically outlines the differences of the potential timing for a “caries” diagnosis. The classic categorization according to prevention levels clarifies the therapeutic possibilities. Depending on the treatment philosophy an earlier or later invasive intervention is suggested. Analog to pit and fissure sealing, sealing or infiltration of the enamel parts of approximal lesions could be established as a complementary therapy, thus easing prevailing uncertainties regarding the correct timing for an invasive restorative decision by using the very limited invasive sealing/infiltration measure as a first approach.

zu einem adäquaten Therapieentscheid zu kommen [7, 42].

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 [12], wird Schmelzkaries in Norwegen [15, 62], Schweden [33] und Australien [15] 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 % 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 Therapieentscheides haben sich in der jüngeren Vergangenheit verschiedene Arbeitsgruppen mit begrenzt invasiven Maßnahmen zur Behandlung der Approximalkaries beschäftigt.

2 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 Kariesprogression beschrieben [1, 23, 30].

Das Konzept der Arretierung der Karies durch das Auftragen einer oberflächlichen Diffusionsbarriere aus Kunststoff wurde auch auf proximale Glattflächen übertragen. Bei dieser approximalen Versiegelung werden nach temporärer Separation der betroffenen Zähne Adhäsive und Fissurenversiegler auf die

Bezeichnung	Variable	In-vitro-Daten künstliche Läsionen	In-vitro-Daten natürliche Läsionen	Klinische Daten	Barriere
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		

Tabelle 1 Übersicht über die verschiedenen neuartigen Therapiemöglichkeiten bei approximaler Karies.

Table 1 Overview of the different novel approaches for preventative non-operative treatments

(Abb. 2 u. Tab. 1: H. Meyer-Lückel, S. Paris)

approximalen Läsionen aufgetragen und gehärtet [21, 29]. Ein weiterer Therapieansatz verfolgt die Applikation einer Kunststoffolie auf der Schmelzoberfläche ebenfalls nach Zahnseparation [4, 59].

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 [38, 48].

2.1 Versiegelung von approximalen Läsionen

2.1.1 Applikation von Adhäsiven und Fissurenversiegler

Eine kürzlich veröffentlichte klinische Studie untersuchte die Progression von versiegelten approximalen Läsionen [29]. Hierbei wurden die Zähne mit Hilfe von Gummiringen separiert und nach kurzer Ätzung versiegelt. Während des Versuchszeitraumes von 1,5 Jahren blie-

ben 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 proximale Applikation von Fissurenversiegler nach zwei Jahren Beobachtung berichtet [21]. Bei den Patienten dieser Studie wurden regelmäßige Intensivfluoridierungen vorgenommen, so dass 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 [10, 50] 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 Fissurenversiegler oder Adhäsiven versiegelt [9].

2.1.2 Applikation einer Kunststoffolie

Ein weiterer Therapieansatz verfolgt die Adaption einer Kunststoffolie (Patch) mit Hilfe 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 [58, 59, 61]. Die Abrasionsstabilität der Folie war ebenfalls mit derjenigen des fließfähigen Kunststoffes vergleichbar [57].

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 [3]. 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 [2]. Hierbei ist anzumerken, dass eine rönt-

genologisch 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 sequentiellen 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 Läsionen ohne Belassen eines Überschusses vorteilhaft sein (Tab. 1).

2.2 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 [10]. 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 [55].

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 [13, 19, 20, 22, 54, 56, 60]. 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 [22], die in anderen Studien sogar bei ein- oder zweiminütiger Applikation der Phosphorsäure offensichtlich nicht festgestellt werden konnten [10, 20, 60].

Mehrmaliges Auftragen des Versieglers ermöglichte eine stärkere Reduktion des Porenvolumens [54, 55] und eine verbesserte Penetration der Kunststoffe [22]. Auch eine Trocknung der Läsion mit Ethanol vor dem Auftragen des Versiegelungskunststoffes verbesserte die Penetration, so dass bis zu 90 % der Läsionstiefe mit Kunststoff infiltriert werden konnte [22]. Bei natürlichen Läsionen wurden hingegen nach Ätzung mit Phosphorsäure nur sehr geringe Penetrationen im Vergleich zu künstlichen Läsionen beschrieben [10].

Wie bereits erwähnt, wurden bei den genannten Studien zumeist 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 [54, 55]. Die Ergebnisse zur Verhinderung der Progression der Läsion [13, 19, 20] sowie der Erhöhung des Porenvolumens nach einer zweiten Säureexposition der Proben [54] 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

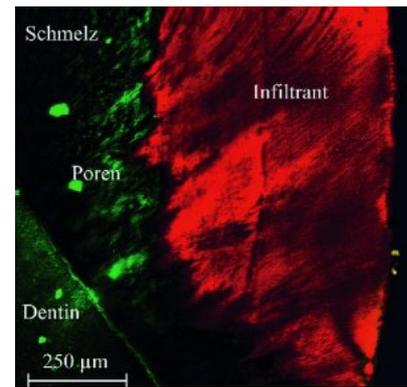


Abbildung 2 Konfokalmikroskopische Aufnahme einer approximalen Läsion, die nach Ätzung mit HCl (15 %) für 120 s, mit dem Infiltranten (rot) behandelt wurde. Verbliebene Poren im Schmelz und im Dentin wurden mit einem grün fluoreszierenden Farbstoff gefärbt. Diese Aufnahme verdeutlicht, dass Infiltranten die Schmelzbereiche einer bis an die Schmelz-Dentin-Grenze extendierten Läsion nahezu vollständig penetrieren können.
Figure 2 Confocal microscopic image of an approximal lesion treated with an infiltrant (red) after pretreatment with HCl (15 %) etching gel for 120 s. Remaining pores in the enamel and dentine were colored with a green fluorescent dye. This image shows that infiltrants can almost fully penetrate the enamel layers of a lesion extending to the enamel-dentine junction.

Zahnoberfläche) konnten die Abhängigkeit der Penetrationstiefe von der Applikationszeit bestätigen [36, 40]. Darüber hinaus zeigten die verwendeten Materialien in Abhängigkeit von der Applikationszeit aber auch der Homogenität der etablierten Kunststoffschicht einen unterschiedlichen kariesinhibierenden Effekt [51]. Durch eine zweimalige Applikation konnten die kariesinhibierenden Eigenschaften der meisten der verwendeten Materialien gesteigert werden [41].

Diese recht viel versprechenden 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. 1). Das Adhäsiv vermochte nicht durch die meist 20 µm bis 70 µm dicke stark mine-

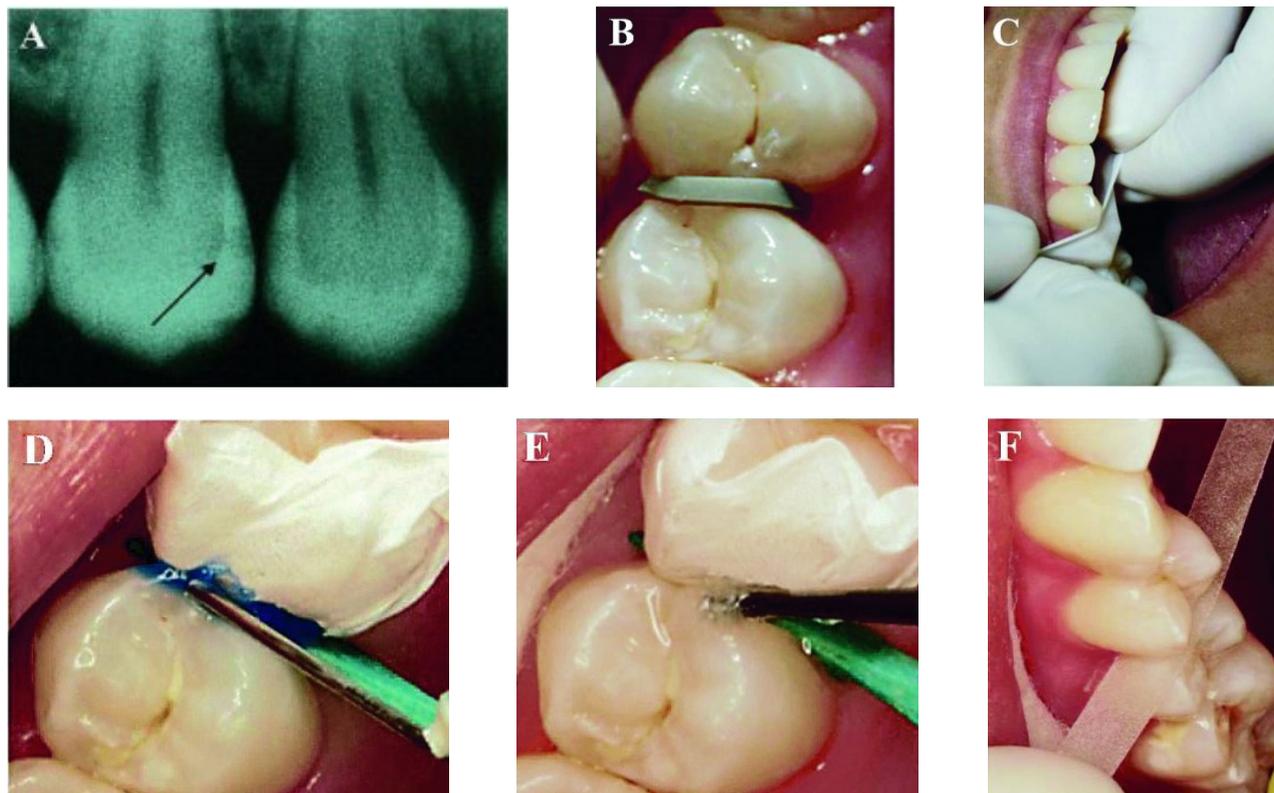


Abbildung 3 Falldarstellung der Versiegelung einer approximalen Karies aus der Studie von Martignon et al. [29]. Die Diagnostik anhand des Bissflügelröntgenbildes ergab eine D3-Karies an Zahn 15 mesial sowie eine D2-Karies an Zahn 14 distal (A). Die beiden Zähne zeigen auf dem Röntgenbild bereits eine natürliche Separation. Nach anschließender forcierter Zahnseparation mit Hilfe 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 mit Hilfe 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).

Figure 3 Case description of a sealant treatment on approximal caries from the study conducted by Martignon et al. [29]. The diagnosis based on bitewing radiographs included mesial D3 caries on tooth #15 and distal D2 caries on tooth #14 (A). On the radiograph the two teeth already show a natural separation. After subsequent forced tooth separation with an orthodontic rubber ring (B) the adjacent tooth was protected with Teflon tape (C) in a second visit. Phosphoric acid gel was applied for 30 s (D) and rinsed off. The working field was dried and an adhesive applied with a micro brush (E). After cleaning of the treated surface and light-curing of the adhesive the surface was polished (F).

(These pictures were provided courtesy of Prof. Stefania Martignon, Bogota, Columbia).

ralisierte Oberflächenschicht zu penetrieren [50].

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 [50]. 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 per-

manenten Zähnen [39] 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 [50].

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 entlang zu wandern (Kapillarwirkung). 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 [16].

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

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 so genannte Washburn-Gleichung (Gl. 2) [8].

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

Der in Klammern stehende Term der Washburn-Gleichung stellt den so genannten Penetrationskoeffizienten (PK) dar [16, 43].

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

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 [16, 24].

Um experimentelle Infiltranten zu entwickeln, wurden in einem ersten Schritt die physikalischen Eigenschaften verschiedener Monomerkombinationen bestimmt und daraus deren Penetrationskoeffizienten berechnet [47]. Zwölf dieser Materialien wurden anschließend hinsichtlich ihrer penetrierenden [48] und kariesinhibierenden [38] 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 [38, 48].

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 [34, 37]. Insbesondere Infiltranten mit PKs 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* [44, 46, 49] (Abb. 2). Die in diesen Versuchen verwendete relativ lange Penetrationszeit von fünf Minuten scheint auf drei Minuten verkürzbar zu sein [35].

Die ersten Ergebnisse von klinischen Studien zur Infiltration approximaler Karies werden Anfang 2009 erwartet. Die bisherigen Ergebnisse der Hauptziel-

parameter der drei neuartigen Behandlungsmethoden sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

2.3 Klinische Anwendung

Ein wichtiger Aspekt ist die klinische Durchführbarkeit einer Versiegelung oder Infiltration approximaler Läsionen. Mit Hilfe von orthodontischen Gummiringen ist eine ausreichende Separation mit Aufhebung des Kontaktpunktes möglich [11, 52, 53], so dass 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 [53].

In den beiden bisherigen klinischen Studien zur Kariesversiegelung wurden nach Zahnseparation zunächst eine relative [29] oder eine absolute Trockenlegung [21] durchgeführt. Die Nachbarzähne wurden während der Behandlung mit einer Matrize oder Teflon-Band geschützt. Nach Phosphorsäureätzung für 60 s bzw. 20 s wurden die jeweiligen kommerziell erhältlichen Adhäsive und Versiegler mit Pinseln, „Microbrushs“ oder Floss aufgetragen. Eine Politur erfolgte nach Lichthärtung mit Polierstreifen. Ein klinischer Fall aus der Studie von Martignon et al. [29] ist in Abbildung 3 dargestellt.

Bei der klinischen Anwendung der Folientechnik [2–4] 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 Ätzelgel 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 Applikationsstrei-

fen 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 [34]. 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 sequentiellen 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 Fisurengrübchen gleichzeitig mit der beschriebenen externen Infiltration denkbar, wie dies mit handelsüblichen Adhäsiven bereits beschrieben wurde [6].

3 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 Adhäsiv-

ven/Fissurenversiegeln [21, 29] scheint zum jetzigen Zeitpunkt die klinische Anwendung dieser Therapie für proximale 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 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. **DZZ**

Korrespondenzadresse:

PD Dr. Hendrik Meyer-Lückel
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.: 04 31 / 597 28 17
Fax: 04 31 / 597 41 08
E-Mail: paris@konspar.uni-kiel.de
E-Mail: meyer-lueckel@konspar.uni-kiel.de

Literatur

- Ahovuo-Saloranta A, Hiiri A, Nordblad A, Makela M, Worthington HV: 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)
- Alkilzy M, Berndt C, Splieth CH: Therapeutic sealing of proximal tooth surfaces: Three-year clinical and radiographical follow-up. *Caries Res* 42, 196 (Abstr No. 132) (2008)
- Alkilzy M, Heyduck C, Meller C, Schidlowski M, Splieth CH: Therapeutic sealing of proximal tooth surfaces: 6-month follow-up. *Caries Res* 40, 328 (Abstr No. 373) (2006)
- Alkilzy M, Heyduck C, Meller C, Schidlowski M, Splieth CH: Therapeutic sealing of proximal tooth surfaces: Two-year follow-up. *Caries Res* 41, 273 (Abstr No. 216) (2007)
- Anusavice KJ: The maze of treatment decision. In: Fejerskov O, Kidd EAM (Hrsg): *Dental caries – the disease and its clinical management*. Blackwell Munksgaard, Oxford 2003, 251–265
- Ardu S, Perroud R, Krejci I: Extended sealing of interproximal caries lesions. *Quintessence Int* 37, 423–427 (2006)
- Baelum V, Nyvad B, Grondahl HG, Fejerskov O: The underpinnings of good diagnostic practice. In: Fejerskov O, Kidd EA (Hrsg): *Dental caries: The disease and its clinical management*. Blackwell Wiley, Oxford 2008, 103–118
- Buckton G: *Interfacial phenomena in drug delivery and targeting*. Harwood Academic Publishers, Chur 1995
- Croll TP: Bonded resin sealant for smooth surface enamel defects: new concepts in „microrestorative“ dentistry. *Quintessence Int* 18, 5–10 (1987)
- Davila JM, Buonocore MG, Greeley CB, Provenza DV: Adhesive penetration in human artificial and natural white spots. *J Dent Res* 54, 999–1008 (1975)
- De Araujo FB, Rosito DB, Toigo E, dos Santos CK: 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 PJ, Espelid I, Tveit AB: French dentists' restorative treatment decisions. *Oral Health Prev Dent* 2, 125–131 (2004)
- Donly KJ, Ruiz M: In vitro demineralization inhibition of enamel caries utilizing an unfilled resin. *Clin Prev Dent* 14, 22–24 (1992)
- Elderton RJ: Overtreatment with restorative dentistry: when to intervene? *Int Dent J* 43, 17–24 (1993)
- Espelid I, Tveit AB, Riordan PJ: Radiographic caries diagnosis by clinicians in Norway and Western Australia. *Community Dent Oral Epidemiol* 22, 214–219 (1994)
- Fan PL, Seluk LW, O'Brien WJ: Penetrability 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 EAM: Clinical and histological manifestations of dental caries. In: Fejerskov O, Kidd EAM (Hrsg): *Dental Caries: The disease and its clinical management*. Blackwell Munksgaard, Oxford 2003, 71–97
- Garçia-Godoy F, Summitt JB, Donly KJ: Caries progression of white spot lesions sealed with an unfilled resin. *J Clin Pediatr Dent* 21, 141–143 (1997)
- Goepferd SJ, Olberding P: The effect of sealing white spot lesions on lesion progression in vitro. *Pediatr Dent* 11, 14–16 (1989)
- Gomez SS, Basili CP, Emilson CG: A 2-year clinical evaluation of sealed noncavitated approximal posterior carious lesions in adolescents. *Clin Oral Invest* 9, 239–243 (2005)
- Gray GB, 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 SO, Oong E, Kohn W, et al.: The effectiveness of sealants in managing caries lesions. *J Dent Res* 87, 169–174 (2008)
- Haas U: *Physik für Pharmazeuten und Mediziner*. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart 2003
- Hintze H, Wenzel A: Clinically undetected dental caries assessed by bite-wing screening in children with little caries experience. *Dentomaxillofac Radiol* 23, 19–23 (1994)
- Kidd EAM, Fejerskov O: Prevention of dental caries and the control of disease progression: concepts of preventive non-operative treatment. In: Fejerskov O, Kidd EAM (Hrsg): *Dental Caries*. Blackwell Munksgaard, Oxford 2003, 167–169
- Kidd EAM, Mejare I, Nyvad B: Clinical and radiographic diagnosis. In: Fejerskov O, Kidd EAM (Hrsg): *Dental caries: The disease and its clinical management*. Blackwell Munksgaard, Oxford 2003, 111–128
- Luan W, Baelum 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 KR, 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, Lingstrom P, Petersson LG, et al.: Caries-preventive effect of fissure sealants: a systematic review. *Acta Odontol Scand* 61, 321–330 (2003)
- Mejare I, Mjör IA: Prognosis for caries and restoration. In: Fejerskov O, Kidd EAM (Hrsg): *Dental caries: The disease and its clinical management*. Blackwell Munksgaard, Oxford 2003, 295–302

32. Mejare I, Stenlund H, Zelezny-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)
33. 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)
34. Meyer-Lückel H: Mikroinvasive Behandlung der Karies durch Kunststoffinfiltration (Habilitationsschrift). Charité – Universitätsmedizin Berlin (2008)
35. Meyer-Lueckel H, Chatzidakis AJ, Paris S: Influence of application time on infiltrant penetration into natural caries lesions in vitro. *Caries Res* 42, 195–196 (Abstract No. 131) (2008)
36. Meyer-Lueckel H, Mueller J, Paris S, Hummel M, Kielbassa AM: Penetration verschiedener Adhäsive in initiale Schmelzläsionen in vitro. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115, 316–323 (2005)
37. Meyer-Lueckel H, Paris S: Improved resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res* 1112–1116 (2008)
38. Meyer-Lueckel H, Paris S: Progression of artificial enamel caries lesions after infiltration with experimental light curing resins. *Caries Res* 42, 117–124 (2008)
39. Meyer-Lueckel H, Paris S, Kielbassa AM: Surface layer erosion of natural caries lesions with phosphoric and hydrochloric acid gels. *Caries Res* 41, 223–230 (2007)
40. Meyer-Lueckel H, Paris S, Mueller J, Colfen H, Kielbassa AM: 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)
41. Mueller J, Meyer-Lueckel H, Paris S, Hopfenmuller W, Kielbassa AM: Inhibition of lesion progression by penetration of resins in vitro: Influence of the application procedure. *Oper Dent* 31, 339–346 (2006)
42. Nyvad B, Fejerskov O, Baelum V: Visual-tactile caries diagnosis. In: Fejerskov O, Kidd EAM (Hrsg): *Dental caries: The disease and its clinical management*. Blackwell Munksgaard, Oxford 2008, 49–67
43. O'Brien WJ, Fan PL, 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)
44. Paris S, Bitter K, Renz H, Hopfenmuller W, Meyer-Lueckel H: Validation of two dual fluorescence techniques for confocal microscopic visualization of resin penetration into enamel caries lesions. *Microsc Res Tech* Feb 23. [Epub ahead of print] (2009)
45. Paris S, Bitter K, Renz H, Meyer-Lueckel H: Visualisation of infiltrant penetration into natural enamel caries with two dual fluorescence techniques in vitro. *Caries Res* 42, 195 (Abstract No. 130) (2008)
46. Paris S, Meyer-Lueckel H: Progression of resin infiltrated natural caries lesions in vitro. *J Dent Res* 88(Spec Iss B), (im Druck) (2009)
47. Paris S, Meyer-Lueckel H, Colfen H, Kielbassa AM: Penetration coefficients of commercially available and experimental composites intended to infiltrate enamel carious lesions. *Dent Mater* 23, 742–748 (2007)
48. Paris S, Meyer-Lueckel H, Colfen H, Kielbassa AM: Resin infiltration of artificial enamel caries lesions with experimental light curing resins. *Dent Mater J* 26, 582–588 (2007)
49. Paris S, Meyer-Lueckel H, Kielbassa AM: Penetration experimenteller Infiltranten in natürliche Schmelzkaries in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 62, D17 (Autoreferat) (2007)
50. Paris S, Meyer-Lueckel H, Kielbassa AM: Resin infiltration of natural caries lesions. *J Dent Res* 86, 662–666 (2007)
51. Paris S, Meyer-Lueckel H, Mueller J, Hummel M, Kielbassa AM: Progression of sealed initial bovine enamel lesions under demineralizing conditions in vitro. *Caries Res* 40, 124–129 (2006)
52. Pitts NB, 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)
53. Rimmer PA, Pitts NB: Temporary elective tooth separation as a diagnostic aid in general dental practice. *Br Dent J* 169, 87–92 (1990)
54. Robinson C, Brookes SJ, Kirkham J, Wood SR, Shore RC: In vitro studies of the penetration of adhesive resins into artificial caries-like lesions. *Caries Res* 35, 136–141 (2001)
55. Robinson C, Hallsworth AS, Weatherell JA, 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)
56. Rodda JC: Impregnation of caries-like lesions with dental resins. *N Z Dent J* 79, 114–117 (1983)
57. Schmidlin PR, Gohring TN, 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 (2006)
58. Schmidlin PR, Gohring TN, 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)
59. Schmidlin PR, Kluck I, Zimmermann J, Roulet JF, Seemann R: Caries-preventive potential of an adhesive patch after thermomechanical loading – a microbial-based in vitro study. *J Adhes Dent* 8, 7–12 (2006)
60. Schmidlin PR, Zehnder M, Pasqualetti T, Imfeld T, Besek MJ: Penetration of a bonding agent into de- and remineralized enamel in vitro. *J Adhes Dent* 6, 111–115 (2004)
61. Schmidlin PR, Zehnder M, Zimmermann MA, Zimmermann J, Roos M, Roulet JF: Sealing smooth enamel surfaces with a newly devised adhesive patch: a radiochemical in vitro analysis. *Dent Mater* 21, 545–550 (2005)
62. Tveit AB, Espelid I, Skodje F: Restorative treatment decisions on approximal caries in Norway. *Int Dent J* 49, 165–172 (1999)