

W. Buchalla¹, Á. M. Lennon¹

Die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation – Funktionsprinzip und Empfehlungen für den Gebrauch*

Fluorescence aided caries excavation – working principle and recommendations for use



Prof. Dr. Wolfgang Buchalla

Warum Sie diesen Beitrag lesen sollten? / Why should you read this article?

Die Fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation ermöglicht eine zuverlässigere, sicherere und gleichzeitig substanzschonende Kariesexkavation und Erhaltung der Pulpavitalität ohne zeitlichen Mehraufwand.

Fluorescence Aided Caries Excavation enables reliable, safe and minimally invasive caries excavation and preservation of tooth vitality without taking additional time.

Einleitung: Die Kariesexkavation ist ein wesentlicher Bestandteil der Füllungstherapie. Die Art und Weise der Kariesexkavation beeinflusst die Gesunderhaltung der Pulpa und bestimmt wie viel Zahnhartsubstanz im Rahmen einer durch die Diagnose „Karies“ indizierten restaurativen Therapie verloren geht oder erhalten werden kann. Bei der Kariesexkavation gilt es Dentinanteile, welche entfernt werden müssen, zu identifizieren. Die beiden am häufigsten angewendeten traditionellen Methoden basieren auf dem Er tasten der Härte mit der zahnärztlichen Sonde oder dem Einfärben von Porositäten des kariös veränderten Dentins mit einem künstlichen Farbstoff als Surrogat für eine bakterielle Infektion und gelten als ungenau (Sondierung) oder zu invasiv (Caries Detector). Erst seit Kurzem steht die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation (fluorescence aided caries excavation, FACE) zur Verfügung, die es dem behandelnden Zahnarzt ermöglichen soll, bakteriell infizierte Dentinanteile zu sehen und somit gezielt und substanzschonend entfernen zu können. Inzwischen sind zwei auf dieser Methode basierende Geräte auf dem Markt erhältlich (SIROInspect und Facelight).

Methode: In der vorliegenden Übersichtsarbeit wird die Funktionsweise der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation erklärt und die Anwendung „step-by-step“ beschrieben. Die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation ist inzwischen

Introduction: Caries excavation plays an essential part in restorative dental treatment. The manner in which caries is removed affects the maintenance of pulp vitality and determines how much dental hard tissue can be preserved during a restorative treatment for caries. During caries excavation, carious dental hard tissue, which needs to be removed, must be identified. Probing dentine hardness using a dental explorer and using a disclosing dye (Caries Detector) in order to stain porous areas of carious dentine are by far the most widespread methods to identify bacterially infected dentine during caries excavation. These methods are known to be inaccurate (Probe) or overly invasive (Caries Detector). Recently, Fluorescence Aided Caries Excavation (FACE) was introduced, which is intended to aid the dentist in visually detecting bacterially infected dentine enabling him to selectively and minimally invasively excavate carious dentine. Currently, two devices based on the FACE method are available on the market (SIROInspect and Facelight).

Methods: In the current review the working principle of FACE will be explained and its application will be described step-by-step. Today, Fluorescence Aided Caries Excavation is well investigated and understood. The current review intends to give answers to questions concerning the new excavation method based on scientific evidence. Also, suggestions are made on how to use Fluorescence Aided Caries

¹ Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Universitätsklinikum Regensburg, Regensburg, Deutschland

* Dieser Beitrag wurde in ähnlicher Form bereits in der Zeitschrift „Oralprophylaxe & Kinderzahnheilkunde 2013; 35: 162-173 publiziert.

Peer-reviewed article: eingereicht: 25.02.2015, Fassung akzeptiert: 27.02.2015

DOI 10.3238/dzz.2015.0110-0120

gut untersucht. Fragen zu dieser neuen Methode werden im Text anhand der hierzu erschienenen wissenschaftlichen Publikationen beantwortet und eine Empfehlung für den Gebrauch der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation an pulpanahen sowie pulpanahen Bereichen gegeben.

Ergebnisse: Mit der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation ist es möglich, bakteriell infizierte Dentinbereiche sichtbar zu machen und diese selektiv und unter Schonung der angrenzenden, nicht-infizierten Bereiche zu entfernen. Insbesondere dieser substanzschonende Ansatz in Verbindung mit der Möglichkeit in pulpanahen Bereichen bakteriell infiziertes Gewebe gezielter entfernen oder – wenn dies erwünscht ist – gezielt belassen zu können, machen die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation zu einer sinnvollen Ergänzung im Praxisalltag.

Schlussfolgerung: Mit der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation (FACE) steht eine Möglichkeit zur Verfügung, bakteriell infizierte Dentinbereiche im Rahmen der Kariesexkavation zuverlässiger als mit traditionellen Methoden zu erkennen und entsprechend der vorliegenden Situation zu entfernen oder – wenn dies in pulpanahen Bereichen sinnvoll erscheint – gezielt zu belassen. Die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation stellt eine sinnvolle Ergänzung einer substanzschonenden, minimalinvasiven restaurativen Kariestherapie dar.

(Dtsch Zahnärztl Z 2015; 70: 110–120)

Schlüsselwörter: Schlüsselwörter: fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation; FACE; SIROInspect; Facelight; unvollständige Kariesexkavation; zweizeitige Kariesexkavation; vollständige Kariesexkavation; Porphyrin; rote Fluoreszenz; minimalinvasiv

1 Einleitung

Trotz aller in den letzten Jahrzehnten erzielten Erfolge bleibt Karies die weltweit verbreitetste Erkrankung [34]. Bei rechtzeitiger Diagnosestellung und einer zu erwartenden Verbesserung der Mundhygiene durch den Patienten lassen sich kariöse Läsionen, die einer Reinigung durch den Patienten zugänglich sind, häufig erfolgreich nicht-invasiv therapieren [9]. Gleichwohl besteht in vielen Fällen die Notwendigkeit eine kariöse Läsion restaurativ zu therapieren, um deren weiteres Voranschreiten zu unterbinden oder den Zahn in Form, Funktion und Farbe wieder herzustellen. Mit der Indikationsstellung zu Gunsten einer Restauration stellt sich bei vorhandenen kariösen Veränderungen der Zahnhartsubstanz die Frage nach der Kariesexkavation.

Traditionell galt für die Kariesexkavation im Dentin die Härte als das entscheidende Kriterium, ob Dentin exkaviert werden muss oder nicht [12]. Klinisch wird die Härte, mangels Alternati-

ven, auch heute noch mit einer zahnärztlichen Sonde ertastet. In der Regel wurde gefordert, dass kariöses Dentin soweit zu entfernen ist bis nur noch sondenhartes Dentin vorliegt [28], welches beim Bewegen der Sondenspitze über die Oberfläche zu einem Klirren der Sonde führt. Vereinzelt wurde gefordert, dass das exkavierte Dentin eine glänzende, geradezu „polierte“ Oberflächenbeschaffenheit zeigen muss [1]. Diese Vorgehensweise der vollständigen Kariesexkavation wird heute nicht mehr in dieser Eindeutigkeit vertreten [31]. Näheres hierzu wird in vorliegendem Artikel weiter hinten behandelt.

Kariöses Dentin ist weniger hart als gesundes Dentin, wenn es demineralisiert ist; insofern ist die Härte nur ein Surrogat für die Beantwortung der klinisch entscheidenderen Frage, inwieweit im Dentin noch Bakterien vorhanden sind. Jedoch besteht zwischen Dentinhärte und bakterieller Infektion des Dentins ein schwacher Zusammenhang [11]. Dieser Zusammenhang besteht nicht zwischen dem Grad der bakteriel-

Excavation in areas further from as well as close to the pulp.

Results: Fluorescence Aided Caries Excavation makes it possible to see bacterially infected dentine areas, and subsequently to remove those areas selectively while preserving adjacent, non-infected dentine. It is the minimally invasive concept of FACE, particularly the option to remove bacterially infected dentine selectively or – in close proximity to the pulp – intentionally leave infected dentine behind, which makes FACE particularly useful.

Conclusions: Fluorescence Aided Caries Excavation offers a way of disclosing bacterially infected dentine more reliably than traditional methods and, depending on the individual situation, either removing the disclosed bacterially infected areas or leave them behind, as far as dentine very close to the pulp is concerned. Fluorescence Aided Caries Excavation is a suitable and useful addition for minimally invasive restorative caries therapy.

Keywords: Fluorescence Aided Caries Excavation, FACE, SIROInspect, Facelight, partial caries removal, step-wise caries excavation, complete caries excavation, porphyrin, red fluorescence, minimally invasive dentistry

len Infektion und der Farbe des Dentins – insofern eignet sich die Dentinfarbe nicht als Kriterium dafür, klinisch den Endpunkt der Kariesexkavation zu definieren.

Ein weiterer Schwachpunkt des Er tastens der Dentinhärte mit einer zahnärztlichen Sonde ist die Subjektivität der Methode. Selbst erfahrenen Zahnärzten bereitet es Mühe, den Übergang von weichem zu hartem Dentin zuverlässig zu bestimmen.

Neben der Sondierung von kariösem Dentin gibt es einige andere Methoden, den Endpunkt der Kariesexkavation zu bestimmen, die aber ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet sind. Ein Beispiel ist die Anwendung einer Färbelösung (Caries Detector). Diese, so die ursprüngliche Vorstellung, dringt in infiziertes Dentin, welches nicht mehr remineralisierbar ist ein und färbt es dadurch rot. Diese eingefärbten Bereiche lassen sich dann vom Zahnarzt erkennen und entfernen. Gleichzeitig sollte der Farbstoff aber demineralisiertes Dentin, welches noch remineralisierbar ist, nicht anfär-

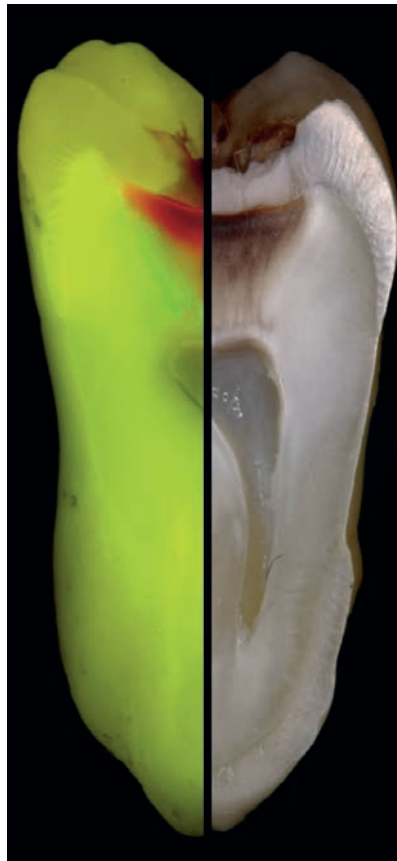


Abbildung 1 Schnitt durch einen extrahierten kariösen Zahn. Die rechte Bildhälfte ist mit normaler Beleuchtung fotografiert, die linke Bildhälfte ist unter Fluoreszenzbedingungen fotografiert (Anregung bei 405 nm, fotografiert durch einen 530 nm Hochpassfilter). Gut sichtbar ist die rote Fluoreszenz eines Bereiches im kariös veränderten Dentin und die gelb-grüne Fluoreszenz kariösfreier Bereiche.

Figure 1 Cross section through an extracted tooth with carious lesion. The right side shows the tooth using normal white-light photography, the left side shows the tooth using fluorescence conditions (excitation at 405 nm and using a 530 nm high-pass optical filter in front of the camera). A red fluorescing area within carious dentine and yellow-green fluorescing sound dentine can be seen and discriminated

ben. Die Praxis und diverse Studien haben aber gezeigt, dass diese Färbemethode eher zu einer Überexkavation führt, weil der Farbstoff generell auch in die Porositäten mindermineralisierten Dentins eindringen kann [16]. Konkret bedeutet dies, dass der Farbstoff auch in demineralisierte bakterienfreie und remineralisierbare Bereiche eindringen kann, sowie auch in physiologisch min-

dermineralisierte Dentinbereiche nahe der Pulpa. Aus diesem Grund wird heute allenfalls eine sehr zurückhaltende Anwendung von Caries Detector empfohlen [10].

Das Erkennen von bakteriell infiziertem Dentin und die Abgrenzung von möglicherweise demineralisiertem, aber nicht von Bakterien infiziertem Dentin im Rahmen einer Kariesexkavation war lange Zeit ein ungelöstes Problem. Mit der neuen Methode der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation besteht seit Kurzem die Möglichkeit, bakteriell infizierte Dentinbereiche selektiv zu erkennen, und dadurch gezielt entfernen zu können.

2 Wie lässt sich bakteriell infiziertes Dentin darstellen?

Für die Kariesexkavation wäre es hilfreich zu wissen, welche Bereiche des Dentins stark bakteriell infiziert sind. Dies wäre eine notwendige Voraussetzung für die Entscheidung, welche Dentinbereiche entfernt werden müssen (z.B. infizierte Bereiche fern der Pulpa), oder welche Bereiche belassen werden können (z.B. infizierte Bereiche nahe der Pulpa; näheres hierzu weiter unten).

Grundlagenuntersuchungen konnten zeigen, dass kariöses Dentin eine andere Fluoreszenz aufweist, als kariösfreies Dentin [6]. Im Detail zeigte sich, dass bei Anregung von kariösem und kariösfreiem Dentin mit violettem Licht (Wellenlängenbereich ca. 390–420 nm) kariöses Dentin rot fluoresziert, kariösfreies Dentin hingegen grün fluoresziert. Konkret bedeutet dies, dass bei Betrachten des mit violettem Licht beleuchteten Dentins durch einen Sperrfilter (welcher das violette Licht nicht hindurch lässt) kariöses Dentin rot, kariösfreies Dentin aber gelb-grün leuchtet (Abb. 1). Diese optischen Eigenschaften erschienen daher als geeignet, eine Methode zu entwickeln, mit welcher dieser rot-grün Kontrast für die Kariesexkavation nutzbar gemacht werden kann. Entscheidend für das Funktionieren einer solchen Methode war der Nachweis, dass die rot fluoreszierenden Bereiche im Dentin sehr gut mit bakteriell infizierten Bereichen übereinstimmen, während grün fluoreszierende Bereiche sehr gut mit bakterien-

freiem Dentin, bzw. mit gering belastetem Dentin (nur einzelne Bakterien) korrelierte [21].

3 Die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation

Primäres Ziel der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation (Fluorescence Aided Caries Excavation, FACE) ist es, bakteriell infizierte Dentinbereiche mit dem Auge zu erkennen und von bakterienfreien Bereichen klar unterscheiden zu können und auf diese Weise infizierte Dentinbereiche selektiv, und somit minimalinvasiv zu entfernen. Im Gegensatz zur Sondierung steht nicht die tastbare Härte, sondern die bakterielle Infektion im Vordergrund des Interesses.

Integrale Bestandteile von FACE sind die Beleuchtung mit violettem Licht zur Anregung (Abb. 2), und ein Filter, durch den der beleuchtete Zahn betrachtet wird. Dieser Filter hat die Aufgabe, das Anregungslicht zu sperren und größere Wellenlängen, also fluoreszierendes Licht (rot und grün), hindurchzulassen. Bakteriell infiziertes Dentin ist durch seine rote Fluoreszenz vom grün fluoreszierenden, bakterienfreien Dentin unterscheidbar. Im Gegensatz zur punktuellen Sondierung der Härte bekommt der behandelnde Zahnarzt einen Gesamteindruck über die Kavität und sieht auf einen Blick, in welchem Bereich noch bakteriell infiziertes Dentin vorhanden ist (Abb. 3). Im Rahmen der Exkavation können nun rot fluoreszierende Bereiche sukzessive entfernt und der Exkavationsfortschritt intermittierend mit der FACE-Methode kontrolliert werden. Die Exkavation lässt sich aber auch zeitgleich mit der Anregung und Betrachtung durch den optischen Filter durchführen. Entsprechende Systeme sind inzwischen auf dem Markt erhältlich (SIROInspekt, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Deutschland und Facelight, W&H Dentalwerk Bürmoos GmbH, Bürmoos, Österreich, Abb. 4).

4 Ursache der roten Fluoreszenz

Eine spektrale Analyse der Fluoreszenzeigenschaften ergab, dass der größte Kontrast zwischen rot fluoreszierendem (bakteriell infiziertem) Dentin und grün

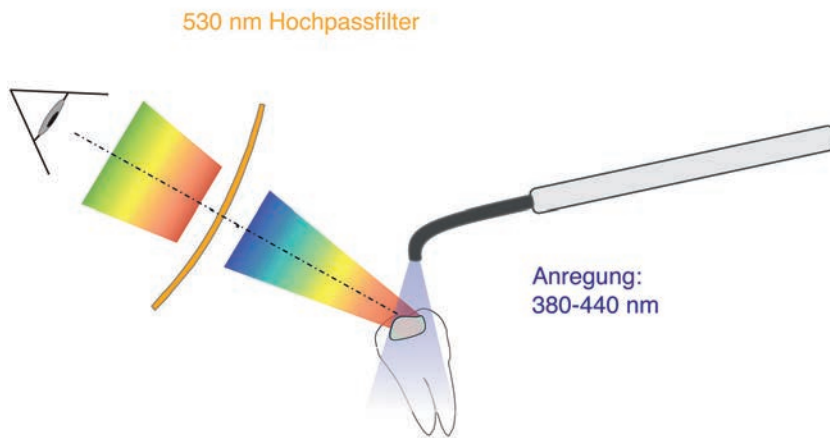


Abbildung 2 Grundprinzip der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation. Die Kavität wird mit violettem Licht angeregt und durch einen Hochpassfilter betrachtet. Dabei wird die rote Fluoreszenz bakteriell infizierter Bereiche und die gelb-grüne Fluoreszenz nicht-infizierter Bereiche sichtbar.

Figure 2 The basic principle of Fluorescence Aided Caries Excavation. The cavity is excited using violet light and observed through an optical high-pass filter. Bacterially infected dentine discloses itself by its red fluorescence, in contrast to the yellow-green fluorescence of dentine free from bacteria.

fluoreszierendem (nicht infiziertem) Dentin bei einer Anregungswellenlänge im Bereich von 405 nm auftrat [6]. Eine maximale Anregbarkeit für die rote Fluoreszenz bei 405 nm lässt sich gut mit dem Anregungsmaximum von Porphyrinverbindungen (Soret-Bande) erklären [15]. Vermutungen dieser Art sind nicht neu und wurden bereits früh publiziert [22, 33]. In den folgenden Jahrzehnten wurde diesem Sachverhalt aber kaum Bedeutung beigemessen, und dieser erst viel später vereinzelt wieder aufgegriffen [13]. In einer systematischen Untersuchung mithilfe der Reversiblen-Phasen Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie konnten wir Porphyrinverbindungen im kariösen Dentin direkt nachweisen [5]. Hierbei zeigte sich, dass kariöses Dentin in 95 % Protoporphyrin IX enthält und in 97,5 % mindestens eines der beiden Coproporphyrine I und III enthält, sowie einen Anteil noch nicht identifizierter Porphyrinverbindungen aufweist, welcher ca. ein Drittel der gesamten roten Fluoreszenz ausmacht. Das möglicherweise wichtigste Ergebnis dieser Untersuchung aber war, dass alle kariösen Proben rot fluoreszierten.

Nun stellt sich die Frage, wie diese rot fluoreszierenden Verbindungen in das kariöse Dentin kommen. Es gibt Bakterien, die fluoreszierende Porphyrinverbindungen synthetisieren können.

Um zu zeigen, ob auch in kariösem Dentin vorkommende Bakterien hierzu in der Lage sind, wurden in einer weiteren Untersuchung [18] 12 Bakterienstämme ausgewählt, deren Vorkommen in kariöser Zahnhartsubstanz beschrieben wurde. Diese Bakterienstämme wurden separat unter verschiedenen Ernährungsbedingungen angezüchtet und deren auf Agar-Nährböden gewachsene Kolonien daraufhin untersucht, ob sie bei Anregung mit violettem Licht (405 +/- 20 nm) rot fluoreszieren. Dabei zeigten die Kolonien vor allem von *Laktobazillen* und *Actinomyces* sowie von *Prevotella intermedia* eine zum Teil erhebliche rote Fluoreszenz, während die rote Fluoreszenz der untersuchten *Streptococci* und von *Fusobacterium nucleatum* geringer war. Offensichtlich sind die in tiefen Bereichen kariösen Dentins vorhandenen Keime besser in der Lage, vermehrt rote Fluoreszenzfarbstoffe zu synthetisieren, als die Frühbesiedler der Zahnoberfläche.

5 Stimmen im Dentin rot fluoreszierende Bereiche mit stark infizierten Bereichen überein?

Die beschriebenen Ursachen für die rote Fluoreszenz kariösen Dentins sind vor

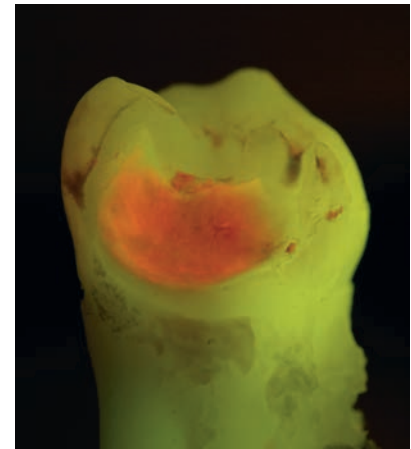


Abbildung 3 Extrahierter Zahn mit ausgeprägter Karies. Die rote Fluoreszenz bakteriell infizierter Bereiche ist gut von der gelb-grünen Fluoreszenz nicht-infizierter Bereiche unterscheidbar.

Figure 3 Extracted tooth with deep caries. The red fluorescence from bacterially infected dentine can be distinguished from the yellow-green fluorescence of non-infected dentine.



Abbildung 4 Lichtsonde mit integriertem optischen Filter für FACE, wie sie zurzeit am Markt erhältlich ist.

Figure 4 Light-probe with integrated optical filter, which is the embodiment of FACE currently available.

allem aus theoretischen Erwägungen interessant. Entscheidend für die praktische Nutzung der roten Fluoreszenz zur Kariesexkavation ist aber die Frage, inwieweit rot fluoreszierende Bereiche mit Bereichen einer hohen bakteriellen Besiedlung übereinstimmen, und, ob das nach Entfernen dieser Bereiche zurückbleibende grün fluoreszierende Dentin tatsächlich frei von Bakterien ist. Hierzu

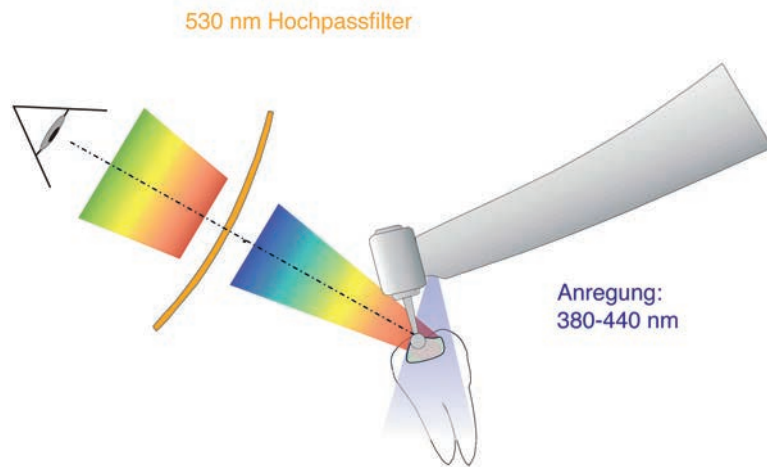


Abbildung 5 Die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation mit dem Winkelstück. Eine Integration des Erkennens (Detektion) bakteriell infizierter Dentinbereiche und das Entfernen dieser Bereiche ist zeitgleich möglich.

Figure 5 Fluorescence Aided Caries Excavation using a dental contra-angle handpiece. This embodiment enables full integration of detection and removal of bacterially infected dentine during caries excavation.

wurde eine Untersuchung an extrahierten kariösen Zähnen durchgeführt, in der eine Gruppe der Zähne so weit beschliffen wurde, dass rot fluoreszierendes Dentin frei lag; in einer anderen Gruppe wurde das rot fluoreszierende Dentin weiter beschliffen, bis gerade kein rot fluoreszierendes Dentin mehr vorhanden war [21]. Alle Zähne wurden nun geschnitten und mit einem konfokalen Laser Raster Mikroskop (CLSM) auf die Anwesenheit von Bakterien im Dentin hin untersucht. Dabei wurde die Präsenz von mehr als einem massiv infizierten Dentintubulus als Schwellwert für das Vorliegen einer bakteriellen Infektion gewählt. Es zeigte sich, dass bei Vorliegen rot fluoreszierenden Dentins fast immer eine starke bakterielle Infektion vorhanden war. Gleichzeitig zeigte sich, dass durch das Entfernen der rot fluoreszierenden Dentinanteile nur in wenigen Fällen noch vereinzelt Bakterien im Dentin zurückgeblieben waren. Mit anderen Worten, rot fluoreszierende Dentinbereiche stimmen sehr gut mit stark infizierten Bereichen überein.

6 Wie gut lässt sich die rote Fluoreszenz zur Kariesexkavation nutzen?

Im vorliegenden Text wurden bisher Hintergrundinformationen zur fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation

dargestellt. Für die praktische Anwendung am Patienten ist darüber hinaus entscheidend, wie gut sich die Methode der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation anwenden lässt, wie sie sich mit traditionellen Methoden für die Kariesexkavation vergleicht und welche Ergebnisse damit zu erzielen sind. Auch hierzu sind Untersuchungen durchgeführt worden. In einigen Studien kam ein Prototyp der „Idealform“ der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation zum Einsatz. Hierfür wurde das Anregungslicht durch das zur Kariesexkavation verwendete Winkelstück geleitet, d.h. die Detektion der Residualkaries und deren Entfernung fanden zeitgleich statt, der aktive Vorgang der Entfernung kariösen Gewebes konnte direkt kontrolliert werden (Abb. 5). Hierbei ergab sich, dass bei der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation signifikant weniger Zähne nach der Exkavation bakteriell infizierte Bereiche aufwiesen, als bei der konventionellen taktilen Methode, also dem Er tasten der Härte mit einer zahnärztlichen Sonde [20].

Die zuverlässige Entfernung bakteriell infizierten Dentins alleine wäre aber wertlos, wenn sie auf Kosten des bakterienfreien Dentins ginge. Konkret bedeutet dies, dass bakteriell infiziertes Dentin bei der Kariesexkavation gut erkennbar zu sein hat, gleichzeitig aber bakterienfreies Dentin ebenso gut davon unterscheidbar sein muss und somit

bei der Exkavation geschont werden kann. Mit anderen Worten, die Exkavation bakteriell infizierter Bereiche soll selektiv und somit substanzschonend möglich sein. In einer weiteren Arbeit wurde daher für die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation, die konventionelle Kariesexkavation mithilfe der Sonde und die Kariesexkavation mithilfe von Caries Detector Färbelösung untersucht, welche Menge an Bakterien nach der Exkavation am Kavitätenboden noch zurückgeblieben war, und gleichzeitig die Größe der zurückgelassenen Kavität bestimmt [16]. Bei der konventionellen Exkavation mithilfe der Sonde blieben über 1.500-fach und bei der Exkavation mithilfe von Caries Detector noch über 800-fach mehr Bakterien im Dentin zurück als bei der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation. Die Unterschiede der Kavitätengröße nach der Kariesexkavation waren weniger deutlich, allerdings zeigte sich bei Anwendung der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation eine Tendenz zu kleineren Kavitäten. Zusammen genommen lässt sich daher feststellen, dass die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation nicht invasiver ist als die Kariesexkavation mithilfe der Sonde oder Verwendung von Caries Detector, gleichzeitig aber bakteriell infiziertes Dentin deutlich zuverlässiger entfernt werden kann. Der ideale Endpunkt der Kariesexkavation lässt sich somit durch die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation genauer bestimmen, als mit der zahnärztlichen Sonde oder mit Caries Detector.

Eine weitere Beobachtung in der genannten Studie [16] war, dass bei der Exkavation mithilfe von Kariesdetektor in 50 % aller Fälle die Pulpa eröffnet wurde, während bei Exkavation mit der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation oder mithilfe der Sonde die Pulpa in keinem Fall eröffnet wurde.

7 Wie effizient sind verschiedene Methoden für die Kariesexkavation?

Die Effizienz einer neuen Methode für die Kariesexkavation ist insofern von Bedeutung, als dass die Kariesexkavation nicht nur effektiv sein muss, dass also damit bakteriell infiziertes Dentin sicher entfernt werden kann, sondern gleichzeitig die dafür aufzuwendende Zeit

möglichst klein sein soll. Hierzu wurden in einer In-vitro-Untersuchung an extrahierten kariösen Zähnen drei etablierte Methoden für die Kariesexkavation und die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation miteinander verglichen [19]. Zum einen wurde die für die Exkavation notwendige Zeit gemessen, zum anderen wurde der Anteil der nach Exkavation noch infizierten Zähne ermittelt. Von jeweils 20 exkavierten Zähnen wiesen nach der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation noch 5 Zähne Bereiche mit infiziertem Dentin auf (mehr als ein infizierter Dentintubulus). Nach Exkavation mithilfe der Sonde, Caries Detector Anfärbung und der chemo-mechanischen Kariesexkavation mit Carisolv wiesen noch 11, 12 bzw. 15 Zähne bakteriell infiziertes Dentin auf. Die für das Erreichen des jeweiligen Endpunktes der Kariesexkavation benötigte Zeit war bei der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation mit jeweils etwas über 3 min signifikant geringer, als bei der Kariesexkavation mithilfe der Sonde (4 min) oder der Kariesexkavation mithilfe von Caries Detector oder Carisolv (jeweils über 5 min). Auch wenn die Dauer für die Kariesexkavation hier nicht überbewertet werden soll, kann aus den Ergebnissen der Schluss gezogen werden, dass sich bakteriell infiziertes Dentin mit der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation effizienter entfernen lässt als mit bisherigen Methoden.

8 Eignung von FACE für Milchzähne

Die Kariesexkavation an Milchzähnen stellt nicht nur aufgrund der häufig bei Kindern gegenüber erwachsenen Patienten erschwerten Behandelbarkeit eine besondere Herausforderung dar, sondern gerade auch aufgrund der Milchzahn-anatomie, die durch ein recht raumgreifendes Pulpacavum und eine nur relativ geringe Dentindicke gekennzeichnet ist. Gerade aus diesen Gründen könnte die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation an Milchzähnen vorteilhaft sein. Allerdings würde dies voraussetzen, dass auch in Milchzähnen der gleiche Zusammenhang zwischen einer bakteriellen Infektion und der Präsenz von bakteriellen Porphyrinderivaten im Dentin besteht, wie dies bei permanenten Zähnen der Fall ist. Um die Eignung

der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation an Milchzähnen zu untersuchen, wurde eine In-vitro-Studie an extrahierten kariösen Milchzähnen durchgeführt [17]. Jeweils 22 kariöse Milchzähne wurden mit der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation, mithilfe von Caries Detector oder der Einschätzung der Härte mit einer zahnärztlichen Sonde exkaviert. Anschließend wurde die verbliebene bakterielle Besiedlung der Dentintubuli an Dünnschliffen ausgewertet. Nach der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation waren weniger Zähne mit Bakterien infiziert (14 %) als nach Exkavation mithilfe von Caries Detector (25 %, Unterschied statistisch nicht signifikant) oder der Exkavation mithilfe der Sonde (45 %, Unterschied statistisch signifikant). Zusätzlich zeigte sich, dass an den Zähnen mit nach der Kariesexkavation noch verbliebener bakterieller Kontamination (mehr als ein infizierter Dentintubulus), der Infektionsgrad nach der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation weniger stark ausgeprägt war, als nach Kariesexkavation mithilfe von Caries Detector oder Zuhilfenahme der Sonde. Es kann daher davon ausgegangen werden, dass die fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation auch für Milchzähne geeignet ist.

9 Anwendung von FACE

Die im Dentalhandel erhältlichen Geräte für die fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation (Abb. 4) können auf zwei Arten angewendet werden. Eine zeitgleiche Detektion bakteriell infizierten Dentins während der Exkavation ist möglich, indem die zahnärztliche Assistenz die Lichtsonde auf die zu exkavierende Stelle ausrichtet, während der Zahnarzt rot fluoreszierende Bereiche des Dentins, beispielsweise mit einem rotierenden Rosenbohrer, entfernt. In gleichem Sinne kann auch der Zahnarzt die Lichtsonde mit einer Hand führen und mit der anderen Hand Karies exkavieren. Ein mehrmaliger Instrumentenwechsel, wie dies bei der traditionellen Anwendung der Sonde notwendig ist, entfällt.

Davon unterschieden werden kann die intermittierende Detektion, bei der der Zahnarzt abwechselnd die zu exkavierenden Bereiche mit der Lichtsonde ausleuchtet und durch den Filter hin-

durch betrachtet, sich die rot fluoreszierenden Bereiche merkt und beispielsweise mit einem rotierenden Rosenbohrer entfernt, und danach wieder mit Lichtsonde und Filter kontrolliert. Diese intermittierende Herangehensweise ist mit dem Wechsel des Instrumentes verbunden und ist insofern der traditionellen Anwendung der zahnärztlichen Sonde ähnlich.

10 Die fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation Step-by-step

10.1. Präparation der Zugangskavität

Bei nur eingeschränktem Zugang zum kariösen Dentin sollte vor der Kariesexkavation eine Zugangskavität präpariert werden, um das kariöse Dentin in seiner gesamten Ausdehnung ausreichend gut einsehen und kontrolliert entfernen zu können (Abb. 6a). In diesem der Kariesexkavation vorangestellten Schritt unterscheidet sich die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation nicht von traditionellen Methoden für die Kariesexkavation. In der Regel wird dabei auch kariöser Schmelz vollständig entfernt.

10.2 Diagnostik und Exkavation der Residualkaries

Nach der Präparation der Zugangskavität erfolgt die erste Kontrolle der Ausdehnung der Residualkaries mit FACE. Bakteriell infizierte Dentinbereiche zeigen bei Anwendung von FACE eine rote Fluoreszenz, die sich von der gelb-grünen Fluoreszenz nicht infizierter Bereiche abgrenzt (Abb. 6b). In diesem Zusammenhang muss betont werden, dass es sich bei der beschriebenen rot und grün sichtbaren Fluoreszenz um eine Eigenfluoreszenz des Dentins handelt, ohne dass irgendwelche Farbstoffe aufgetragen werden müssen. Da die rot fluoreszierenden Bereiche eine starke bakterielle Durchdringung aufweisen, sollten diese im Rahmen der Kariesexkavation entfernt werden. Das Entfernen der Residualkaries kann wie gewohnt erfolgen, z.B. mit einem Rosenbohrer oder auch mit Handinstrumenten (Exkavatoren). Rot fluoreszierende Bereiche werden nun solange schichtweise abgetragen, bis sich eine gelb-grüne Fluoreszenz

einstellt (Abb. 6c). Bei der intermittierenden Anwendung der FACE-Lichtsonde im Rahmen der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation kann es notwendig sein, die Kavität im Verlauf der Kariesexkavation mehrmals mit der FACE-Lichtsonde und Filter auf Residualkaries hin zu überprüfen. Bei der gleichzeitigen Anwendung der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation erfolgt die Kariesexkavation simultan mit der Detektion der Residualkaries anhand der roten Fluoreszenz, wodurch ein Instrumentenwechsel entfällt. Grundsätzlich erübrigt sich aber der Einsatz der zahnärztlichen Sonde zur Kontrolle der Dentinhärte.

10.3. Endpunkt der Kariesexkavation

Im Normalfall sind rot fluoreszierende Dentinbereiche vollständig zu exkavieren, um möglichst wenig bakteriell infiziertes Dentin zurück zu lassen. Von dieser Herangehensweise kann in pulpanahen Bereichen abgewichen werden. Im Detail empfehlen wir folgende Vorgehensweise:

Pulpaferne Bereiche

In pulpafernen Bereichen (Abb. 7f) empfiehlt es sich rot fluoreszierendes (= bakteriell stark infiziertes) Dentin vollständig zu exkavieren. Neben der Reduktion des bakteriell infizierten Gewebes werden damit die Voraussetzungen für einen dichten Restaurationsrand und eine sichere retentive bzw. adhäsive Verankerung der nachfolgenden Restauration im Zahnhartgewebe geschaffen.

Pulpanahe Bereiche

In pulpanahen Bereichen kann von der Maximalforderung abgewichen werden, bakteriell stark infiziertes (= rot fluoreszierendes) Dentin vollständig zu entfernen (Abb. 7a-j). Diese Vorgehensweise ist dann angezeigt, wenn durch eine weitergehende pulpanahe Kariesexkavation von einer Eröffnung der Pulpa auszugehen ist. Um die dann notwendige Wurzelkanalbehandlung zu vermeiden, kann eine geringe Menge rot fluoreszierendes Dentin in dem direkt an das Pulpakavum angrenzenden Bereichen belassen werden. Diese lokalen pulpanahen Bereiche können vor der Restauration der Kavität ggf.

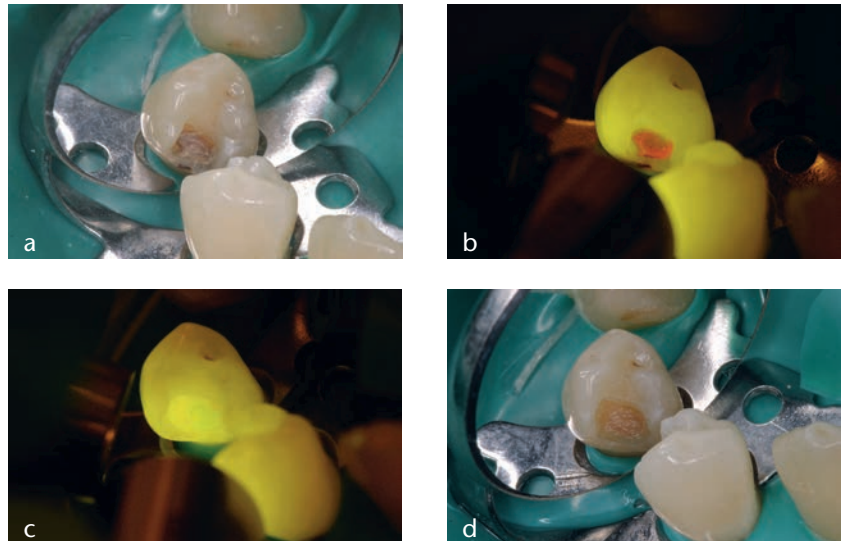


Abbildung 6 a-d Fallbeispiel einer vollständigen Kariesexkavation. **a)** Situation nach Präparation der Zugangskavität an einem kariösen Prämolaren. Im zentralen Bereich der Kavität ist farblich verändertes Dentin erkennbar, welches bei Sondierung weich ist. Die genaue Ausdehnung des bakteriell infizierten Dentins ist unter den gegebenen normalen Lichtbedingungen und mit Sondieren nicht ersichtlich. **b)** Gleiche Situation wie in a), aber mit FACE betrachtet. Bakteriell infiziertes Dentin leuchtet rot und grenzt sich deutlich von gesundem gelb-grün fluoreszierenden Dentin ab. **c)** Situation nach vollständiger Kariesexkavation mit FACE. Das bakteriell infizierte rot fluoreszierende Dentin ist vollständig exkaviert. Die gesamte Kavität fluoresziert gelb-grün. **d)** Gleiche Situation wie in c), jedoch unter normalen Lichtbedingungen abgebildet.

Figure 6 a-d Clinical case of complete one-stage caries removal. **a)** Carious premolar with access cavity prepared. The dentine in the centre of the cavity is discoloured and soft on probing. The true extension of bacterially infected dentine cannot be assessed by traditional means. **b)** Same situation as in a), but observed using FACE. Bacterially infected dentine lights up in red contrasting with the yellow-green appearance of non-infected dentine. **c)** Situation after complete caries removal. All red-fluorescing dentine was removed. The whole cavity exhibits yellow-green fluorescence. **d)** Same situation as in c), but viewed under normal "white-light" conditions.

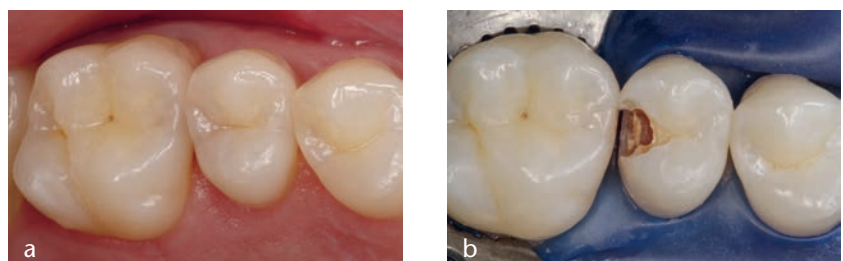


Abbildung 7 a-b Fallbeispiel einer unvollständigen Kariesexkavation im Rahmen einer zweizeitigen Caries-Profunda-Behandlung mit indirekter Überkappung (Spiegelaufnahmen). **a)** Ausgangssituation Zahn 25 mit einer distal gelegenen Approximalkaries. **b)** Situation nach Präparation der Zugangskavität.

Figure 7 a-b Clinical case of incomplete caries removal in the context of stepwise caries excavation with indirect pulp-capping (mirror-photographs). **a)** Tooth 25 with distally located approximal caries. **b)** Access cavity prepared.

mit einem Kalziumhydroxid- oder Trikalzium-Silikat-Präparat im Sinne einer Caries-profunda-Behandlung abgedeckt werden. Bei diesem Vorgehen ist die Vitalerhaltung der Pulpa in den meisten Fällen möglich. Neben der ein-

zeitigen Vorgehensweise ist es auch möglich, zweizeitig vorzugehen und das pulpanah bewusst belassene kariöse Dentin bei einem zweiten Eingriff vollständig zu entfernen. Hierbei zeigt sich oft, dass nach der Eröffnung der

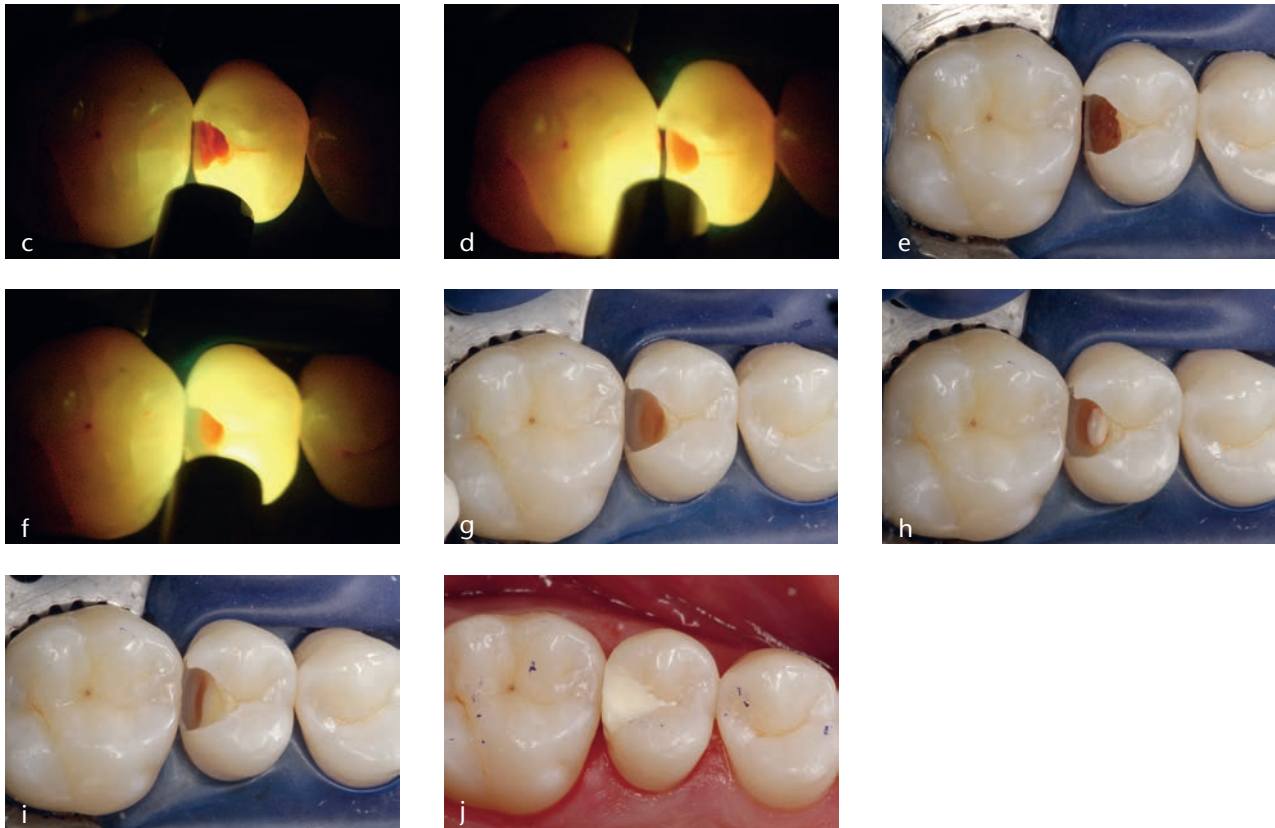


Abbildung 7 c–j c) Gleiche Situation wie in Abbildung b), jedoch unter FACE–Lichtbedingungen fotografiert. Die rot fluoreszierenden bakteriell infizierten Bereiche heben sich gut sichtbar von den nicht infizierten, gelb–grün fluoreszierenden Bereichen ab. Im Bild sichtbar ist auch der Lichtleiter der FACE–Lichtsonde (SIROInspect). **d)** Situation nach einer teilweisen Kariesexkavation (FACE–Lichtbedingungen). Das sichtbare Dentin zeigt immer noch eine deutlich sichtbare rote Fluoreszenz, die aber bereits etwas weniger intensiv ist als vor der Kariesexkavation (Abb. 7c). **e)** Gleiche Situation nach teilweiser Kariesexkavation wie in Abbildung d), jedoch unter normalen Lichtbedingungen. **f)** Nach einer vollständigen Kariesexkavation im peripheren Kavitätenbereich zeigt dieser die grün–gelbe Fluoreszenz kariesfreien Dentins. Im pulpanahen Bereich wurde bakteriell infiziertes Dentin bewusst belassen, um die ansonsten sichere Exposition der Pulpa zu vermeiden. Dieser Bereich fluoresziert weiterhin rot, was für eine bakterielle Kontamination spricht. **g)** Gleiche Situation nach teilweiser Kariesexkavation wie in Abbildung f), jedoch unter normalen Lichtbedingungen. **h)** Abdeckung der pulpanahen Bereiche der Kavität mit einer Kalziumhydroxidsuspension (indirekte Überkappung) mit dem Ziel einer vollständigen Kariesexkavation zu einem späteren Zeitpunkt (zweizeitige Kariesexkavation). **i)** Stabilisierung der eingebrachten Kalziumhydroxidsuspension durch Übersichten mit einem kunstharzmodifizierten Gasionomerzement (Vitrebond). **j)** Fertig gestellte temporäre Deckfüllung aus einem konventionellen Gasionomerzement (Ketac Fil).

Figure 7 c–j c) Same situation as in b), but viewed using FACE conditions. Red fluorescing, bacterially infected dentine can be distinguished from yellow–green fluorescing, non infected dentine. **d)** Carious (red fluorescing dentine) is partially removed. The exposed dentine still exhibits red fluorescence, but to a lesser degree as compared with the situation before caries excavation (Fig. 7 c). **e)** Same situation as in d) with carious dentine partially removed, but viewed at normal “white–light” conditions. **f)** Dentine close to the cavity margins is completely excavated and shows the yellow–green fluorescence of dentine free from bacteria. Dentine close to the pulp still shows some red fluorescence, indicating presence of bacteria within the dentine. In this case infected dentine close to the pulp was left behind intentionally in order to avoid pulp exposure. **g)** Same situation of partial caries removal as in f) viewed using normal “white–light” conditions. **h)** Carious areas close to the pulp were covered with calcium–hydroxide–suspension (indirect pulp capping) providing the opportunity of a re–entry in the future (stepwise excavation). **i)** The calcium–hydroxide suspension was covered by a layer of resin–modified glass–ionomer cement (Vitrebond) in order to stabilize the suspension. **j)** Temporary glass ionomer cement (Ketac Fil) restoration in place.

Kavität für den Zweiteingriff kaum noch rot fluoreszierende Bereiche vorhanden sind, was dafür spricht, dass die bakterielle Aktivität der ehemals infiziert zurückgelassenen Bereiche zum Erliegen gekommen ist (Abb. 7k–n). Vor diesem Hintergrund scheint die einzeitige Kariesexkavation für den Regelfall ausreichend zu sein.

11 Kritische Wertung von FACE

Obwohl die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation eine noch relativ neue Methode ist und die dafür notwendige Ausrüstung erst seit kurzer Zeit über den Dentalhandel vertrieben wird, ist sie schon relativ gut untersucht. Insbeson-

dere Studien zur Erkennbarkeit und Entfernbareit bakteriell infizierter Dentinbereiche sind publiziert. Aufgrund der Kürze der Verfügbarkeit noch nicht publiziert sind Ergebnisse klinischer Untersuchungen mit der Fragestellung, ob die Vitalität der Pulpa durch die Kariesexkavation mit FACE im Gegensatz zu anderen Methoden während der Kariesexka-

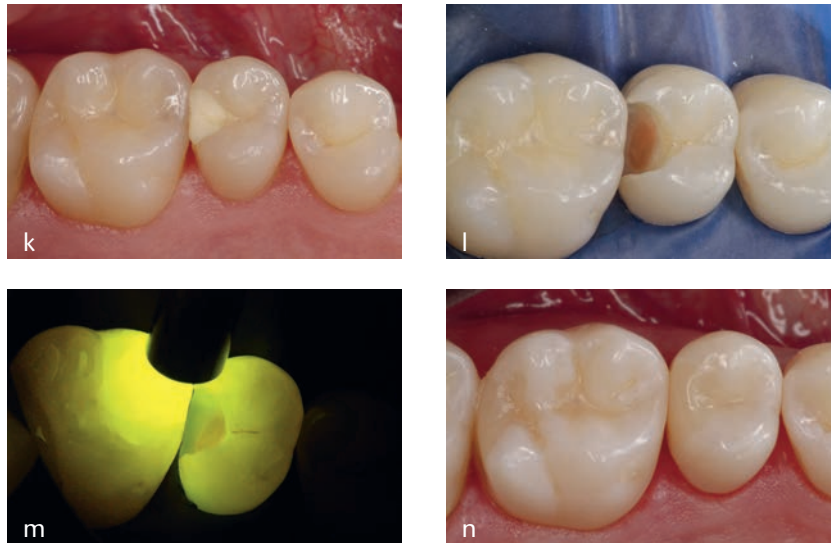


Abbildung 7 k–n k) Situation 23 Monate später. l) Wiedereröffnung der Kavität (nach 23 Monaten). m) Gleiche Situation wie in Abbildung l, jedoch unter Fluoreszenzbedingungen. Eine rote Fluoreszenz im pulpanahen Bereich ist kaum noch zu erkennen, was dafür spricht, dass die bakterielle Aktivität in den 23 Monaten seit dem Ersteingriff zum Erliegen gekommen ist. Gleichzeitig hat die Härte in diesem Bereich im Vergleich zum Stadium f-g) zugenommen n). Situation nach abschließender Füllungstherapie an den Zähnen 25 (distal-okklusal) und 26 (mesial) mit einem Adhäsiv und einem Nanofüller-Komposit (Optibond FL und Filtek Supreme XTE). **Figure 7 k–n** k) Clinical situation 23 months later. l) Re-entry 23 months after first, partial excavation. m) Same situation as in l) viewed under FACE conditions. The former red fluorescing area close to the pulp shows hardly any red fluorescence any more, indicating an arrest of bacterial activity. Also, as a side effect, the hardness in this area increased as compared to stage f-g). n) Situation following restorative therapy using adhesive and a nanofiller compo-site (Optibond FL and Filtek Supreme XTE) of teeth 25 (occluso-distal location) and 26 (mesially located).

(Abb. 1, 3, 4–7: W. Buchalla, Abb. 2: W&H)

vation tatsächlich sicherer erhalten werden kann, und ob die Vitalität und die Restauration des therapierten Zahnes auch langfristig bestehen bleibt. Ebenso fehlen Studien zur gezielten Anwendung von FACE auch im Rahmen unvollständiger und zweizeitiger Kariesexkavation.

Die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation macht infizierte und bakterienfreie Dentinbereiche durch eine kontrastierende rote und gelb-grüne Fluoreszenz für den behandelnden Zahnarzt sichtbar. Daraus ergibt sich, dass FACE für farbenblinde und rot-grün-blinde Anwender nicht geeignet ist. Zahnärzte mit einer Rot-grün-Sehschwäche können die Methode unter Umständen erfolgreich anwenden, allerdings gibt es hierzu keine systematische Untersuchung.

Eine weitere Einschränkung von FACE besteht darin, dass die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation nicht zusammen mit Caries Detector anwendbar ist. Caries Detector selbst fluoresziert

stark rot. Mit Caries Detector eingefärbte Dentinbereiche würden daher ebenfalls rot fluoreszieren, was unter Umständen zu falsch-positiven Ergebnissen führen kann. Auch ist es ja gerade der Vorteil von FACE, dass keine zusätzlichen Färbemittel eingesetzt werden müssen.

12 Was muss exkaviert werden?

„Was muss exkaviert werden?“ Diese Frage ist sicherlich so alt wie die ersten Schritte der restaurativen Zahnmedizin, und sie lässt sich auch heute noch nicht immer eindeutig beantworten. Die zentrale Rolle dabei spielt der Zustand der Pulpa, genauer gesagt, eine mögliche akute oder chronische Entzündung, oder eine Invasion von Bakterien. Seitens der Bakterien stellt nicht nur das Eindringen von Bakterien in die Pulpa ein Problem dar, sondern bereits bakterielle Endotoxine (z.B. Lipopolysaccharide und Lipoteichonsäuren), die in den

Dentintubuli auf die Odontoblastenfortsätze einwirken oder in das Pulpakavum diffundieren können. Bakterielle Lipopolysaccharide und Lipoteichonsäuren und im demineralisierten Dentin freigesetzte Gewebeanigene können eine Entzündungsreaktion zunächst im Bereich des Odontoblastensaumes hervorrufen. Diese Entzündungsreaktion kann im positiven Fall direkt zu einer Tertiärdentinbildung führen [32]. Dieser Schutzmechanismus kann auch dann noch funktionieren, wenn Odontoblasten absterben, indem aus Vorläuferzellen odontoblastenähnliche Zellen differenzieren, die die Aufgaben der Odontoblasten, d.h. die Bildung von Tertiärdentin, übernehmen können. Ist die bakterielle Belastung aber zu hoch, kann es, einhergehend mit einer überschießenden Entzündungsreaktion, letztendlich zum Absterben aller pulpalen Zellen kommen. Heute ist bekannt, dass Karies bereits in einem sehr frühen Stadium Reaktionen der Odontoblasten und der Pulpa hervorruft. Bereits eine auf den Schmelz beschränkte Ausdehnung der Karies führt zu cytoplasmatischen Veränderungen mit einer einhergehenden reduzierten metabolischen Aktivität der Odontoblasten [23]. Je näher die bakterielle Invasion an die Pulpa heranrückt, desto stärker werden die Immunreaktionen in der Pulpa [7]. Eine Problematik, die nun bei der Kariesexkavation pulpanaher Bereiche hinzukommt, ist, dass die Exkavation ein Trauma für die Odontoblasten darstellt und somit eine weitere Belastung pulpalen Zellen bedeutet. Da aber auch bekannt ist, dass Veränderungen von Odontoblasten, die bei einer aktiven Karies auftreten, bei einer inaktiven Karies nicht mehr in gleichem Maße beobachtet werden können, ist die Frage berechtigt, ob es nicht besser wäre kariöses (bakteriell belastetes) Dentin zu belassen, und den bakteriellen Metabolismus mit einer dichten Füllung in einen inaktiven Zustand zu überführen [3]. Daraus abgeleitet wurde das Konzept der „ultrakonservativen Restauration“, bei welcher lediglich so viel kariöses Gewebe vom Randbereich eines kariösen Zahnes entfernt wird, wie zur Herstellung einer adhäsiv abgedichteten Restauration notwendig ist [25]. Die genannte Publikation berichtet von einer klinischen Studie, in welcher nach diesem Konzept behandelte kariöse, aber symptomlose Zähne im Vergleich mit

der vollständigen Kariesexkavation über 10 Jahre nachuntersucht wurden. Dabei kommen die Autoren zum Schluss, dass die „ultrakonservative Restauration“ aufgrund ihrer hohen Erfolgsquote zu bevorzugen sei. Allerdings zeigen die Zahlen aus dieser Publikation bei genauer Betrachtung, dass die Misserfolgsrate von vollständig exkavierten Zähnen, die mit einer adhäsiv versiegelten Restauration versorgt wurden, nach 10 Jahren geringer war (2 % Misserfolg), als die bei versiegelten Restaurationen mit einer großen Menge belassener Karies (14 % Misserfolg). Die Entfernung bakteriell infizierten Gewebes macht also nach wie vor Sinn, wohl nicht zuletzt, weil dadurch auch ein Großteil der eine Pulpitis hervorrufenden bakteriellen Endotoxine entfernt werden [8].

Etwas anders stellt sich die Lage für bakteriell infiziertes Dentin nahe der Pulpa dar. Je weniger dick das nach einer Präparation über der Pulpa verbliebene Dentin ist, desto stärker fällt die durch das Präparationstrauma bedingte entzündliche Immunantwort der Pulpa aus [27]. Hinzu kommt, dass mit zunehmender Wahrscheinlichkeit einer akzidentiellen Eröffnung der Pulpa im Zuge der Kariesexkavation im pulpanahen Bereich die Berechtigung steigt, eine geringe Menge infizierten Dentins zu belassen [24]. Die definitive restaurative Versorgung kann dabei in der gleichen Sitzung durchgeführt werden oder, im Sinne der zweizeitigen (schrittweisen) Kariesexkavation, nach einer Periode, die es der Pulpa ermöglichen soll Tertiärdentin zu bilden, sodass dann eine gefahrlose Exkavation möglich ist [2, 4]. Beide Herangehensweisen können erfolgreich sein. Insbesondere die Gefahr der akzidentiellen Eröffnung der Pulpa ist bei der unvollständigen (einzeitigen) und der zweizeitigen Kariesexkavation geringer. Vom Vorteil der geringeren Wahrscheinlichkeit für eine Eröffnung der Pulpa abgesehen, scheint die einzeitige unvollständige Kariesexkavation und die zweizeitige Kariesexkavation ähnlich erfolgreich zu sein, wie eine vollständige Kariesexkavation [29]. Die Evidenz hierzu scheint vorhanden, basiert aber auf nur wenigen klinischen Studien und keinen Langzeituntersuchungen. Dies gilt sowohl für Zähne der permanenten Dentition, wie auch für Milchzähne. Für die indirekte Überkappung werden verschiedene Materialien diskutiert, unter

anderem Kalziumhydroxid, Trikalzium-Silikat oder das direkt aufgebraute Adhäsiv. Hierbei sind die Ergebnisse der vorliegenden Studien zu uneinheitlich, als dass eine allgemeingültige Empfehlung gegeben werden kann, sodass bisherige Methoden, d.h. die Verwendung von Kalziumhydroxid oder Trikalzium-Silikat, nach wie vor ihre Gültigkeit haben [26]. Die indirekte Überkappung mit einem Adhäsiv kann unter Umständen zusätzliche Entzündungsreaktionen der Pulpa provozieren [14, 30] und ist daher in unmittelbarer Nähe zur Pulpa gegenüber einer Applikation von Kalziumhydroxid oder einem Trikalzium-Silikatzement als ungünstiger einzustufen. Unzweifelhaft notwendig für den Erfolg einer unvollständigen oder zweizeitigen Kariesexkavation ist aber, dass die eingesetzte definitive bzw. temporäre Restauration gegenüber dem oralen Milieu dicht sein muss, um die Nahrungszufuhr für die noch vorhandenen Bakterien zu unterbinden.

Aus Sicht des Patienten ergibt sich aber möglicherweise eine noch eindeutiger Entscheidungshilfe. Wenn die Wahrscheinlichkeit für eine Eröffnung der Pulpa bei der Kariesexkavation aufgrund der tiefen Ausbreitung der Karies hoch ist, ist es allemal den Versuch wert, eine Eröffnung der Pulpa im kariösen Gewebe und somit eine – mit hoher Wahrscheinlichkeit notwendige – Wurzelkanalbehandlung zu vermeiden. Sollte es dann trotz unvollständiger oder zweizeitiger Kariesexkavation noch zu einer irreversiblen Pulpitis kommen und eine Wurzelkanalbehandlung notwendig werden, stellt dies aus der Perspektive des Patienten heraus keine Verschlechterung gegenüber einer bereits primär notwendigen Wurzelkanalbehandlung dar. Im Fall der erfolgreichen Vitalerhaltung der Pulpa des behandelten Zahnes jedoch ist der Gewinn für den Zahn und damit für den Patient ungleich größer.

13 Rolle von FACE bei der vollständigen, unvollständigen und zweizeitigen Kariesexkavation

Die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation ist keineswegs auf eine Anwendung für die vollständige Kariesentfernung beschränkt. FACE ist ein Instru-

ment, das es ermöglicht, bakteriell stark infizierte Bereiche des Dentins zu sehen und von nicht oder nur gering infizierten Bereichen unterscheiden zu können. Die fluoreszenzunterstützte Kariesexkavation lässt sich daher sowohl für die vollständige Kariesexkavation, wie auch für die unvollständige und die zweizeitige Kariesexkavation anwenden. Gerade bei der unvollständigen Kariesexkavation ist es wichtig zu wissen, welche Bereiche im Dentin infiziert sind und welche nicht, um dann nahe der Pulpa gezielt Residualkaries belassen zu können. Gleiches gilt für die zweizeitige Kariesexkavation. Hier zeigt sich häufig, dass nach Wiedereröffnung der Kavität der belassene kariöse Bereich im Gegensatz zum Ersteinriff eine nur noch geringe rote Fluoreszenz und in der Regel eine höhere Härte aufweist (Abb. 7 l und m) und eine weitere Exkavation nicht mehr notwendig ist.

Im Rahmen der restaurativen Zahnmedizin leistet FACE einen wichtigen Beitrag zur Qualitätssicherung. Im Zusammenhang mit aufwendigen restaurativen Maßnahmen (insbesondere Teilkronen, Kronen und Brücken) oder CEREC und anderen CAD/CAM Verfahren bietet die Anwendung der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation die zusätzliche Sicherheit, die Kariesexkavation substanzschonend und ausreichend durchzuführen.

14 Zusammenfassung und Schlussfolgerung

Im Rahmen der restaurativen Kariestherapie kommt der Exkavation bakteriell stark infizierten Dentins eine besondere Bedeutung zu. Mit der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation (FACE) steht eine Methode zur Verfügung, die es dem Zahnarzt ermöglicht, bakteriell stark infizierte Dentinbereiche von nicht-infizierten Bereichen zu unterscheiden. Mit dieser Information, die dem Zahnarzt auch zeitgleich mit der Kariesexkavation zur Verfügung steht, ist es möglich, bakteriell infiziertes Dentin selektiv, d.h. unter Schonung von bakterienfreiem Dentin, zu entfernen. Im Gegensatz zum traditionellen Erstaten der Härte mit der zahnärztlichen Sonde ist das Entscheidungskriterium von FACE die bakterielle Infektion. In pulpanahen Bereichen liefert FACE dem Zahnarzt wichtige Informationen, auf

Basis derer die Kariesexkavation vollständig, teilweise, oder zweizeitig durchgeführt werden kann. In bisherigen Untersuchungen hat sich gezeigt, dass mit der fluoreszenzunterstützten Kariesexkavation bakteriell infizierte Dentinbereiche zuverlässiger erkannt und selektiver entfernt werden können als bei der Kariesexkavation mithilfe der zahnärztlichen Sonde oder einer Färbelösung (Caries Detector) und dass dies nicht zu einer längeren Behandlungsdauer führt.

FACE ist ein neues Instrument, das dem Behandler viele bisher nicht zugängliche Informationen liefert, ohne dabei die Therapieentscheidung vorweg zu nehmen. FACE leistet damit einen Beitrag zur Qualitätssicherung in der Restaurativen Zahnmedizin. **DZZ**

Interessenskonflikte: Die Autoren Prof. Dr. *Wolfgang Buchalla* und Priv.-Doz. Dr. *Áine M. Lennon* sind die Erfinder der fluoreszenzunterstützten Kariesex-

kavation und beraten die Firmen Sirona und W&H im Zusammenhang mit FACE

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Wolfgang Buchalla
Poliklinik für Zahnerhaltung und
Parodontologie
Universitätsklinikum Regensburg
Franz-Josef-Strauß-Allee 11
D-93053 Regensburg
Deutschland
wolfgang.buchalla@ukr.de

Literatur

- Baum L, Phillips RW, Lund MR: Textbook of operative dentistry. W. B. Saunders Company, Philadelphia, USA 1995
- Bjørndal L: In deep cavities stepwise excavation of caries can preserve the pulp. *Evid Based Dent* 2011;12:68
- Bjørndal L, Darvann T, Thylstrup A: A quantitative light microscopic study of the odontoblast and subodontoblastic reactions to active and arrested enamel caries without cavitation. *Caries Res* 1998;32:59–69
- Bjørndal L et al.: Treatment of deep caries lesions in adults: randomized clinical trials comparing stepwise vs. direct complete excavation, and direct pulp capping vs. partial pulpotomy. *Eur J Oral Sci* 2010;118:290–297
- Buchalla W, Attin T, Niedmann Y, Niedmann PD, Lennon ÁM: Porphyrins are the cause of red fluorescence of carious dentine: Verified by gradient reversed-phase HPLC. *Caries Res* 2008;42:223
- Buchalla W, Lennon ÁM, Attin T: Comparative fluorescence spectroscopy of root caries lesions. *European Journal of Oral Sciences Eur J Oral Sci* 2004;112:490–496
- Cooper PR, McLachlan JL, Simon S, Graham LW, Smith AJ: Mediators of inflammation and regeneration. *Adv Dent Res* 2011;23:290–295
- Cooper PR, Takahashi Y, Graham LW, Simon S, Imazato S, Smith AJ: Inflammation-regeneration interplay in the dentine-pulp complex. *J Dent* 2010;38:687–697
- Curtis B, Warren E, Pollicino C, Evans RW, Schwarz E, Sbaraini A: The Monitor Practice Programme: is non-invasive management of dental caries in private practice cost-effective? *Aust Dent J* 2011;56:48–55
- Hellwig E, Klimek J, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, Germany 2013
- Kidd EA, Joyston-Bechal S, Beighton D: Microbiological validation of assessments of caries activity during cavity preparation. *Caries Research Caries Res* 1993;27:402–408
- Kidd EA, Smith BG, Pickard HM: Pickard's Manual of Operative Dentistry. Oxford University Press, Cary, North Carolina, U.S.A. 1996
- König K, Hibst R, Meyer H, Flemming G, Schneckenburger H: Laser-induced autofluorescence of carious regions of human teeth and caries-involved bacteria. 1993;Proc. 2080:170–180
- Krifka S, Spagnuolo G, Schmalz G, Schweikl H: A review of adaptive mechanisms in cell responses towards oxidative stress caused by dental resin monomers. *Biomaterials* 2013;34:4555–4563
- Lakowicz JR: Principles of fluorescence spectroscopy. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York 1999
- Lennon ÁM, Attin T, Buchalla W: Quantity of remaining bacteria and cavity size after excavation with FACE, caries detector dye and conventional excavation in vitro. *Oper Dent* 2007;32:236–241
- Lennon ÁM, Attin T, Martens S, Buchalla W: Fluorescence-aided caries excavation (FACE), caries detector, and conventional caries excavation in primary teeth. *Pediatr Dent* 2009;31:316–319
- Lennon ÁM, Buchalla W, Brune L, Zimmermann O, Gross U, Attin T: The ability of selected oral microorganisms to emit red fluorescence. *Caries Res* 2006;40:2–5
- Lennon ÁM, Buchalla W, Rassner B, Becker K, Attin T: Efficiency of 4 caries excavation methods compared. *Oper Dent* 2006;31:551–555
- Lennon ÁM: Fluorescence-aided caries excavation (FACE) compared to conventional method. *Oper Dent* 2003;28:341–345
- Lennon ÁM, Buchalla W, Switalski L, Stookey GK: Residual caries detection using visible fluorescence. *Caries Research Caries Res* 2002;36:315–319
- Loos S: Über das Vorkommen von Porphyrin in menschlichen Zähnen und im Zahnstein. *Z Stomatol* 1931;29:1294–1305
- Magloire H, Joffre A, Couble ML, Chavrier C, Dumont J: Ultrastructural alterations of human odontoblasts and collagen fibres in the pulpal border zone beneath early caries lesions. *Cell Mol Biol Incl Cyto Enzymol* 1981;27:437–443
- Maltz M, Alves LS, Jardim JJ, Moura Mdos S, de Oliveira EF: Incomplete caries removal in deep lesions: a 10-year prospective study. *Am J Dent* 2011;24:211–214
- Mertz-Fairhurst EJ, Curtis JW, Ergle JW, Rueggeberg FA, Adair SM: Ultraconservative and cariostatic sealed restorations: results at year 10. *J Am Dent Assoc* 1998;129:55–66
- Miyashita H, Worthington HV, Qualtrough A, Plasschaert A: Pulp management for caries in adults: maintaining pulp vitality. *Cochrane Database Syst Rev* 2007;CD004484
- Murray PE, Windsor LJ, Smyth TW, Hafez AA, Cox CF: Analysis of pulpal reactions to restorative procedures, materials, pulp capping, and future therapies. *Crit Rev Oral Biol Med* 2002;13:509–520
- Nolden R: Zahnerhaltungskunde. Präventive Zahnheilkunde, Kariestherapie-Endodontologie-Parodontologie, Kinderzahnheilkunde. Thieme, Stuttgart, Germany 1994
- Ricketts D, Lamont T, Innes NP, Kidd E, Clarkson JE: Operative caries management in adults and children. *Cochrane Database Syst Rev* 2013;3:CD003808
- Schweikl H, Petzel C, Bolay C, Hiller KA, Buchalla W, Krifka S: 2-Hydroxyethyl methacrylate-induced apoptosis through the ATM- and p53-dependent intrinsic mitochondrial pathway. *Biomaterials* 2014;35:2890–2904
- Schwendicke F, Dörfer CE, Paris S: Incomplete caries removal: a systematic review and meta-analysis. *J Dent Res* 2013;92:306–314
- Smith AJ: Pulpal responses to caries and dental repair. *Caries Res* 2002;36:223–232
- van den Bergh AAH: On porphyrin in the mouth. *Lancet* 1928;214:281–282
- Vos T et al.: Years lived with disability (YLDs) for 1160 sequelae of 289 diseases and injuries 1990–2010: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2010. *Lancet* 2012;380:2163–2196