

Fluoreszenzoptische Kariesdetektion bei restaurierten Zähnen

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

Claudia Wilde

aus Karlsruhe

2013

Angefertigt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

1.Gutachter: Prof. Dr. M. Frentzen

2.Gutachter: Prof. Dr. H. Stark

Tag der Mündlichen Prüfung: 13.03.2013

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde Bonn

Direktor: Prof. Dr. Dr. S. Jepsen

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	5
1. Einleitung	6
1.1 Allgemeine Einführung	6
1.2 Grenzzone Zahnhartgewebe Füllung.....	7
1.3 Allgemeine Möglichkeiten der Kariesdiagnostik.....	9
1.4 Spezielle Möglichkeiten der Kariesdiagnostik an Füllungsrandern	12
1.5 Laserfluoreszenzdetektion	14
1.5.1 Funktionssysteme	14
1.5.2 Literaturübersicht zur Fluoreszenzdetektion in der Zahnheilkunde	16
1.5.3 Bewertung der Fluoreszenzdetektion	20
1.6 Ziel der vorliegenden Arbeit.....	21
2. Methode und Material	22
2.1 Übersicht über den Versuchsablauf.....	22
2.2. VistaProof®-Kamerasystem.....	23
2.2.1 Die VistaProof®-Kamera im Überblick.....	24
2.2.2 Praxiskonzept der VistaProof®-Kamera	24
2.2.3 Technische Daten der VistaProof®-Kamera	25
2.3 Untersuchung von Zahnproben mit Composit-Füllung	26
2.4 Untersuchung von Zahnproben mit Amalgam-Füllung.....	28
2.5 Werteerfassung und Bildanalyse	28
2.6 Statistische Auswertung.....	30
3. Ergebnisse	31
3.1 Vergleich der klinischen Diagnostik und der Fluoreszenzmessung	31
3.2 Vergleich der Ausgangssituation mit der Situation nach Politur.....	33
3.3 Vergleich der Ausgangssituation mit der Situation nach Füllungsentfernung	35
3.4 Vergleich zwischen der Situation vor und nach Entfernung der Füllung.....	35
3.5 Vergleich zwischen nicht exkavierter und exkavierter Situation.....	35
3.6 Vergleich zwischen der Ausgangssituation und der neugefüllten Situation.....	36
5. Zusammenfassung	44
6. Literaturverzeichnis	45
7. Anhang	55

7.1	Abbildungsverzeichnis	55
7.2	Tabellenverzeichnis	55
7.3	Zusammenstellung der Auswertungstabellen	56
7.4	Zusammenstellung des Bildmaterials der untersuchten Zahnproben	77
8.	Danksagungen.....	94

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
CARS	Caries-Associated with Restorations and Sealants Detection Criteria
CCD	Charge-coupled Device
et al.	et alii (Maskulinum)/ et aliae (Femininum)/ et alia (Neutrum)= und andere
FOTI	fiberoptische Transillumination
ICASD	International Caries Detection and Assessment System
LED	Light Emitting Diode
mm	Millimeter
nm	Nanometer
PZR	Professionelle Zahnreinigung
Tab.	Tabelle
QLF	Quantitative Lichtinduzierte Fluoreszenzmessung
ZnO	Zinkoxid
%	Prozent

1. EINLEITUNG

1.1 ALLGEMEINE EINFÜHRUNG

Karies ist eine der am weitesten verbreiteten Krankheiten der Menschheit. Frühe Diagnosen sind grundlegend für eine möglichst konservative Behandlung, um den Verlust von Zahnhartsubstanz durch restaurative Versorgung zu reduzieren, bzw. zu vermeiden. Doch das Auffinden noch sehr kleiner Läsionen, vor allem auf der okklusalen Fläche, ist auch für erfahrene Zahnärzte schwierig. Die Schwierigkeit der genauen Detektion besteht in der komplexen Anatomie der Fissuren und Grübchen eines Zahnes, ebenso in Superpositionen, die bei einer röntgenologischen Auswertung auftreten können. Einen weiteren Grund stellt die sogenannte „Hidden Caries“ dar, welche durch den immer weiter verbreiteten Gebrauch von Fluoriden entsteht. Somit hat sich die Kariesform und -erscheinung in den letzten Jahren verändert: die Kariesprävalenz ist stark rückläufig, dafür treten öfter die Formen der „Hidden Caries“ auf. Auf Grund der Feststellung, dass durch klinische Kontrollen die Kariesdetektion im Vergleich zur Verwendung von diversen Hilfsgeräten weniger erfolgreich ist, wurden immer neuere und sensiblere Kariesdiagnostikmethoden und Geräte entwickelt. Diese sollten vor allem nicht invasiv, einfach und kostengünstig durchführbar sein und mit hoher Spezifität und Sensitivität Karies erkennen (Lussi et al., 2001). Bereits 1911 wurde durch die Bestrahlung eines Zahnes mit ultraviolettem Licht die Fluoreszenz von Karies und Zahnschmelz nachgewiesen, wobei Karies eine verringerte Fluoreszenz aufwies. 1981 konnte durch eine Studie bestätigt werden, dass Karies im roten Bereich des sichtbaren Lichtes stärker fluoresziert als gesunder intakter Zahnschmelz (Alfano und Yao, 1981). Geräte wie DIAGNOdent[®] oder das VistaProof[®]-Kamerasystem, welche auf Grundlage der Fluoreszenzeigenschaften bakterieller Bestandteile oder deren Stoffwechselprodukte arbeiten, können somit nicht nur kariöse Läsionen und deren Aktivität diagnostizieren, sondern gleichzeitig auch eine Aussage über die Läsionstiefe liefern (Khalife et al., 2009; Kühnisch et al., 2008; Thoms et al., 2007). Dieses kann in einigen Studien über Fluoreszenzeigenschaften kariöser Bereiche des Zahnes bestätigt werden (Banerjee et al., 2004; Coulthwaite et al., 2005; Rodrigues et al., 2008; Paula et al., 2009).

Für den Fall, Kariesdetektion in Approximalräumen zu betreiben, ist die gebräuchlichste Methode die Bissflügelaufnahme. Für die Okklusalfächen verwendete man bisher eine

Kombination aus visueller, klinischer Inspektion und der röntgenologischen Untersuchung. Doch diese Methode ist subjektiv und es ist so sehr schwer, beginnende Karies zu entdecken. Somit stellt sich die Frage nach neuen Methoden, die es erleichtern, die vorliegende Problematik zu vereinfachen (Bolzan de Paula et al., 2009). Dies ist eine Indikation für die Anwendung von Fluoreszenzkameras. Sie messen Fluoreszenzeffekte, die von Metaboliten oraler Bakterien abgestrahlt werden. Diese neue Methode ermöglicht eine quantifizierbare, nicht invasive Kontrolle der Zahnoberflächen. Auch das Anfangsstadium einer Karies kann man hiermit erkennen, so dass präventive Maßnahmen ergriffen werden können. Noch fraglich ist die Anwendung der Fluoreszenzkameras in Approximalräumen und an bereits restaurierten Zähnen. Letzteres zu prüfen ist das Ziel der vorliegenden Arbeit; durch erwiesene Funktionstüchtigkeit im Anwendungsbereich restaurierter Zähne könnte die Frage der erfolgreichen (Teil-)Revision einer Füllung beantwortet werden.

1.2 GRENZZONE ZAHNHARTGEWEBE FÜLLUNG

Zur Materialverankerung einer Restauration gibt es unterschiedliche Möglichkeiten: Mikroretentive Verankerung und makroretentive Verankerung.

Klebesysteme, wie z.B. bei Composit-Systemen, gehen einen chemischen Verbund und eine bakteriendichte Verbindung zur Zahnhartsubstanz ein. Ihr Verbund besteht über ein Mikroretentionsrelief. Man erreicht eine Verbindung zwischen der Restauration und der Zahnhartsubstanz zum einen durch einen Haftmechanismus am Schmelz: Durch Anätzen des Schmelzes mit Phosphorsäure wird die oberste Schmelzschicht von 10 µm irreversibel aufgelöst. Des Weiteren folgt eine selektive Demineralisation von etwa 30-50 µm Tiefe. Schmelzprismen werden angelöst und es entsteht ein „Honigwabenmuster“. Es wird somit eine chemisch reaktive Oberfläche freigelegt: Die Oberfläche wird durch die Vorbehandlung vergrößert, die Schmelzstrukturen werden reaktionsfähiger und es entsteht eine Verbesserung der Benetzbarkeit von bis zu 400 %. Benetzt man nun den derartig veränderten Schmelz mit einem Schmelzhaftvermittler (Bonding), so haftet dieser mikromechanisch am Zahnschmelz auf Grund rheologischer und geometrischer Effekte, indem er in die entstandenen Strukturen eindringt (Buonocore, 1955). Zum anderen kommt es zu einer Verbindung mit dem Dentin: die Aufgabe des Dentinadhäsivs besteht darin, eine Verbindung zwischen dem hydrophoben Füllungsmaterial und dem hydrophilen Dentin herzustellen. Denn eine mikromechanische Haftung ist aufgrund der

chemischen und strukturellen Zusammensetzung des Dentins mit Dentinkanälchen und Dentinliquor, organischen Bestandteilen und Smearlayer nicht möglich. Um einen Verbund herstellen zu können, wird Dentinadhäsiv verwendet. Bei einer unzureichenden Penetration des Adhäsivsystems kommt es zur Ausbildung eines sogenannten Nanoleakage. Man versteht darunter nicht infiltrierte Bereiche des Kollagenflechts. Es kann auch zu Perkulation v.a. im Randbereich vom Füllungsmaterial zur Zahnhartsubstanz kommen. Das bedeutet, dass keine ausreichende Verbindung zwischen den beiden besteht und ein Spalt vorliegt, in welchen Speichel und Mikroorganismen eindringen können und somit kein bakteriendichter Verschluss mehr vorliegt. Es kommt wieder zur Kariesbildung (Hellwig et al., 2007).

Eine makroretentive Verankerung wird durch unter sich gehende Präparation z.B. bei der Verwendung von Amalgam erreicht. Es gibt nach ordentlicher Trituration, Kondensation und Brünieren zwar keinen Randspalt, jedoch liegt eine ständige chemische Veränderung des Materials vor. Durch Korrosion bilden sich unlösliche Zinnoxide auf der Oberfläche der Füllung. Das während des Korrosionsvorgangs frei werdende Quecksilber diffundiert zum Teil in die Tiefe des Füllungsmaterials und bildet zusammen mit dem Silber aus den noch vorhandenen Ursprungspartikeln erneut eine Gamma-1-Phase. Dabei expandiert die Füllung, die Füllungsänder wölben sich auf und frakturieren letztlich unter Kaudruck (merkuroskopische Expansion). Aufgeworfene und frakturierte Füllungsänder können eine Prädilektionsstelle für Sekundärkaries sein, da eine Perkulation auftritt (Hellwig et al., 2007).

Eine optimale Oberflächenbeschaffenheit am Übergang von Zahnhartsubstanz und Füllmaterial ist die Voraussetzung, um eine Plaqueretention zu vermeiden und somit die Bildung von Sekundärkaries. Die Detektion hiervon ist äußerst schwierig, da die Karies auch in der Tiefe entstehen kann. Außerdem ist die Diagnostik auf Grund von Farbveränderungen von Füllungsmaterial und Zahnhartgewebe in dieser Region erschwert. Es liegt also ein komplexes Problem vor, was man versucht, z.B. mit Hilfe des VistaProof[®]-Kamerasystems zu lösen.

1.3 ALLGEMEINE MÖGLICHKEITEN DER KARIESDIAGNOSTIK

Zur Kariesdiagnostik eignen sich verschiedene Hilfsmittel, die im Folgenden nach Lokalisationsort der vermuteten Karies unterschieden werden:

Die Diagnostik von Grübchen- und Fissurenkaries wird erschwert, da sich unter einer scheinbar intakten Oberfläche Dentinkaries befinden kann. Weiter ist zu bemerken, dass die oft zu beobachtende Verfärbung der Fissuren nicht unbedingt ein zuverlässiges Kriterium für einen Verdacht auf Karies ist, da diese Verfärbung, vor allem bei Erwachsenen, exogener Natur sein kann (Verdonschot et al., 1992). Um Fissuren- und Grübchenkaries zu diagnostizieren, gibt es zum einen die Inspektion mit bloßem Auge (Erfolgsquote liegt lediglich bei 12-20 %) oder einer Lupe (Erfolgsquote über 20 %). Des Weiteren ist eine Sondierung mit einer möglichst stumpfen Sonde möglich. Jedoch wird diese Methode mittlerweile als fraglich angesehen, da zum einen die Gefahr besteht, mit der Sondenspitze die Oberflächenschicht einer Initialkaries einzudrücken, was eine beschleunigte Kariesprogression fördert (Yassin, 1995). Zum anderen ist das Haken der Sonde in einer Fissur kein sicherer Hinweis auf das Vorhandensein einer Karies. Es spiegelt im Prinzip lediglich die Fissurenmorphologie wieder. Die Sondierung wird also vorwiegend bei Überprüfung der Kariesfreiheit nach Exkavation, bei Sondierung von Füllungs- bzw. Kronenrändern und bei nichteinsehbaren Bereichen, also z.B. bei Verdacht auf subgingivale Wurzelkaries verwendet.

Um ein international anwendbares Kariesdiagnostiksystem zu schaffen, wurde ICDAS, „The International Caries Detection and Assessment System“, eine neue visuelle Methode entwickelt (Ekstrand et al., 2007). Alle gesammelten Erfahrungen hinsichtlich visueller Diagnostik flossen zusammen in die Entwicklung des ICDAS (International Caries Detection and Assessment System Coordinating Committee, 2005). Das neue Rankingsystem weist eine hohe Übereinstimmung mit histologischen Werten auf und verspricht Hoffnung für die okklusale Kariesdiagnostik (Ekstrand et al., 1997). Bei ICDAS I wurden 2003 an sauberen, plaquefreien und sorgfältig getrockneten Zähnen Tests durchgeführt. Die Kriterien wurden später modifiziert und so entstand ICDAS II. Durch den Austausch von Codes entstand eine Verbesserung. Es wird nun sichergestellt, dass das System an Aussagekraft zunimmt (Ekstrand et al., 2007; Ismail et al., 2007). Je nach Progression und Ausdehnung der Karies werden die ICDAS-Grade unterteilt (s.Tab. 1). Diese Einteilung erleichtert die Kommunikation der Zahnärzte untereinander und ermöglicht einen internationalen Informationsaustausch. ICDAS II kombiniert mit Bissflügeln

liefert an okklusalen Flächen die besten Ergebnisse in Zusammenhang mit der Kariesdiagnostik (Rodriguez et al., 2008).

ICDAS II-Codes

Code	Beschreibung
0	Intakte Zahnoberfläche
1	Erste visuelle Veränderung im Schmelz
2	Deutliche visuelle Veränderung im Schmelz
3	Lokalisierte Schmelzeinbrüche infolge von Karies ohne freiliegendes Dentin oder durchscheinende Schatten
4	Untermittierende dunkle Schatten des Dentins mit oder ohne lokalisiertem Schmelzeinbruch
5	Deutliche Kavität mit sichtbarem Dentin
6	Großflächige ausgeprägte Kavität mit sichtbarem Dentin

Tab. 1: ICDAS II-Codes 0-6 für Fissuren und Grübchen
(International Caries Detection and Assessment System Coordinating Committee, 2005)

Eine weitere Alternative ist die Verwendung eines Kariesdetektors: hierin sind einfache Farbstofflösungen enthalten, die auf das Dentin aufgebracht werden (z.B. Erythrosin 1 % in Propylenglycol, Caries detector/Kuraray, Caries Marker/Voco, Snoop/Pulpdent, Seek/Ultradent). Der Farbstoff hat dabei die Aufgabe einer Visualisierung der Entmineralisation. Durch die fortschreitende Demineralisation entstehen im Dentin Poren. Aufgrund seiner Molekülgröße kann Propylenglycol, das Lösungsmittel, das für die Kariesdetektion die wichtigste Rolle spielt, in Poren bis zu einer bestimmten Mindestgröße eindringen und nimmt dabei den Farbstoff mit. Die Porengröße ist entscheidend für die Kariesdiagnostik: Gesundes Dentin hat einen geringen Porendurchmesser, der Farbstoff dringt nicht ein; demineralisiertes - also durch Karies erkranktes- Dentin hat einen größeren Porendurchmesser, die entsprechenden Stellen werden angefärbt. Wegen der Gefahr von Fleckenbildung bei unvorsichtiger Anwendung und kosmetisch stark störender Zahnverfärbung sind die Detektoren jedoch kaum noch gebräuchlich (Hellwig et al., 2007).

Auch das Röntgen stellt eine Möglichkeit dar, Karies in Grübchen und Fissuren aufzudecken. Hierfür verwendet man die Technik der Bissflügelaufnahmen (Paralleltechnik, Erfolgsquote über 45 %). Der Zentralstrahl geht orthoradial durch die Interdentalräume, so werden Überlagerungen vermieden. Beachtet werden muss bei diesem Verfahren die Unterschätzung der Kariesläsion. In diesem Zusammenhang ebenfalls erwähnenswert ist die Tatsache, dass mit Röntgenbildern nur

Okklusalkaries erkennbar ist, die ins Dentin vorgedrungen ist (Wenzel et al., 1990). Eine Karies, die im Röntgenbild sichtbar ist, ist signifikant mehr mit Laktobazillen und Mutans-Streptokokken infiziert als eine nicht röntgensichtbare Karies (Ricketts et al., 1995). Im Röntgenbild sichtbare Dentinkaries wird heute deshalb auch bei intakter Oberfläche im allgemeinen eröffnet und restaurativ versorgt, wenn möglich im Sinne einer erweiterten Fissurenversiegelung.

Das Kariesmeter verwendet als weitere Option für die Diagnose der Grübchen- und Approximalkaries den elektrischen Widerstand des Zahnes. Dieser ist abhängig von seinem Zustand (Rock und Kidd, 1988). Gesunder Schmelz wie auch gesundes Dentin, die sehr gute Isolatoren sind, verlieren diese Eigenschaft, wenn sie zerstört und durch ein besser leitendes Medium ersetzt werden. Der Widerstand zwischen Zahnoberfläche und einer Elektrode in der Mundhöhle oder in der Hand wird kleiner, was bei der Kariesdiagnostik mit dem elektrischen Kariesmeter ausgenützt wird. Die Messung des elektrischen Widerstandes ist eine Methode, die vor allem bei Läsionen mit intakter Oberfläche gut zu gebrauchen ist (Erfolgsquote 93-96 %) (Lussi et al., 1995; Verdonschot et al. 1992).

Zuletzt zu nennen ist die Laserfluoreszenz. Hierbei wird gepulstes Licht mit einer definierten Wellenlänge abgegeben, das etwa 1mm in die Zahnoberfläche eindringt. Sobald veränderte Zahnsubstanzen von dem ausgesandten Licht angeregt werden, fluoreszieren sie mit dem Licht einer anderen Wellenlänge. Karies fluoresziert stärker als gesunder Schmelz und gesundes Dentin und wird dadurch erkennbar (Genauere Information zur Fluoreszenz s.Kapitel 1.5).

Bei der Approximalkaries erschwert die topographische Lage die Diagnostik. Zur Diagnose der Approximalkaries können die klinische Untersuchung, Bissflügel-Röntgenbilder und Fiberoptiktransillumination herangezogen werden. Die klinische Untersuchung mit der Sonde ist schwierig. Nur etwa jede dritte manifeste Dentinkaries wird klinisch auch erkannt (Mejare et al., 1985; Peers et al., 1993). Die Röntgenbilder sollten in Paralleltechnik angefertigt werden und unter Vergrößerung und isoliert von seitlichen Lichteinflüssen betrachtet werden. Bei der oft vorkommenden horizontalen Abweichung der Projektionsrichtung kann auf dem Röntgenbild Schmelzkaries in den Dentinbereich projiziert werden, was unter Umständen zu einer falsch positiven Diagnose führt. Es wird deshalb gefordert, eine Aufhellung im Dentin nur bei eindeutig festgestellter Aufhellung im Schmelzbereich invasiv zu behandeln (Mileman et al., 1992), oder in Zweifelsfällen andere moderne Methoden hinzuzuziehen. Fiberoptiktransillumination (FOTI) kann als zusätzliches Hilfsmittel genutzt werden (Erfolgsquote 67 %) (Choksi et al., 1994; Peers et al., 1993; Pieper und Schurade, 1987; Stephen et al., 1987). Geeignete Anwendung findet vor

allem bei Frontzähnen und bei Approximalflächen statt, bei denen keine Beeinträchtigung durch benachbarte nicht zahnfarbene Füllungen vorhanden ist. Es ist zu erwähnen, dass die genannten guten Werte mit der Fiberoptiktransillumination nur möglich sind, wenn die Methode unter Anleitung gelehrt und über mehrere Wochen geprüft und vertieft wird (Pine, 1996).

Bei der oralen und bukkalen Glattflächenkaries lässt sich die Diagnose relativ einfach treffen. Nach entsprechender Zahnreinigung kann man mit visueller Inspektion entweder weißlich opake Veränderungen als Zeichen einer fortschreitenden Initialkaries mit hoher Aktivität erkennen oder bräunliche Verfärbungen als Zeichen inaktiver, arretierter Karies. Mit Kariesdetektor oder quantitativ lichtinduzierter Fluoreszenz lassen sich auch initial beginnende Läsionen diagnostizieren (Hellwig et al., 2007; Lussi und Schroeder, 1998).

1.4 SPEZIELLE MÖGLICHKEITEN DER KARIESDIAGNOSTIK AN FÜLLUNGSRÄNDERN

Zur Kontrolle eines Füllungsrandes gibt es verschiedene Möglichkeiten. Die Qualität kann nach Bewertungsschlüsseln codiert werden:

Für die anatomische Form am Übergang zwischen Restauration und Zahn wird die Restauration in ihrem gesamten Randbereich auf füllungsbedingte negative und/oder positive Stufen untersucht. „Alpha“ bedeutet, dass der Übergang von Restauration zum Restzahn im gesamten Randbereich mit der spitzen Sonde nicht zu spüren ist. „Bravo“ bedeutet, dass beim Übergang von Restauration zum Restzahn eine klinisch voll akzeptable leicht negative und/oder positive Stufe tastbar ist. „Charlie“ sagt, dass am Übergang von Restauration zum Zahn eine stark negative und/oder positive Stufe tastbar ist und „Delta“ bedeutet, dass eine sofortige Erneuerung der Restauration aufgrund einer negativen und/oder positiven Stufe am Übergang erforderlich ist (s.Tab. 2).

Bewertungsschlüssel für den Übergang Restauration-Zahn

Alpha	Der Übergang von Restauration zum Restzahn ist im gesamten Randbereich mit der spitzen Sonde nicht zu spüren.
Bravo	Beim Übergang von Restauration zum Restzahn ist eine klinisch voll akzeptable leicht negative und/oder positive Stufe tastbar.
Charlie	Am Übergang von Restauration zum Zahn ist eine stark negative und/oder positive Stufe tastbar.
Delta	Eine sofortige Erneuerung der Restauration aufgrund einer negativen und/oder positiven Stufe am Übergang ist erforderlich.

Tab. 2: Bewertungsschlüssel für die anatomische Form am Übergang zwischen Restauration und Zahn, modifiziert durch den United States Public Health Service (Spoerlein, 2010)

Ein weiterer Bewertungsschlüssel ist das CARS (Caries-Associated with Restorations and Sealants Detection Criteria). Dieses wird unterteilt in Code 0 bis Code 6 gemäß Tab. 3.

Bewertungsschlüssel für Stadieneinteilung von Karies

Code 0	Sound
Code 1	Erste Sichtbare Veränderung im Schmelz, sichtbar nach Lufttrocknung
Code 2	Deutliche Veränderung im Schmelz
Code 3	Lokalisierte Schmelzeinbrüche ohne klinisch visuelle Anzeichen von Dentinbeteiligung
Code 4	Dunkler Schatten aus dem Dentin
Code 5	Deutliche Kavität mit sichtbarem Dentin
Code 6	Ausgeprägt deutliche Kavität mit sichtbarem Dentin

Tab. 3: Bewertungsschlüssel für unterschiedlich fortgeschrittene Stadien von Karies: Caries-Associated with Restorations and Sealants Detection Criteria (CARS) (Shivakumar, 2009)

Man kann also eine klinische Untersuchung durchführen. Diese erfolgt in Form einer Sondenkontrolle: Man führt eine möglichst dünne Sonde über die Übergangszone Zahnhartsubstanz und Füllung; bleibt man an einer Stelle hängen, so ist dies ein Zeichen dafür, dass die Füllung an dieser Stelle keine dichte Verbindung mehr zum Zahngewebe aufweist. Doch diese praktizierte Diagnostik wird im Hinblick auf Keimverschleppung und der Provokation von Sondierungsdefekten heute als nicht mehr zeitgemäße Diagnostikmethode angesehen (Ifland et al., 2004). Außerdem erlangte man durch eine Studie von Mejare et al. bereits 1985 die Erkenntnis, dass bei der klinischen Sondenkontrolle nur etwa jede dritte manifeste Karies erkannt

wird. Dieser Methode sind aber auch einige Vorteile zuzusprechen. Die Untersuchungen sind schmerzfrei und ermöglichen eine frühzeitige Feststellung der Karies, noch bevor zu viel Zahnhartsubstanz zerstört wird. Unnötige Röntgenstrahlung wird vermieden und gesunde Zahnhartsubstanz wird geschont. Allerdings muss ein Restaurationsrand auch mit Tiefendetektion betrachtet werden. Dies ist mit dem Verfahren der klinischen Untersuchung jedoch nicht möglich. Deshalb verwendet man zusätzlich Röntgenaufnahmen, um abzuklären, ob sich unter der Füllung bereits Karies gebildet hat. Abgesehen von der klinischen und röntgenologischen Kontrolle gibt es die lichtoptischen Verfahren. Im Approximalbereich der Seitenzähne sowie bei den Frontzähnen kann man die Transillumination – FOTI – verwenden. Der Zahn wird im Rahmen dieser auch als Diaphanoskopie bezeichneten Untersuchung mittels Licht durchstrahlt. In Bereichen, in denen Karies vorliegt, ist der Zahn poröser und der Brechungsindex des Lichtes ist an diesen Stellen verändert. Es kommt zu einem Lichtintensitätsverlust, erkennbar als dunkler Fleck. Doch auch dieses Verfahren hat wenig Aussagekraft, da es beeinflusst wird durch Verfärbungen und Pigmente. Indiziert ist es vor allem in Situationen, in denen die Anfertigung eines Röntgenbildes nicht möglich ist (Hellwig et al., 2007).

Schlussfolgernd lässt sich also sagen, dass die fluoreszenzoptischen Verfahren, die im folgenden Kapitel näher erläutert werden, eine neue Perspektive darstellen.

1.5 LASERFLUORESZENZDETEKTION

1.5.1 FUNKTIONSSYSTEME

Heutzutage gibt es verschiedene Systeme zur Kariesdetektion, die auf dem Phänomen der Fluoreszenz basieren. In vitro-Versuche wurden bereits mit allen Systemen durchgeführt, klinische Untersuchungen liegen nur wenige vor.

Es gibt zum einen das DIAGNOdent[®]-System, welches ein tragbares Sondensystem darstellt, das mit dem Prinzip der Laserfluoreszenz arbeitet. Ein Laser zur Fluoreszenzanregung arbeitet bei einer Wellenlänge von 655 nm (KaVo, 2010 a). Die Zahnoberfläche wird punktuell über die Sonde beleuchtet (Eberhart et al., 2007). Registrierte Emissionen werden ausgewertet und auf einem Display mit Werten zwischen 0 und 99 angezeigt.

Desweiteren gibt es die Weiterentwicklung des DIAGNOdent[®]-Systems, welches auf der gleichen Weise arbeitet: DIAGNOdent[®]-pen (KaVo 2010 b).

Als weiteres Sondensystem ist das Midwest Caries I.D.[®]-System anzuführen. Es vermag charakteristische Spektralmerkmale wie Absorption, Reflexion und Strahlenbewegung von kariösem Gewebe zu identifizieren. Aus der Sondenspitze tritt rotes LED-Licht aus, das mit Kontakt zur Oberfläche in den okklusalen und approximalen Bereich strahlt. Das reflektierte Licht wird in ein elektrisches Signal umgewandelt und dann anschließend analysiert. Durch akustische (leicht, moderat, schnell) und visuelle (rot, grün) Signale zeigt es gesunde bzw. kariöse Zahnhartsubstanz an (Krause, 2008).

Beim QLF[®]-System (quantitatives lichtinduziertes Fluoreszenz-System) handelt es sich um ein kamerabasiertes Medium, welches gelb-orange Fluoreszenzen mittels sichtbaren Lichts im blau-grünen Bereich hervorruft (Eberhart et al., 2007). Es kann zur Aufdeckung initialer okklusaler kariöser Läsionen und Glattflächenläsionen als eine nichtinvasive Diagnostikmethode angewandt werden. Mineralverlust, der durch kariöse Zerstörung des Zahnschmelzes hervorgerufen wird, kann als Veränderung in der Fluoreszenz der Zahnschmelzsubstanz wahrgenommen und gemessen werden (Tranaeus et al., 2001). Durch regelmäßige Kontrollen lassen sich die Veränderung der Fluoreszenz und die Läsionsgröße messen, dies ermöglicht das Beobachten der Entwicklung der Läsion. Der Fluoreszenzverlust geht einher mit dem Mineralverlust im Bereich der Läsion und dem Streuungs-Koeffizienten (Hafström-Björkmann et al., 1992). QLF wurde über einen langen Zeitraum immer weiterentwickelt und es wurden stetig Änderungen vorgenommen. Nun kann es optimal klinisch eingesetzt werden (Stookey et al., 1999). Das QLF bildet Initialläsionen an Glattflächen als dunklen Fleck ab, welche sich bei normalen Lichtverhältnissen als weißer Fleck auf der Zahnoberfläche abzeichnen. Dies wird durch die veränderten Streuungseigenschaften in kariösen Läsionen erklärt. Das Licht, das auf eine Läsion trifft, wird stärker reflektiert und mehr gestreut, als in gesunden Bereichen. Im Bereich der initialen Läsion wird das vom Dentin und Schmelz ausgehende Fluoreszenzlicht und das Anregungslicht absorbiert. Ergebnis ist eine dunkle Läsion, die von einem leuchtenden gesunden Schmelz umgeben wahrgenommen wird (de Josselin de Jong et al., 1996).

Die SoproLife[®]-Kamera ist ein weiteres kamerabasiertes System. Sie besitzt eine LED-Beleuchtung und einen integrierten CCD-Sensor. Dieser beleuchtet die Zahnoberfläche mit einer Wellenlänge von 450 nm, Bandbreite 20 nm. So wird eine anatomische Aufnahme des Zahnes angefertigt und kann mit einer Autofluoreszenzaufnahme überlagert werden.

Das VistaProof[®]-Kamerasystem als ein weiteres Beispiel eines kamerbasierten Systems wird in Kapitel 1.5.2.3 genauer erläutert.

1.5.2 LITERATURÜBERSICHT ZUR FLUORESZENZDETEKTION IN DER ZAHNHEILKUNDE

1.5.2.1 Physikalische Grundlagen der Fluoreszenz

Fluoreszenz ist die Leuchterscheinung fester Körper, Flüssigkeiten und Gasen. Diese kann mit Licht, Röntgen- oder Korpuskularstrahlung angeregt werden (Gerthsen und Vogel, 1999). Die Fluoreszenz zählt neben der Phosphoreszenz zur Lumineszenz, welche wiederum die Emission von Strahlung beschreibt. Dies umschreibt sowohl die Fluoreszenz, die Phosphoreszenz wie auch weitere Phänomene (Biolumineszenz) (Walsh und Shakibaie, 2008). Die Unterscheidung der Fluoreszenz von der Phosphoreszenz liegt in der Dauer der Lichtemission: Die Lichtabgabe bei der Fluoreszenz endet innerhalb von Sekundenbruchteilen nach Ende der Anregung. Bei der Phosphoreszenz hält sie bis zu einigen Stunden an (Lichtscheidl, 2009). Die Fluorophore (Atome des Fluoreszenzstoffes) absorbieren Energiequanten der einfallenden Strahlung und werden dadurch in einen angeregten Zustand überführt. Durch Aussendung des charakteristischen Fluoreszenzlichts (also durch spontane Emission), geben sie diese Energie ab und erreichen wieder ihren Grundzustand. Das dabei emittierte Licht ist nach der Stokes'schen Regel immer langwelliger und energieärmer als das absorbierte Licht (s. Abb. 1).

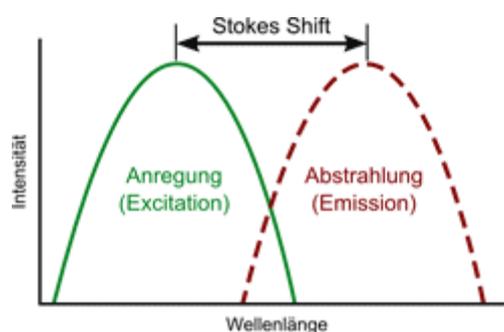


Abb. 1: Stokes-Shift beschreibt, dass das emittierte Licht immer langwelliger und energieärmer ist, als das absorbierte Licht. (Universität Wien, 2011)

Nachdem dieses Phänomen schon im 16. Jahrhundert beobachtet wurde, wurde es 1852 dann von Stokes als Fluoreszenzspektroskopie für die Forschung nutzbar gemacht. Man kann die

Fluoreszenz sehr genau messen, da es einfach möglich ist, die Fluoreszenzemission fast komplett von der Anregung zu trennen. Durch genaue Bestimmung kleiner Konzentrationen von Substanzen, ist die Fluoreszenz zu einem vielseitigen Hilfsmittel in der Biophysik geworden. Für die Beobachtung zellulärer Prozesse besonders wichtig ist die Messung der Fluoreszenz aus der Ferne. Somit besteht kein direkter Einfluss auf das Objekt, in dem die Fluoreszenz erzeugt wird (Seifert, 2009). Die Intensität der Fluoreszenz wird in einem Fluoreszenzspektrum dargestellt, in Abhängigkeit von der Wellenlänge. Es wird unterschieden zwischen Anregungs- und Emissionsspektren. Die Abhängigkeit der Fluoreszenzintensität von der Emissionswellenlänge bei fester Anregungswellenlänge bezeichnet man als Fluoreszenzemissionsspektrum, die Abhängigkeit der Fluoreszenzintensität von der Anregungswellenlänge bei fester Emissionswellenlänge als Fluoreszenzanregungsspektrum (Demtröder, 2000; Wei, 1998).

In der Zahnmedizin hat das Fluoreszenzspektrum die größte Bedeutung. Man wertet das emittierte Fluoreszenzlicht nicht in allen Details aus, sondern betrachtet an Hand von Filtersystemen oberhalb des jeweils verwendeten Long-Pass-Filters und wertet dies dann schließlich aus. Hier handelt es sich um eine quantitative licht- oder laserinduzierte Fluoreszenzmessung (Rosen, 2010). Die Charakteristika der Fluoreszenz verschiedener biologischer Gewebe bei Bestrahlung mit ultraviolettem Licht ergaben bei einer Untersuchung, dass Zahnhartsubstanzen bei Bestrahlung mit Licht dieser Wellenlänge fluoreszieren (Stübel, 1911). Daraufhin fand Benedict 1929 heraus, dass eine höhere Abgabe von Fluoreszenzlicht durch das Dentin im Vergleich zum Zahnschmelz entsendet wird. Des Weiteren erkannte er, dass eine Initiailläsion ein reduziertes Fluoreszenzsignal entsendet.

So wurde die Nutzung des Phänomens als Methode zur Kariesdiagnostik entwickelt. Das Thema der Fluoreszenzuntersuchung an Zähnen wurde in den sechziger Jahren dann in der Forschung wieder aufgenommen (Hoerman und Mancewicz, 1964; Laurila und Mancewicz, 1960). Heute existieren in der Zahnmedizin bereits mehrere Systeme zur laser- und lichtinduzierten Kariesdiagnostik.

1.5.2.2 Porphyrine

Kariöse Zahnhartsubstanz sendet ein rotes Fluoreszenzsignal nach Anregung mit kurzwelligem Licht aus. Es werden Porphyrine detektiert (Protoporphyrin IX). Dies sind Stoffwechselprodukte von Bakterien, die sich in demineralisierten Bereichen von Zähnen angesiedelt haben (König et al., 1999). Porphyrine zählen zu Substanzen mit

fluoreszierenden Eigenschaften (Autofluoreszenz). Sie werden auch als Fluorophore bezeichnet. Weitere Substanzen mit fluoreszierenden Eigenschaften sind Mineralien, Pilze, Bakterien, Keratin und Kollagen (Walsh und Shakibaie, 2008).

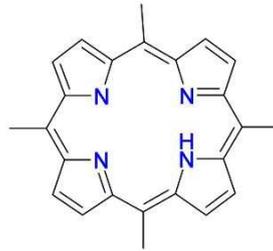


Abb. 2: Porphyringerüst; Stoffwechselprodukt von Bakterien, welches sich in demineralisierten Bereichen von Zähnen ansiedelt. (ddesignmedia, 2011)

Nach der „International Union of Pure Applied Chemistry“ (IUPAC) sind alle Substanzen, die vier Pyrrole oder pyrrolähnliche Ringe beinhalten und über Kohlenstoff oder Stickstoffbrücken miteinander verbunden sind, Tetrapyrrole. Zu dieser Gruppe zählen auch die Porphyrine (s. Abb. 2). Porphyrine sind als Molekül in verschiedenen Proteinen an grundlegenden Prozessen beteiligt. Synthetisiert werden sie in den Zellen von Säugern, Pflanzen und Bakterien. Porphyrine übernehmen wichtige Funktionen wie z. B. den Sauerstofftransport im Blut (Hämoglobin), Sauerstoffspeicherung in den Muskeln (Myoglobin), Redoxkatalisation in der Atmungskette (Cytochrome), Photosynthese in grünen Pflanzen (Chlorophyllbiosynthese) und bei der Bildung von Vitamin B12. Ebenso werden Porphyrine als Zwischenschritte bei der Hämbiosynthese gebildet. Porphyrine produzieren auch einige Bakterien, die für die Entstehung und Entwicklung des Biofilms auf Zähnen und zur Entstehung von kariösen Läsionen verantwortlich sind. Auch Leitkeime der Parodontitis produzieren Porphyrine. Somit weisen auch diese Bakterien ein Fluoreszenzverhalten auf (Buchalla et al., 2005; König et al., 1993; König et al., 2000). Zu diesen Bakterien gehören *Actinomyces odontolyticus*, *Bacteroides intermedius*, *Porphyromonas gingivalis*, *Prevotella species*, *Corynebakterien* und *Actinobacillus acinomycetemcomitans*. *Streptococcus mutans*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus casei* und *Fusobacterium nucleatum* produzieren keine Porphyrine und weisen daher kein Fluoreszenzverhalten auf (König et al., 1993; Buchalla et al., 2005). Für den hauptsächlichen Kariesinitiator *Streptococcus mutans* konnte ein geringes Fluoreszenzverhalten im roten Spektralbereich nachgewiesen werden. Es ist noch nicht endgültig geklärt, ob die genannten Fluorophore die dominanten oder einzigen Verursacher der Fluoreszenz sind, oder ob noch weitere Faktoren für die Entstehung der induzierten Kariesfluoreszenz eine Rolle spielen (Krause, 2008).

1.5.2.3 VistaProof®-System

Das Kamerasystem VistaProof® ist die Weiterentwicklung einer intraoralen Kamera zu Kariesdiagnosezwecken. Es wurde als Fluoreszenzsystem auf Kamerabasis zur Kariesdetektion auf dem Markt eingeführt. Verwendet wird es prinzipiell wie eine konventionelle intraorale Kamera, die zu beurteilenden Zahnflächen werden mit Leuchtdioden bestrahlt. Diese senden bei einer Wellenlänge von 405 nm blau-violettes Licht aus. Bereiche, die kariös verändert sind, weisen einen roten Spektralbereich auf. Im Gegensatz dazu zeigt gesunde Zahnhartsubstanz einen grünen Spektralbereich auf. Zur Auswertung wird die Software DBSWIN verwendet. Diese wertet das Verhältnis der roten zur grünen Fluoreszenzintensität als Maß für die bakterielle Kontamination und den Zerstörungsgrad der Zahnhartsubstanz aus (Eberhart et al., 2007). Im Kamerakopf des VistaProof®-Systems befinden sich Leuchtdioden (6 GaN (Galliumnitrid)). Sie liefern das blau-violette Licht mit einer Wellenlänge von 405 nm, das auch als Soret-Bande bezeichnet wird. Bei dieser Wellenlänge haben die verschiedenen Porphyrine das Maximum an optischer Anregbarkeit. Dieses Licht regt die Bakterien, die auf Grund der Karies vorhanden sind, zur Rotfluoreszenz an. Karies erscheint rot und gesunder Schmelz grün. Die „Hidden Caries“ kann mit diesem Verfahren ebenso erfasst werden. Dies ist möglich, weil das violette Licht die äußeren Schmelzschichten durchdringen kann. Der Kamerachip kann von dem abgestrahlten Anregungslicht im grünen und roten Kanal erfassen (grün in gesunden Zahnhartgeweben und rot in kariös veränderten Regionen), da vor dem Farb-CCD-Sensor ein optischer Farbglasfilter installiert ist. Dieser absorbiert Licht mit Wellenlängen von kleiner als 495 nm und lässt die anderen Wellenlängen ungehindert durch. Man kann also sagen, dass kariöse Läsionen mittels reduzierter Grün-Fluoreszenz der gesunden Zahnhartsubstanz entsprechend der bakteriell besiedelten Zahnhartsubstanz ermittelt werden können. Zur Bestimmung der Intensität der kariösen Zerstörung der Zahnhartsubstanz wird von der Auswertungssoftware das Verhältnis der roten zur grünen Fluoreszenzintensität ausgewertet. Der Zahnarzt soll auf Stellen mit hohem Rot/Grün-Verhältnis hingewiesen werden (Eberhart et al., 2007). Bei Verdacht auf kariöse Läsionen wird der Kopf des VistaProof®-Kamerasystems auf die okklusale Fläche des betreffenden Zahnes gerichtet (Krause, 2008). Um eine kontinuierliche Kontrolle über einen längeren Zeitraum zu ermöglichen, muss der betroffene Zahn reproduzierbar aufgenommen

werden. Dies bedeutet, dass der Abstand Kamera-Zahn stets gleich sein muss. Hierfür ist der Kamerakopf mit einem Abstandshalter versehen.

Zurzeit liegen nur wenige wissenschaftliche Untersuchungen zur Kariesdiagnose mit der Fluoreszenzkamera VistaProof[®] vor. Die Autoren halten dieses Verfahren für zuverlässig und reproduzierbar (Eberhart et al., 2007; Thoms et al., 2007).

1.5.3 BEWERTUNG DER FLUORESZENZDETEKTION

Bis heute liegen nur wenige klinische Studien über die Funktionstüchtigkeit der Fluoreszenzdetektion der einzelnen fluoreszenzbasierten Funktionssystemen vor. Trotzdem lässt sich eine Aussage darüber treffen:

DIAGNOdent[®] hat sich als geeignetes Gerät zur Kariesdiagnostik herausgestellt. Dies wird begründet durch gleiche Ergebnisse in einigen klinischen wie auch in in vitro-Untersuchungen (Lussi et al., 2001). Außerdem wurde eine hohe Reproduzierbarkeit nachgewiesen (Lussi et al., 2001). Auch an okklusalen Flächen zeigt das DIAGNOdent[®] viel versprechende Ergebnisse für die Kariesdetektion (El- Housseiny und Jamjoum, 2001; Sheehy et al., 2001). Dasselbe gilt an Glattflächen (Pinelli et al., 2002) und bei kleinen superfiziellen Läsionen im Gegensatz zu tiefen Dentinläsionen. Dies bestätigt sich in vivo (Alwas- Danowska et al., 2002). Klinisch ist DIAGNOdent[®] auch dem Röntgen überlegen (Lussi et al., 2001; Sheehy et al., 2001). Ineffizient ist es allerdings für die klinische Diagnostik an approximalen Läsionen (Ross, 1999). Ebenso untauglich ist es ab einer Läsionstiefe von über 2,5 mm laut Lussi et al., denn es ist nicht in der Lage, in dieser Tiefe genaue Messungen durchzuführen, da die Lichtausbreitung in der Sondenspitze des Gerätes begrenzt ist. Deshalb kann das System nicht zwischen einer tiefen und einer superfiziellen Dentinkaries unterscheiden. Somit empfehlen Lussi et al., DIAGNOdent[®] nur dann zu Hilfe zu nehmen, wenn bei einer Läsion nach Inspektion noch Zweifel bestehen.

Sowohl in vitro wie auch in vivo zeigt eine Studie über das Midwest Caries I. D.[®]-System, die Möglichkeit, bei der Benutzung von LED basierter Kariesdiagnostik proximale Läsionen zu detektieren. Voraussetzung ist die Messung ausgehend von der marginalen Kante der Okklusalfäche. Außerdem wurde festgestellt, dass eine tiefe Dentinkaries mit Hilfe des Midwest Caries I.D.[®]-Systems von weniger großen kariösen Läsionen unterschieden werden kann (Braun et al., 2008).

Es liegen nur wenige Studien über QLF[®] vor. Trotzdem konnte in einigen, auch klinischen Studien nachgewiesen werden, dass Kariesläsionen an Glattflächen zu erfassen und zu

quantifizieren sind. Ebenso ist die Feststellung von Re- und Demineralisationsvorgängen möglich und klinisch erwiesen (Al- Khateeb et al., 1998; Al- Khateeb et al., 2000; de Josselin de Jong et al., 1995; Tranaeus et al., 1999; Tranaeus et al., 2001; Tranaeus et al., 2002; van der Veen und de Josselin de Jong, 2000). Klinisch ist auch der korrelierende Fluoreszenzverlust hinsichtlich des Mineralverlusts nachgewiesen worden (de Josselin de Jong et al., 1995). Deshalb kann man Produkte zur Verhinderung von Demineralisationen und zur Förderung von Remineralisationen mit QLF[®] testen (van der Veen und de Josselin de Jong, 2000). QLF[®] ist im Gegensatz zur visuellen Inspektion sensitiver, denn in einer Vergleichsstudie wurden visuell nicht erkannte initiale Läsionen von QLF[®] detektiert (Heinrich Weltzien et al., 2005). Sheehy et al. zeigten in vivo, dass es mit QLF[®] nicht möglich ist, eine Demineralisation von einer initialen Schmelzkaries zu unterscheiden (Sheehy et al., 2001). Dies ist ein deutlicher Nachteil. Obwohl es einige Vorteile zu bieten hat, ist das QLF[®] für den praktischen Gebrauch in der Praxis nicht zu empfehlen, da es einer zeitaufwändigen Bilderfassung und Bildanalyse bedarf (Kühnisch et al., 2007). Eine erste Studie sieht den Vorteil der SoproLife[®]-Kamera darin, dass ein klinisches Bild von der Gesamtsituation gemacht werden kann. Dies ist ein deutlicher Vorteil im Vergleich zur Punkt-für-Punkt-Messung beim DIAGNOdent[®]-Gerät (Terrer et al., 2009). Über das VistaProof[®]-System wird im vorangehenden Kapitel berichtet.

1.6 ZIEL DER VORLIEGENDEN ARBEIT

Ziel der vorliegenden Arbeit war es zu prüfen, ob mit kamerabasierten Fluoreszenztechniken eine Beurteilung der Region des Füllungsrandes möglich ist.

Hierzu sollten mit der VistaProof[®]-Kamera, einem kamerafluoreszenzbasiertem System, menschliche restaurierte extrahierte Zähne untersucht werden, um die Grenzregion zwischen den Amalgam- bzw. Compositfüllungen und der angrenzenden Zahnhartsubstanz abzubilden.

Durch Entfernung der vorhandenen Füllung sollte das Vorhandensein von Sekundärkaries am Rand der Restauration verifiziert werden. Aufnahmen nach Exkavation bzw. restaurativer Neuversorgung sollten klären, ob auf kariöse Läsionen hinweisende Fluoreszenzeffekte nicht durch materialbedingte Artefakte überlagert werden. Darüber hinaus sollte bei der primären Untersuchung die Effekte von Biofilmen auf der Zahnoberfläche bezüglich möglicher Fluoreszenzeffekte analysiert werden.

2. METHODE UND MATERIAL

2.1 ÜBERSICHT ÜBER DEN VERSUCHSABLAUF

Für die Messungen mit der VistaProof®-Kamera wurden insgesamt 32 extrahierte menschliche alio loco gefüllte Zähne für die weitere Verarbeitung in Kochsalzlösung mit Natriumacidzusatz kühl gelagert. Diese waren zum einen Teil mit Compositfüllungen, zum anderen Teil mit Amalgamfüllungen versorgt.

Um vorab sicherzustellen, dass alle zusätzlich verwendeten Hilfsmaterialien das Ergebnis in keinsten Weise verfälschen, wurden Probe-Materialaufnahmen (s. Abb. 3) angefertigt von Alphasil®, Grandio A3, blauem Schaumstoff, Proxit®, Amalgam, Tofflemire®-Matrizen, Zinkoxid-Paste. Alle diese Materialien wiesen keine Fluoreszenz auf.

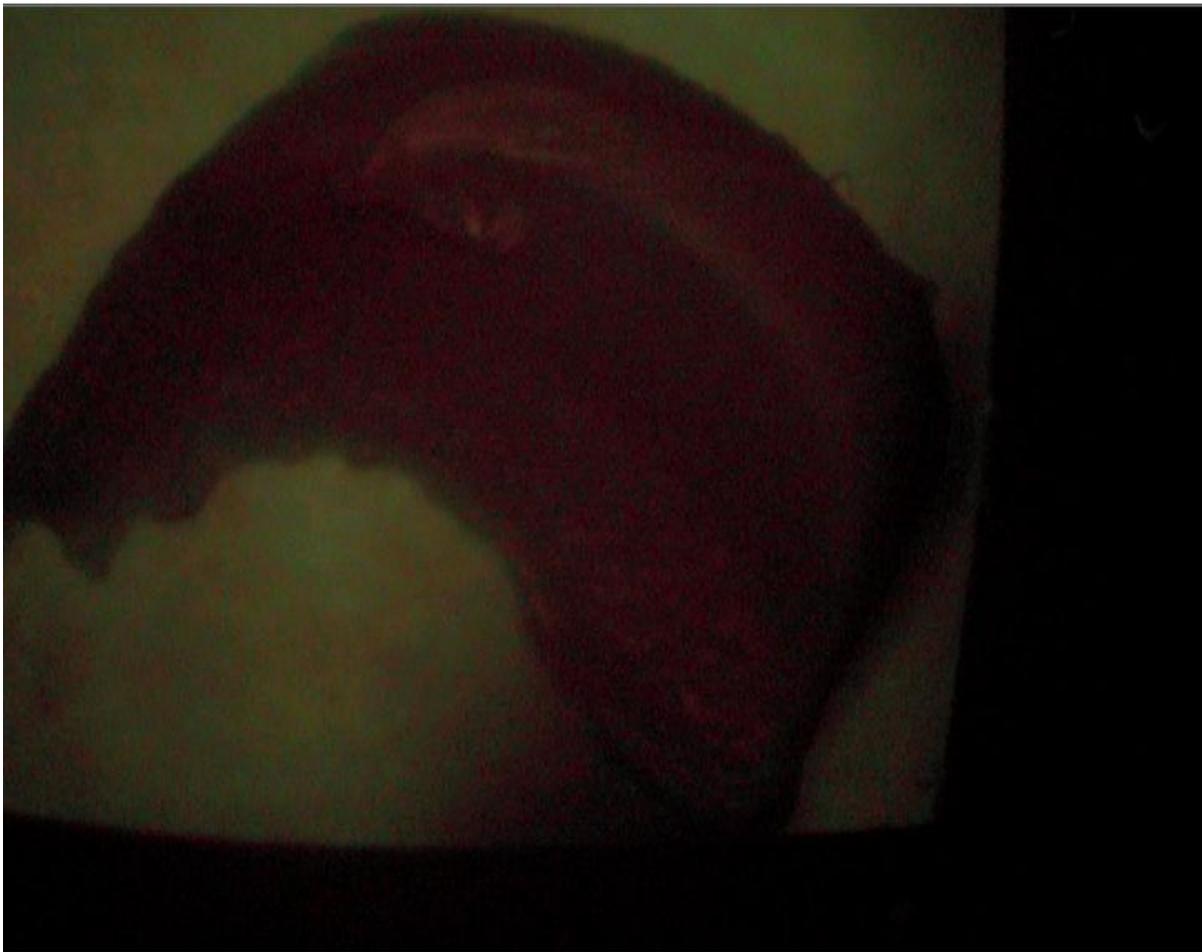


Abb. 3: Beispiel einer Probeaufnahme (in diesem Fall mit Proxit®), keine Fluoreszenz-erscheinung nachweisbar.

Der Versuch war folgendermaßen aufgebaut: Die Zähne wurden einzeln in einen mit Silikon (*Alphaseal*[®]) gefüllten Interimsstand fixiert. Um eine homogene Oberfläche zu erhalten, wurde ein blauer Schaumstoff über das Silikon gezogen, in dem sich ein Loch für die Zähne befand (s. Abb. 4).

Die VistaProof[®]-Kamera wurde in einem Ständer fest über dem eingebetteten Zahn fixiert. Der Versuch wurde stets in einem dunklen Raum durchgeführt, um die Situation in der Mundhöhle möglichst originalgetreu zu simulieren.



Abb. 4: Versuchsaufbau; die Zahnprobe wird im rechten Winkel zur Oberfläche bestrahlt und analysiert.

2.2. VISTAPROOF[®]-KAMERASYSTEM

Das VistaProof[®]-Kamerasystem (s. Abb. 5) soll eine exakte Lokalisation kariöser Läsionen liefern und das mit hoher Reproduzierbarkeit (Dental Dürr, 2010c).



Abb. 5: VistaProof[®]-Kamerakopf (Dental Dürr, 2010c)

2.2.1 DIE VISTAPROOF[®]-KAMERA IM ÜBERBLICK

Die Fluoreszenztechnik der VistaProof[®]-Kamera soll kariöse Läsionen in Fissuren und auf sichtbaren Zahnflächen schnell und sicher darstellen. Mit der VistaProof[®]-Kamera kann man zuverlässig initiale Schmelzkaries erkennen und mit hoher Reproduzierbarkeit wiedergeben. Exakte Lokalisation und Auswertung durch intelligente, automatische Bildverarbeitung soll möglich sein. Durch direkte Anbindung an eine Patientendatenbank ist eine gesicherte Dokumentation und Verlaufskontrolle gegeben. Man erhält anschauliche Plaquediagnostik ohne Färbemittel und kann sichere und schnelle Kariesdiagnostik durchführen. Gute Patientencompliance ist durch sichtbar überzeugende Kommunikation zu erreichen (Dental Dürr, 2010 b).

2.2.2 PRAXISKONZEPT DER VISTAPROOF[®]-KAMERA

Die VistaProof[®]-Kamera soll ein neues Konzept für das Kariesmanagement mit hoher Sicherheit eröffnen. Die Plaquedarstellung gibt einen anschaulichen Nachweis über den Mundhygienestatus und motiviert zur PZR. Nach der Reinigung der Zahnoberflächen sollen auch unsichtbare kariöse

Läsionen schnell und sicher nachgewiesen werden. Dem Patienten ist leicht die klinische Situation und das Behandlungskonzept zu erklären (Dental Dürr, 2010 a).

2.2.3 TECHNISCHE DATEN DER VISTA PROOF®-KAMERA

Die VistaProof®-Kamera hat eine Auflösung von 470.000 Pixeln. Sie wiegt 200g und hat eine Länge von 207mm. Ihr Durchmesser beträgt maximal 27mm. Die Spannungsversorgung verläuft über ein zusätzliches Kabel an einen USB-Stecker. Der Übertragungsweg beträgt zwei Meter digital über ein USB2.0-Kabel. Optional ist ein weiterer Meter verfügbar.

Als Anschluss dient ein USB 2.0 High-Speed-Anschluss. Für einen Mehrplatzeinsatz ist ein Plug & Play an- oder absteckbar. Die VistaProof®-Kamera verfügt über 6 LEDs (405nm), ein patentiertes optisches System, lichtempfindlicher ¼“ Farb-CCD-Sensor, der nicht beschlägt.

Als Software dient DBSWIN. Die Bildspeicherung erfolgt über Tastatur/ Maus oder einen optionalen Fußschalter. Die Bilddarstellung ist seitenrichtig oder seitenverkehrt über einen PC/ Laptop einstellbar. Die VistaProof®-Kamera ist einfach in bestehende Behandlungseinheiten integrierbar (Dental Dürr, 2010 b) (s. Tab. 4).

Vista Proof®-Kamerasystem

Auflösung	470.000 Pixel
Gewicht	200 g
Handstücklänge	207 mm
Durchmesser	Max. 27mm
Spannungsversorgung	Über zusätzliches Kabel an USB-Stecker, MPG-konformes Netzteil
Übertragungsweg	2m (+optional 1 m) digital über USB 2.0-Kabel
Anschlüsse	USB 2.0 High-Speed
Mehrplatzeinsatz	Plug & Play, an-/ absteckbar
Optisches System	6 LEDs (405 nm), patentiertes optisches System, lichtempfindlicher 1/4" Farb-CCD-Sensor, beschlagfrei
Software	DBSWIN
Bildspeicherung	über Tastatur/Maus oder optionalen Fußschalter
Bilddarstellung	seitenrichtig/seitenverkehrt einstellbar über PC/Laptop
Systemlösung	optimale PC-/Laptop-Lösung; einfache Integration in bestehende Behandlungseinheiten

Tab. 4: Technische Daten zum VistaProof®-Kamerasystem (Dental Dürr, 2010 b: Technische Daten)

2.3 UNTERSUCHUNG VON ZAHNPROBEN MIT COMPOSIT-FÜLLUNG

Für den folgenden Versuch wurden 14 extrahierte menschliche Zähne verwendet.

Zu Beginn wurden die Zähne jeweils in dem Zustand aufgenommen, in dem sie extrahiert wurden. Es wurde je ein Bild mit der Fluoreszenzkamera sowie eines mit der normalen intraoralen Kamera aufgenommen, um den Vergleich des klinischen Bildes mit dem der Fluoreszenzmessungen ziehen zu können.

Anschließend wurde mit *Proxit*[®] *grob* und einem harten Ziegenhaarbürstchen der Belag und teils auch die Verfärbungen entfernt (s. Abb. 6) und es erfolgte eine weitere Aufnahme, in der gleichen Art und Weise wie eben beschrieben.



Abb. 6: Politur eines Zahnes mit *Proxit*[®] und Ziegenhaarbürste

Daraufhin wurden die Füllungen aus den Zähnen mit einem Diamanten entfernt und die Situation wieder aufgenommen.

Nun wurde jeder Zahn soweit exkaviert, bis er klinisch sauber erschien und zur Kontrolle machte man wieder entsprechende Aufnahmen. Die Zähne, die noch eine Fluoreszenz aufwiesen, wurden

an diesen Stellen erneut bearbeitet, bis sie auch laut Kamera kariesfrei waren.

Danach wurden die Zähne wie folgt erneut gefüllt: Zunächst wurde mit Phosphorsäure (*Vococid*[®]) 45 Sekunden der Schmelz angeätzt, dann zusätzlich 15 Sekunden das Dentin. Die Säure wurde ca. 30 Sekunden lang abgeduscht. Dann wurde 20 Sekunden der Primer aufgetragen (*SolobondPlus*[®]) und anschließend verblasen. Jetzt massierte man das Adhäsiv (*SolobondPlus*[®]) ebenfalls 20 Sekunden ein, es wurde leicht verblasen und dann 20 Sekunden lichtgehärtet. Nun wurde in der Inkrementtechnik der Kunststoff (*GrandioA3*) aufgetragen und die neue Füllung modelliert. (Aushärtung erfolgte auch beim Kunststoff je Schicht für 20 Sekunden.)

Letztendlich wurden die neuen Füllungen dann mit groben und feinen Gummikelchen poliert und wieder aufgenommen (s. Abb. 7)



Abb. 7: Versuchsaufbau wie in Abb. 4 (s. S.23) mit Darstellung einer Aufnahme auf dem Bildschirm des Laptops

2.4 UNTERSUCHUNG VON ZAHNPROBEN MIT AMALGAM-FÜLLUNG

Für den folgenden Versuch wurden 18 extrahierte menschliche Zähne verwendet.

Das Vorgehen war zunächst dasselbe wie bei den compositgefüllten Zähnen: Die Ausgangssituation wurde sowohl mit der intraoralen Kamera wie auch mit der Fluoreszenzkamera aufgenommen. Dann wurden die Zähne poliert (*Proxit[®] grob*) und es erfolgten wieder zwei Aufnahmen in Form von einer klinischen Aufnahme mit der intraoralen Kamera und der Fluoreszenzkamera. Anschließend wurden die vorhandenen Füllungen entfernt und die Zähne wurden wieder aufgenommen. Wenn bei diesen Aufnahmen weiterhin Fluoreszenzsignale zu erkennen waren, wurden die Zähne nochmals exkaviert, bis keine Fluoreszenz mehr vorzufinden war. Somit waren die Zähne laut Fluoreszenzkamera kariesfrei. Daraufhin wurden die Zähne dann neu mit Amalgam gefüllt. Hierfür wurde um jeden Zahn eine Tofflemire-Matrize gelegt. Die Amalgamkapseln wurden zur Anmischung für 6 Sekunden in den Rüttler gegeben. Dann wurde das Amalgam mit Hilfe von Amalgam-Stopfinstrumenten in den Zahn eingebracht. Nach 24 Stunden wurden die Füllungen poliert (ZnO-Paste) und dann nochmals dokumentiert.

2.5 WERTEERFASSUNG UND BILDANALYSE

Im Rahmen der Studie sollten 32 extrahierte menschliche Zähne untersucht werden, die im Okklusalbereich bereits entweder mit dem Restaurationsmaterial „Composit“ (n=14) oder „Amalgam“ (n=18) versorgt waren.

Für jeden Zahn wurden ein bis fünf Messpunkte festgelegt. Die Festlegung erfolgte entweder durch klinische Inspektion der Ausgangssituation, nach Politur oder nach Entfernung des Restaurationsmaterials bzw. an Hand der Fluoreszenzaufnahmen sofern eine „Fehlfarbe“ angezeigt wurde (s. Tab. 8, S. 56); Einschlusskriterium war jeweils eine vermutete kariöse Läsion.

Als Beispiel für die Datenerfassung im Verlauf der Studie ist in Abbildung 8 das der Auswertung zu Grunde liegende Bildmaterial einer Probe dargestellt.

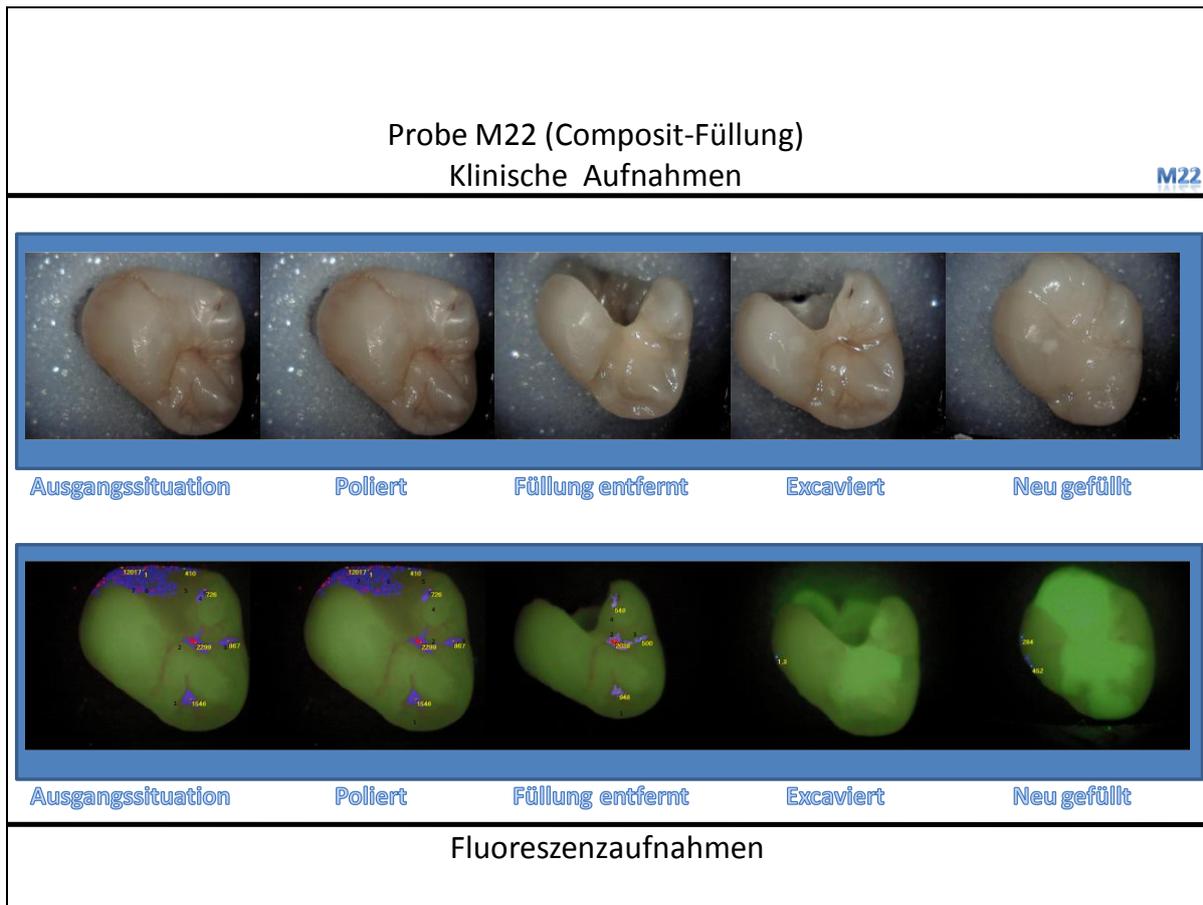


Abb. 8: Bildmaterial als Grundlage für die Datenerfassung einer Probe von den verschiedenen Versuchsabschnitten (oben: klinische Aufnahmen; unten: Fluoreszenzaufnahmen); die unterschiedlichen Farben weisen jeweils auf die Tiefe der Läsion hin (Blau steht für beginnende Schmelzkaries, rot steht für tiefe Schmelzkaries, orange für beginnende Dentinkaries und gelb für tiefe Dentinkaries; grün zeigt gesunde Zahnhartsubstanz)

Im Rahmen der Analyse wurden Unterschiede bezüglich der Fluoreszenzdarstellung in der Ausgangssituation mit dem Zustand nach Politur verglichen. Darüber hinaus wurden die Fluoreszenzbilder vor und nach Füllungsentfernung gegenübergestellt und mit dem klinischen Befund abgeglichen. Im Weiteren wurde untersucht, wie weit sich im Rahmen der Bearbeitung der Präparate das Fluoreszenzbild änderte (Ausgangssituation/ Politur/ Situation nach Füllungsentfernung/ Exkavierte Situation/ Situation nach Füllungserneuerung). Die Auswertung erfolgte präparatebezogen durch Ermittlung des jeweiligen Medians.

Die ausgewerteten Daten aller untersuchten Präparate wurden mit Hilfe von Microsoft Office Excel2007[®] in Tabellen erfasst (s. Kap. 7.3, S. 56). Die angefertigten Bilddateien wurden mit Microsoft Office PowerPoint2007[®] in Übersichtsfolien zusammengestellt (s. Abb. 8 und Kap.

7.4, S. 77). Die diagnoserelevanten Informationen bekommt man in Form von Zahlenwerten und bzw. oder in Form von Falschfarbendarstellungen, welche für die hier durchgeführten Untersuchungen verwendet wurden. Blau steht für beginnende Schmelzkaries, rot steht für tiefe Schmelzkaries, orange für beginnende Dentinkaries und gelb für tiefe Dentinkaries (Dental Dürr, 2012). Die Farbe Grün steht für gesunde Zahnhartsubstanz.

2.6 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Zur statistischen Auswertung wurde der Wilcoxon-Mann-Whitney-U-Test durchgeführt. Dies ist ein parameterfreier statistischer Test. Der U-Test ist ein Homogenitätstest. Er dient zur Überprüfung der Signifikanz der Übereinstimmung zweier Verteilungen (Büning und Trenkler, 1998). Zur graphischen Darstellung der Ergebnisse wurde der Boxplot (Kastengrafik) angewandt. Er fasst dabei verschiedene robuste Streuungs- und Lagemaße in einer Darstellung zusammen. Er soll schnell einen Eindruck darüber vermitteln, in welchem Bereich die Daten liegen und wie sie sich über den Bereich verteilen (Tukey, 1977). Die Daten, die in diesen Bereich fallen, werden durch die Box einschließlich ihrer „Nadeln“ (oder auch „Fühler“ bzw. „Whisker“) widergespiegelt. Die Box selbst hat ihre Grenzen bei dem unteren und oberen Quartil. Der in die Box eingezeichnete Querstrich steht für den Median, also eine mögliche Mitte der Daten. Durch diese graphische Angabe des Medians wird eine Schiefe in den Daten sichtbar. Ist der Median am unteren bzw. oberen Ende der Box, so ist der Datensatz rechts- bzw. linksschief verteilt. Daten, die nicht im Intervall liegen, sind auffällig, denn unter Normalverteilungsannahme ist das Auftreten derartiger Werte wenig wahrscheinlich. Sie sind verdächtig, Ausreißer zu sein und werden mit Sternchen im Boxplot markiert. Man beachte, dass alle im Boxplot verwendeten Kennziffern relativ hohe Breakdownpoints haben, selbst also relativ robust sind gegenüber Ausreißern, denen dadurch die Möglichkeit eingeschränkt wird, sich hinter bereits beeinflussten Kenngrößen zu verstecken (Falk et al., 2004). Hier wurden die Ergebnisse für die Messungen abhängig von den einzelnen Verfahrensschritten (Ausgangssituation/ nach Politur/ Situation nach Füllungsentfernung/ Exkavierte Situation/ Neugefüllte Situation) dargestellt.

Die hier erfassten Unterschiede wurden mit $p < 0,05$ als statistisch signifikant erachtet.

3. ERGEBNISSE

3.1 VERGLEICH DER KLINISCHEN DIAGNOSTIK UND DER FLUORESZENZMESSUNG

Compositgefüllte Zähne

Beim Vergleich der klinischen Ausgangssituation und der Fluoreszenzaufnahme in der Ausgangssituation ergab sich eine Übereinstimmung von 93 % hinsichtlich der Lokalisation der Stellen, an welchen die größte Kariesaktivität vermutet wurde (s. Tab 5). D. h., dass an derselben Stelle, an der man in der Ausgangssituation die größte Kariesaktivität lokalisiert hat, auch in 93 % der Fälle auf dem Fluoreszenzbild als die Region mit der größten Kariesaktivität angezeigt wurde. Dieser Wert ergab sich aus dem Verhältnis 13:14, welches aus Tabelle 23 (s. S. 75) hervorgeht. D.h., bei 13 von insgesamt 14 compositgefüllten Zähnen war eine Übereinstimmung festzustellen. Für alle weiteren Verfahrensschritte wurde die in der Ausgangssituation als Referenzpunkt festgelegte Stelle weiter verwendet und ebenfalls stets der Vergleich zwischen klinischer Situation und Fluoreszenzaufnahme gezogen.

In der Situation nach Politur ergab sich eine Übereinstimmung von 79 %, in der Situation nach Füllungsentfernung 86 % und sowohl in der exkavierten wie auch in der neugefüllten Situation stimmten Klinik und Fluoreszenz in 100 % der Fälle überein (s. Tab. 5).

Übereinstimmungswerte Klinik-Fluoreszenz bei compositgefüllten Zähnen

	Ausgangssituation	Poliert	Füllung entfernt	Exkaviert	Neugefüllt
Übereinstimmung	93 %	79 %	86 %	100 %	100 %

Tab. 5: Übereinstimmung zwischen der klinischen Situation und der Fluoreszenzaufnahme für jeden Verfahrensschritt der compositgefüllten Zähne (diese Tabelle ergibt sich aus Tab. 23, S.75).

Amalgamgefüllte Zähne

Hier ergab sich nach demselben Verfahren wie bei den compositgefüllten Zähnen eine Übereinstimmung von 67 % zwischen den Messungen der klinischen Ausgangssituation und der Fluoreszenzaufnahme in der Ausgangssituation. Für die Situation nach Politur ergab sich eine Übereinstimmung in 61 % aller Fälle, für die Situation nach Füllungsentfernung 89 %. In der exkavierten Situation liegt eine Übereinstimmung von 100 % vor, in der neugefüllten Situation von 94 % (s. Tab. 6).

Übereinstimmungswerte Klinik-Fluoreszenz bei amalgamgefüllten Zähnen

	Ausgangssituation	Poliert	Füllung entfernt	Exkaviert	Neugefüllt
Übereinstimmung	67 %	61 %	89 %	100 %	94 %

Tab. 6: Übereinstimmung zwischen der klinischen Situation und der Fluoreszenzaufnahme für jeden Verfahrensschritt der amalgamgefüllten Zähne (diese Tabelle ergibt sich aus Tab. 15, S.65).

Gegenüberstellung und Vergleich der composit- und amalgamgefüllten Zähne

Vergleicht man das Füllungsmaterial Composit mit Amalgam, so zeigt sich, dass Composit sowohl in der Ausgangssituation als auch in der Situation nach Politur und der neugefüllten Situation als das für diese Untersuchung geeignetere Füllungsmaterial herausstellt, da die Übereinstimmung zwischen klinischer Situation und Fluoreszenzaufnahme höher ist. Hingegen zeigt sich in der exkavierten Situation gleiche Zuverlässigkeit der Materialien. Ein geringer Unterschied von 3% besteht zu Gunsten des Amalgams in der Situation nach Füllungsentfernung (s. Tab. 7). Diese ist allerdings so gering, dass man die beiden Füllungsmaterialien auch in diesem Verfahrensschritt als gleichwertig betrachten kann.

Vergleich der Übereinstimmungen Composit-Amalgam

Verfahrensschritt	Composit	Amalgam
Ausgangssituation	93 %	67 %
Poliert	79 %	61 %
Füllung entfernt	86 %	89 %
Exkaviert	100 %	100 %
Neugefüllt	100 %	94 %

Tab. 7: Gegenüberstellung der Übereinstimmungen von Composit und Amalgam hinsichtlich der klinischen Diagnostik und der Fluoreszenzmessungen (diese Tabelle ergibt sich aus Tab. 5 und Tab. 6).

3.2 VERGLEICH DER AUSGANGSSITUATION MIT DER SITUATION NACH POLITUR

Compositgefüllte Zähne

Es ergab sich kein Unterschied zwischen den Messungen in der Ausgangssituation und nach der Politur (Mann Whitney $p > 0,05$) (s. Abb. 9). D.h., die fluoreszierenden Stellen in der Aufnahme der Ausgangssituation haben sich im Vergleich zur Situation nach Politur nicht bzw. nicht maßgeblich verändert.

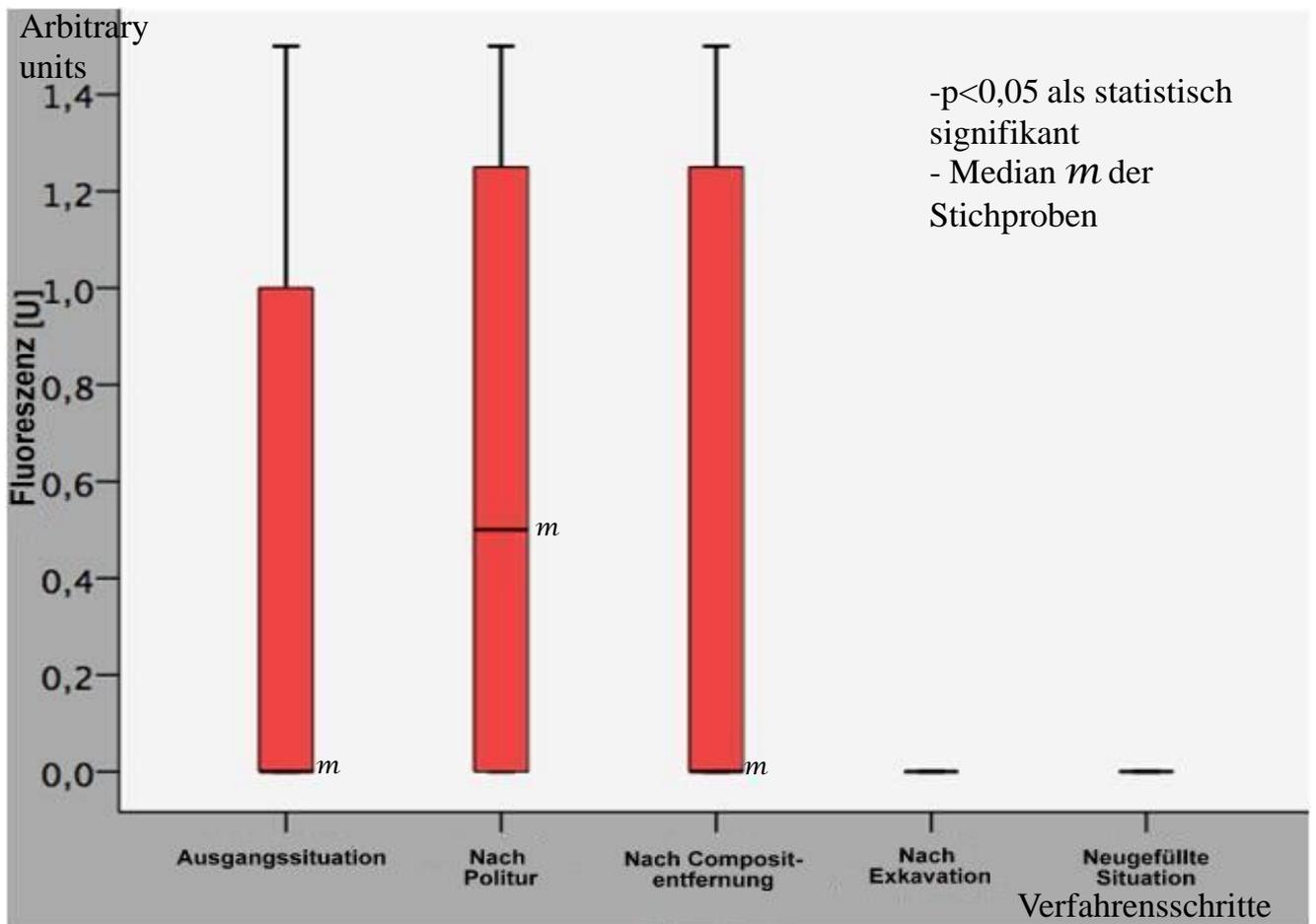


Abb. 9: Boxplotdiagramm der Fluoreszenzmessungen an compositgefüllten Zähnen

Auch hier ergab sich kein Unterschied zwischen den Messungen in der Ausgangssituation und nach der Politur (Mann Whitney $p > 0,05$) (s. Abb. 10). Es wurden also ebenfalls keine maßgeblichen Veränderungen zwischen Ausgangssituation und Situation nach Politur festgestellt.

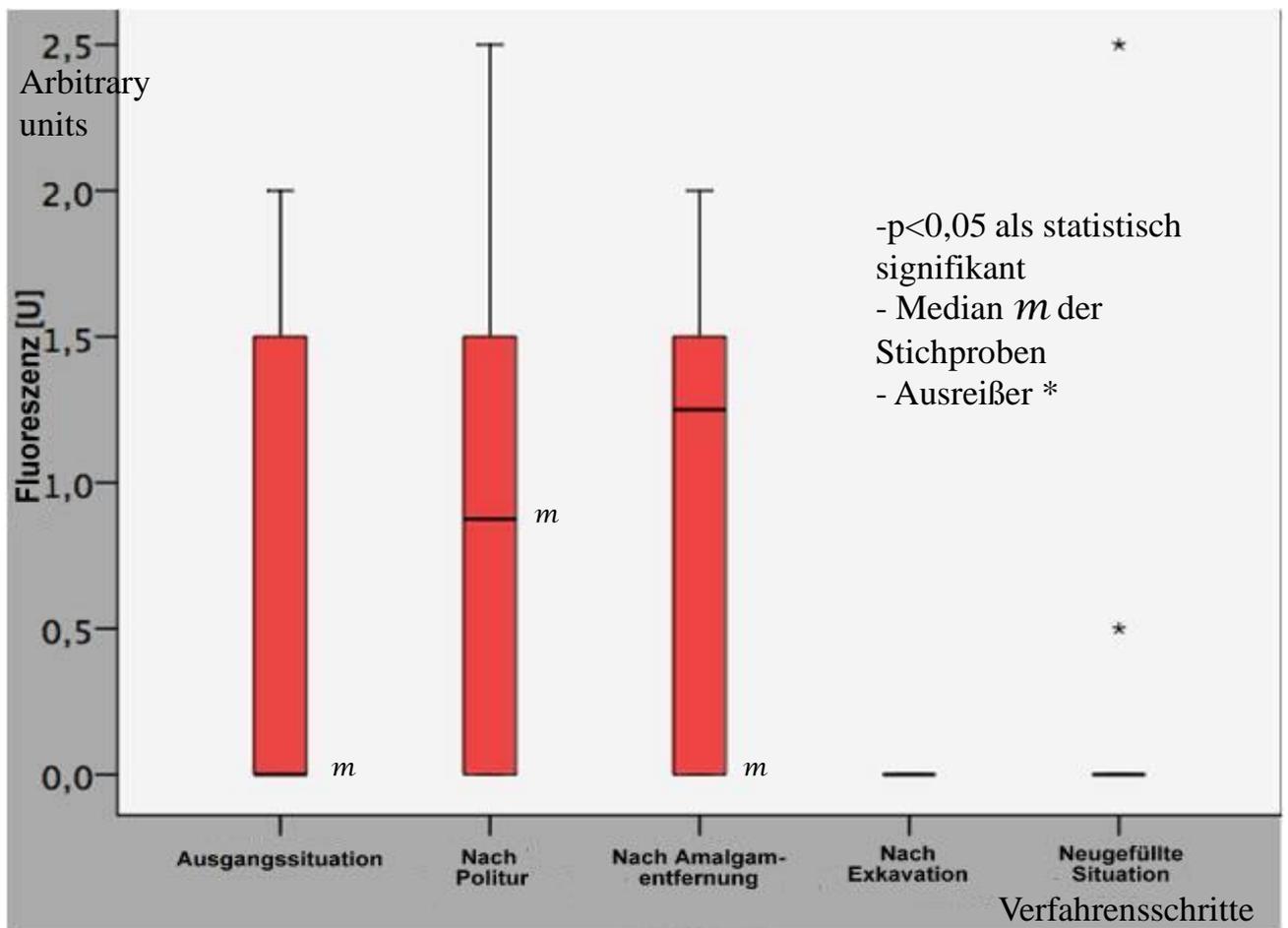


Abb. 10: Boxplotdiagramm der Fluoreszenzmessungen an amalgamgefüllten Zähnen

3.3 VERGLEICH DER AUSGANGSSITUATION MIT DER SITUATION NACH FÜLLUNGSENTFERNUNG

Compositgefüllte Zähne

Es ergab sich kein signifikanter Unterschied zwischen den Messungen der Ausgangssituation und der Situation nach Füllungsentfernung (Mann Whitney $p > 0,05$) (s. Abb.9). D. h., dass an den Stellen, die in der Ausgangssituation klinisch als kariös angesehen wurden, nach Füllungsentfernung tatsächlich Karies vorlag.

Amalgamgefüllte Zähne

Es ergab sich auch bei den amalgamgefüllten Zähnen kein signifikanter Unterschied zwischen den Messungen der Ausgangssituation und der Situation nach Füllungsentfernung (Mann Whitney $p > 0,05$) (s. Abb.10). D. h., dass an den Stellen, die in der Ausgangssituation klinisch als kariös angesehen wurden, nach Füllungsentfernung tatsächlich Karies vorlag.

3.4 VERGLEICH ZWISCHEN DER SITUATION VOR UND NACH ENTFERNUNG DER FÜLLUNG

Compositgefüllte Zähne

Es ergab sich kein Unterschied zwischen den Messungen vor und nach Entfernung der Füllung (Mann Whitney $p > 0,05$) (s. Abb. 9). D. h., auch in diesem Fall wurde die Karies in beiden Situationen an derselben Stelle angezeigt.

Amalgamgefüllte Zähne

Es ergab sich ebenfalls kein Unterschied zwischen den Messungen vor und nach Entfernung der Füllung (Mann Whitney $p > 0,05$) (s. Abb. 10).

3.5 VERGLEICH ZWISCHEN NICHT EXKAVIERTER UND EXKAVIERTER SITUATION

Compositgefüllte Zähne

Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen den Aufnahmen im Zustand nach Füllungsentfernung ohne Exkavation und der exkavierten Situationen (Mann Whitney $p = 0,026$)

(s. Abb. 9). D. h., nach Entfernung der Füllung traten im Vergleich zur exkavierten Situation bedeutend stärkere Fluoreszenzen auf.

Amalgamgefüllte Zähnen

Auch hier gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Aufnahmen im Zustand nach Füllungsentfernung ohne Exkavation und der exkavierten Situationen (Mann Whitney $p= 0,001$) (s. Abb. 10). Das bedeutet, dass hier ebenfalls viel stärkere Fluoreszenzen nach Entfernung der Füllung im Vergleich zur exkavierten Situation auftraten.

3.6 VERGLEICH ZWISCHEN DER AUSGANGSSITUATION UND DER NEUGEFÜLLTEN SITUATION

Compositgefüllte Zähne

Es gab einen signifikanten Unterschied zwischen der Ausgangssituation bei den compositgefüllten Zähnen und der neugefüllten Situation (Mann Whitney $p= 0,041$) (s. Abb. 9). Die VistaProof®-Kamera zeigt anfangs also die Randkaries an. Durch die in den Zwischenschritten erfolgte Entfernung der Karies verändert sich das Fluoreszenzbild insofern als dass bei der neugefüllten Situation keine Fluoreszenz mehr an den zuvor kariösen Stellen angezeigt wird.

Amalgamgefüllte Zähne

Es gab ebenfalls einen signifikanten Unterschied zwischen der Ausgangssituation bei den amalgamgefüllten Zähnen und der neugefüllten Situation (Mann Whitney $p= 0,004$) (s. Abb. 10). Also liegt auch hier durch die in den Zwischenschritten erfolgte Exkavation der Karies eine Veränderung des Fluoreszenzbildes zwischen Ausgangs- und neugefüllter Situation vor. Dies bedeutet, dass an zu Beginn kariösen Stellen die Karies durch entsprechende Fluoreszierung angezeigt wird und in der neugefüllten Situation diese Fluoreszenz nicht mehr auftritt.

4. Diskussion

In der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass sich das fluoreszenzoptische System (VistaProof®-Kamera, Dürr) nicht nur für die Kariesdetektion auf Okklusalfächen eignet, sondern auch, um Sekundärkaries an gefüllten Zähnen zu entdecken.

Das geeignetere Füllungsmaterial für diese Untersuchungsmethode ist Composit. Diese Erkenntnis ergibt sich aus den höheren Übereinstimmungswerten eines kariösen Bereichs zwischen den Aufnahmen, die mit der intraoralen Kamera angefertigt und anschließend klinisch beurteilt wurden, und den Fluoreszenzaufnahmen.

Als Ergebnis der Gegenüberstellung der Messdaten der Ausgangssituation und der Situation nach Politur zeigt sich, dass es nicht zwingend nötig ist, die Zähne vor Gebrauch des Systems zu reinigen (bei den compositgefüllten Zähnen: $p > 0,05$; bei den amalgamgefüllten Zähnen: $p > 0,05$). Es erwies sich ein signifikanter Unterschied im Ergebnis des Vergleichs der nicht-exkavierten und exkavierten Situation (bei den compositgefüllten Zähnen: $p = 0,026$; bei den amalgamgefüllten Zähnen: $p = 0,001$). Dies zeigt, dass die VistaProof®-Kamera zuverlässig kariös veränderte Stellen an Füllungsrandern aufzeigt und auch zuverlässig vollständig exkavierte Kavitäten als kariesfrei anzeigt. Auch ergaben die Ergebnisse des Vergleichs der Messwerte zwischen der Ausgangssituation und der neugefüllten Situation sowohl bei composit- wie auch amalgamgefüllten Zähnen einen signifikanten Unterschied (bei den compositgefüllten Zähnen: $p = 0,041$; bei den amalgamgefüllten Zähnen $p = 0,004$), d.h. die kariesinduzierte Fluoreszenz der Ausgangssituation ist nach Revision der Füllung nicht mehr nachweisbar. Da sie in den Zwischenschritten entfernt wurde ist belegt, dass nicht das Füllungsmaterial die Fluoreszenz hervorruft, sondern tatsächlich eine Randkaries vorhanden war.

Das optimale Studiendesign einer Diagnostikstudie wird in einen klinisch diagnostischen Teil, in vivo, und einen histologischen Teil, in vitro, gegliedert (Pitts, 2001). Der große organisatorische Aufwand der Patientenauswahl und –rekrutierung stellt eine grundsätzliche Schwierigkeit dieses Vorgehens dar. Ein weiteres Problem dieser Studienart ist die ethische Fragwürdigkeit einer Zahnextraktion nach ihrer diagnostischen Untersuchung, um sie histologisch bewerten zu können (Kühnisch et al., 2006). Deshalb wurde in dieser Studie das Design einer in vitro-Untersuchung gewählt, indem bereits extrahierte Zähne klinisch und mit Fluoreszenzmessungen untersucht wurden.

Dabei wurde versucht, den diagnostischen Teil der Studie der klinischen Situation so realitätsnah wie möglich nachzuempfinden: Die Präparate wurden in ihrer Ausgangssituation, nach Politur, nach Füllungsentfernung, nach Exkavation und nach neuem Legen einer Füllung stets in dunkler Umgebung (entspricht der Situation in der Mundhöhle) sowohl in einem klinischen wie auch in einem fluoreszierenden Bild festgehalten. So wurde eine patientenbezogene Situation in vitro imitiert: Der Zahnarzt beurteilt den betroffenen Zahn mit Hilfe der VistaProof®-Kamera, die ihm ermöglicht, die Füllungsänderer auch bezüglich der Tiefendetektion auf Sekundärkaries zu beurteilen. Zusätzlich wird eine visuelle Beurteilung angeschlossen. Nicht berücksichtigt werden konnten Faktoren wie allgemeines Kariesrisiko, Alter und Geschlecht der Patienten, Lokalisation hinsichtlich des Quadranten der Zähne und Sozialanamnese.

Trotz diesen Einschränkungen sind in vitro-Studien wichtig als Vorstufe für in vivo-Untersuchungen, denn es muss Patientensicherheit gewährleistet werden können. Außerdem können Material und Methode validiert und somit weiterführende klinische Studien effizienter gestaltet werden.

Die Lagerung der Zähne in einer wie hier verwendeten Desinfektionslösung, die v.a. auch vor Austrocknung schützen soll, wird vom Hersteller eines Kariesdetektors (Cariosolv™) für in vitro-Studien empfohlen. Der Einfluss dieser Lösung auf das Fluoreszenzverhalten extrahierter Zähne wurde in diversen Studien überprüft (Francescut et al., 2006; Shi et al., 2001) und wurde als gering eingestuft.

Die Kariesdiagnostik mittels Lasertechnologie zeigt einige Fehlerquellen auf, die bei der Fluoreszenzdiagnostik berücksichtigt werden müssen: Studien über das DIAGNOdent®-System zeigen z.B., dass starke Beläge wie Zahnstein, Plaque und auch Reste von Polierpasten die Fluoreszenzwerte bei Anwendung des Systems verfälschen können und somit ein falsch positives Ergebnis darstellen (Braun et al., 1999; Lussi et al., 2001; Lussi und Reich, 2005). Weitere Studien fanden heraus, dass eine Zahnreinigung zu niedrigeren Messwerten führt (Braun et al., 1999), aber Polierpastenreste erhöhte Messwerte hervorrufen (Lussi und Reich, 2005). Auch eine Ampullenform der Fissuren und sich darin befindliche Rückstände von Polierpaste können Ursache für erhöhte Fluoreszenz sein. Ein niedriger Fluoreszenzwert eines plaquebelegten Zahnes kann auch hervorgerufen werden durch optische Phänomene wie Streuung, Reflexion und Absorption der Anregungsstrahlung.

Kariesdiagnostik soll mittels moderner Methoden objektiv, quantitativ und präzise durchgeführt werden können (Kidd, 2004). Eine Schwierigkeit in der klinischen Diagnostik stellt schon die

Unterscheidung eines lokalen Schmelzeinbruchs in einer opak oder auch braun verfärbten Fissur von morphologischen Grübchen und Fissuren dar (Ekstrand et al., 1995). Genauso erscheint es fast unmöglich, mit bloßem Auge zu entscheiden, ob sich Sekundärkaries an oder unter einem Füllungsrand befindet. Trotz großer Sorgfalt und selbst mit Verwendung einer Lupenbrille ist es möglich, eine solch veränderte Stelle zu übersehen oder aber auch überzubewerten. Man strebt deshalb Diagnostikmethoden an, die Karies bereits in einem sehr frühen Stadium erkennen (Kidd, 2004).

Durch den Gebrauch des hier untersuchten fluoreszenzoptischen Systems, kann eine Befundung am Patienten primär zuverlässiger durchgeführt werden, als durch eine rein klinische Untersuchung mit Spiegel und Sonde, denn durch die fluoreszierende Strahlung können sowohl oberflächliche wie auch in tieferliegenden Regionen demineralisierte und kariöse Bereiche entdeckt werden. Es lassen sich reproduzierbar treffsichere Ergebnisse erreichen (Eberhart et al., 2007). Im Vergleich ließen sich durch histologische Kontrollen in einer Studie bereits 2007 durchaus relevante Differenzen in der Genauigkeit und Zuverlässigkeit herausstellen zwischen der klinischen Kariesdiagnostik (hier lag eine Übereinstimmung von 76,9 % im Falle einer vorhanden Karies vor) und der Verwendung der VistaProof[®]-Kamera (92,3 % der Kariesfälle) (Thoms et al., 2007). Rein klinische Kontrollen durch eine Sondenkontrolle oder die Verwendung von einem Kariesmeter und einem Kariesdetektor ermöglichen zwar eine schmerzfreie wie auch frühzeitige Feststellung von Karies, jedoch ist dies lediglich an der Oberfläche möglich. Um die Tiefe bzw. die Zahnzwischenräume beurteilen zu können, musste man den Patienten bisher einer Strahlenbelastung aussetzen (Bissflügelaufnahmen). Für die Beurteilung der Approximalbereiche ist dieses Verfahren auch immer noch hervorragend geeignet, da wegen der speziellen Strahlenführung auch frühe Stadien der Karies aufgedeckt werden können (Pasler, 1981). Doch an Hand der Röntgenaufnahmen lassen sich Läsionen auf der Okklusalfäche und unter Füllungen erst zu einem Zeitpunkt feststellen, an dem die Karies bereits das Dentin erreicht hat, also schon sehr weit fortgeschritten ist. Außerdem hat jede Röntgenaufnahmetechnik das Problem, dass das Ausmaß des Defektes unterschätzt wird. Die noch intakten Schmelzwände überlagern den strahlendurchlässigen Defekt und verniedlichen ihn somit. Die VistaProof[®]-Kamera hingegen ermöglicht eine frühzeitige Aufdeckung von Läsionen. Durch Farbabstufungen in der Fluoreszenzdokumentation werden genaue Angaben über die Intensität des Defektes gegeben. Man kann dieses Verfahren im Gegensatz zum Röntgen so häufig anwenden, wie es nötig ist,

ohne den Patienten einer Strahlenbelastung auszusetzen. Bissflügelaufnahmen hingegen sollten nur ungefähr in einem Zweijahresrhythmus angefertigt werden (Pasler, 1981).

Bis zu diesem Zeitpunkt konnten also vorwiegend qualitative Befunde erkannt werden, d.h. man konnte feststellen, ob Karies vorliegt oder nicht. Mit dem Verfahren der Röntgentechnik kann man semiquantitative Befunde aufzeichnen. Neue optische Verfahren wie das DIAGNOdent[®]-Gerät oder die Anwendung von QLF[®]-Systemen ermöglichen nun auch quantifizierbare Messwerte. Diese zeigen an spezifischen Regionen des Zahnes einen Demineralisationsgrad auf, der auf die Intensität der Karies schließen lässt und somit eine Therapieplanung ermöglicht (Reich, 2000).

Das QLF[®]-System erkennt nicht bereits zerstörende bakterielle Besiedlung, die im späteren Verlauf zu einer Demineralisation führt, sondern erst die Demineralisation durch Abnahme der Fluoreszenz der gesunden Zahnschubstanz. Damit kann das QLF[®]-System zwar verwendet werden, um bereits bestehende Schäden zu dokumentieren, aber nicht, um vorher Maßnahmen gegen bakterielle Besiedlung einzuleiten. Somit kann ein Mineralverlust nicht vermieden werden.

Das DIAGNOdent[®]-System kann im Gegensatz zum QLF[®]-System zwar eine bakterielle Besiedlung nachweisen, in dem die Bakterienstoffwechselprodukte Fluoreszenz induzieren, aber durch die punktförmige Sondenform benötigt man viel Zeit, da mehrere Messungen nötig sind (Eberhart et al., 2007). Weiter sehr zeitaufwändig sind Handhabungsvorschriften, wie Eichung am Keramikstandard und Bestimmung der Eigenfluoreszenz einer gesunden Zahnfläche (Rolfsen, 2009). 2007 wurde in einer weiteren Studie über das DIAGNOdent[®]-System von Eberhart et al. gezeigt, dass Abweichungen der Fluoreszenzwerte bei Veränderung der vorgegebenen Messachse vorliegen (Eberhart et al., 2007). Dies bringt bei Folgeuntersuchungen die Schwierigkeit mit sich, den gleichen Untersuchungspunkt wie zuvor zu treffen und ermöglicht somit keine genaue Dokumentation und Reproduzierbarkeit. Doch genau diese Eigenschaft ist erforderlich, um eine Verlaufskontrolle durchführen zu können und um ein Fortschreiten oder eine Stagnation der Karies erkennen zu können (Eberhart et al., 2007).

Der DIAGNOdent[®]-pen erwies sich 2010 in einer Studie von Rodrigues et al. als funktionstüchtiges Hilfsmittel, das bei approximaler Sekundärkaries in Beziehung zu Compositfüllungen angewendet werden sollte. Allerdings zeigt sich das System im Vergleich zu herkömmlichen Untersuchungsmethoden als vergleichbar, doch es weist höhere Reproduzierbarkeit auf (Rodrigues et al., 2010).

In einer Studie über die Funktionstüchtigkeit der Laserfluoreszenz, geprüft mit dem DIAGNOdent[®]-System in Bezug auf die vollständige Exkavation, kam man zu dem Ergebnis, dass das System von Verfärbungen in der Restzahnhartsubstanz negativ beeinflusst wird. Deshalb ist der Gebrauch des DIAGNOdent[®]-Systems als Entscheidungshilfe, ob alles kariös veränderte Gewebe entfernt wurde, fraglich (Neves et al., 2011).

Verunreinigte Füllungsmaterialien können ebenfalls falsch positive Ergebnisse bei der Anwendung des DIAGNOdent[®]-Gerätes hervorrufen. Deshalb sollten Füllungen vor Anwendung des Systems gereinigt werden (Hitij et al., 2008).

Verglichen mit der bereits erprobten Methode des DIAGNOdent[®]-pen schneidet die VistaProof[®]-Kamera besser ab. Dies liegt an der Feststellung, dass je nach Ausrichtung des DIAGNOdent[®]-pen, das Ergebnis variiert. Das bedeutet, dass je nach Abstand und Position zum einen nur ein kleiner Abschnitt der Zahnoberfläche erfasst wird und zum anderen umso weniger Karies erfasst werden kann, je größer der Abstand zwischen pen und Zahnoberfläche gewählt wird. Somit wird eine weitere Verwendbarkeit in nachfolgenden Sitzungen erschwert, da man keinen Anhaltspunkt zur direkten Gegenüberstellung hat. Das Fluoreszenzsystem hingegen ermöglicht eine komplette Erfassung der Zahnoberfläche, was wiederum die zukünftige Verwendbarkeit ermöglicht: auch bei Positionsänderungen kann der in der letzten Sitzung dokumentierte Zustand mit dem Ist-Zustand verglichen werden (Thoms et al., 2007).

Die VistaProof[®]-Kamera liefert einen Befund des gesamten Gebisses innerhalb weniger Minuten und gleicht durch schnelle Handhabung die etwas höheren Anschaffungskosten aus. Sie ermöglicht die Untersuchung der gesamten Zahnfläche. Durch den an der Kamera angebrachten Platzhalter ist es möglich, reproduzierbare Aufnahmeeinstellungen zu erzielen. Die Möglichkeit der Dokumentation der Ergebnisse ermöglicht des Weiteren ein optimales Kariesmonitoring bei Recall-Terminen (Bürklein, 2009; Eberhart et al., 2007).

In einer in vitro-Studie von Unlu et al. wurde 2010 gezeigt, dass Laserfluoreszenzsysteme im Bezug auf Entdeckung von Restkaries zwar den höchsten Sensitivitätswert aufwies (0,85) im Vergleich zu anderen Detektionsmethoden (Kariesdetektor, elektronische Messungen), jedoch den niedrigsten Spezifitätswert (0,50). Trotzdem erscheint es als eine Bereicherung zu allen derzeit vorhanden Hilfen, um Restkaries zu entdecken (Unlu et al., 2010).

Yazici et al. fanden mit histologischem Nachweis heraus, dass die Systeme der Laserfluoreszenz hinsichtlich Entfernung von Restkaries besser funktionieren als Kariesdetektor (Yazici et al., 2005). Gurbuz et al. befanden die Erfolge der Laserfluoreszenz nach Handexkavation und

chemomechanischer Kariesentfernung nicht als ausreichend. Deshalb halten sie es für angebracht, Restkaries mit einer zusätzlichen Methode, wie z.B. der visuell-taktilen Betrachtung der Kavität, zu beurteilen (Gurbuz et al., 2008). Iwami et al. zeigen in ihrer Studie den Zusammenhang zwischen den Fluoreszenzwerten auf der Zahnhartsubstanzoberfläche und der Entdeckung von Bakterienraten. Doch weisen sie auch darauf hin, dass die Laserfluoreszenz zwar empfehlenswert ist, um Restkaries zu entdecken, jedoch weiterentwickelt werden muss, so dass einer Überexkavation vorgebeugt wird (Iwami et al., 2004).

Das lichtoptische Verfahren der Transillumination FOTI bzw. die Diaphanoskopie sind traditionelle Hilfsmittel der Kariesdiagnostik (Choksi et al., 1994). Der Vorteil hierbei ist die einfache Anwendung und ein geringer Anschaffungspreis. Jedoch ist die Aussagekraft geringer als bei der VistaProof®-Kamera. Es ist somit ein gutes Verfahren zum Kariesscreening, jedoch sollte man mit den erzielten Ergebnissen allein keine Entscheidung zur Therapie fällen, sondern stets ein weiteres Verfahren hinzuziehen (z.B. fluoreszenzoptische Geräte) (Reich, 2000).

Als besonders günstig für die Beurteilung von Läsionen ohne Kavitätenbildung hat sich also der Nachweis mithilfe von Fluoreszenzstrahlung erwiesen. Durch die Bestrahlung mit energiereichem blauem Licht können sowohl Zahnschmelz, als auch Dentin zur Fluoreszenz angeregt werden (Hartles und Leaver, 1953). Kariöse Läsionen zeichnen sich hierbei durch ein schwächeres Fluoreszenzleuchten aus und können so von gesunder Zahnhartsubstanz unterschieden werden. Für den Zahnarzt liegt dank der Eignung des Systems eine schnelle und einfach zu handhabende Kontrollmöglichkeit vor, außerdem erlangt er somit hohe Erfolgsaussichten bei Füllungsreparaturen: In bestimmten Fällen kann er mit dem Resultat der Aufnahme abwägen, ob es nötig ist, eine Füllung komplett zu entfernen, oder ob es womöglich auch ausreichen würde, den Füllungsrand an einer betroffenen Stelle etwas zu entfernen, zu exkavieren und anschließend nur diese eine Stelle zu erneuern oder je nach Größe auch nur neu zu versiegeln. Dies erspart ihm Zeit und dem Patienten zusätzliche Kosten. Zu bedenken sind natürlich die Anschaffungs- und Wartungskosten sowie eventuelle Reparaturkosten, die die Praxis aufbringen muss.

Man kann also folgernd sagen, dass die Anwendung der fluoreszenzoptischen Geräte für den Patienten von Vorteil ist, weil eine zuverlässige Kontrollmöglichkeit ohne strahlenbelastetes und nicht invasives Vorgehen gegeben ist. Durch die farblich-plastische Bildrekonstruktion des Zahnes am Monitor kann die VistaProof®-Kamera im Gegensatz zur klinisch-visuellen Diagnostik dem Patienten im Zuge der Untersuchung sofort vorgeführt werden und so zur

Motivation eingesetzt werden. Das Kariesrisiko des Patienten kann unter Berücksichtigung einiger Faktoren, wie Ernährungsgewohnheiten, Mundhygiene, bestehender Kariesläsionen und Medikation, ermittelt werden und eine Therapie zur Vermeidung neuer Kariesläsionen kann individuell empfohlen werden (Pereira et al., 2009; Terrer et al., 2009). Die VistaProof[®]-Kamera demonstriert eine hohe Reproduzierbarkeit und gute diagnostische Leistung für den Nachweis von Okklusalkaries in verschiedenen Stadien des Krankheitsverlaufs. Anfänger und erfahrene Anwender waren in der Lage, dieses System als unterstützendes Gerät für Kariesdiagnose und Überwachungsfunktionen zu verwenden (Jablonski-Momeni et al., 2011).

Über die VistaProof[®]-Kamera gibt es einige in-vitro Studien (Walsh und Shakibaie, 2007; Eberhart et al., 2007), weitere klinische Studien sollen die in-vivo Tauglichkeit des Gerätes VistaProof[®] noch bestätigen.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Ziel der Studie war es, die Eignung eines fluoreszenzoptischen Systems bezüglich der Entdeckung von Sekundärkaries bei Composit- und Amalgamfüllungen zu prüfen.

Das fluoreszenzoptische System VistaProof® (Dürr) arbeitet mit einer Anregungswellenlänge von 405 nm, die von High Power GaN-LEDs erzeugt wurden. Durch einen RGB-Kamerachip wird das resultierende Fluoreszenzmuster in den Zahnhartgeweben in Farbabstufungen („Rot“- und „Grün“- Fluoreszenz) analysiert und von einer Software (DBSWIN, Dürr) codiert, die das Ausmaß der Gewebeerstörung angibt.

32 extrahierte menschliche gefüllte Zähne wurden nach vorhergehender klinischer Diagnostik gereinigt, exkaviert und mit demselben Restaurationsmaterial, das sich vorher im Zahn befand, wieder neu gefüllt. Bei 14 Zähnen wurden Compositfüllungen neu gelegt, bei 18 Zähnen Amalgamfüllungen. Es wurden klinische Aufnahmen der Zähne angefertigt sowie Fluoreszenzaufnahmen. An Hand der Fluoreszenzaufnahmen der Primärsituation wurden die Messpunkte mit erhöhter Fluoreszenz festgelegt. Diese wurden in jedem weiteren Verfahrensschritt (Ausgangssituation/ Situation nach Politur/ Situation nach Füllungsentfernung/ exkavierte Situation/ neugefüllte Situation) überprüft und bewertet.

Es ließ sich an Hand definierter Messpunkte feststellen, dass beim Vergleich der klinischen Situation mit der Fluoreszenzaufnahme das Füllungsmaterial Composit höhere Übereinstimmungswerte erbrachte als Amalgam. Fluoreszenzmessungen in der Ausgangssituation und nach der Politur (Mann Whitney $p > 0,05$) wiesen keinen signifikanten Unterschied auf. Ebenso lag kein Unterschied vor zwischen der Situation vor und nach der Füllungsentfernung vor (Mann Whitney $p > 0,05$).

Aber sowohl bei den compositgefüllten wie auch bei den amalgamgefüllten Zähnen gab es einen signifikanten Unterschied zwischen der nicht exkavierten und exkavierten Situationen (Composite $p = 0,026$, Amalgam $p = 0,001$). Außerdem gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den Aufnahmen Ausgangssituation und der neugefüllten Situation (Composite $p = 0,041$; Amalgam $p = 0,004$).

Man kann schlussfolgern, dass diese in vitro-Studie zeigt, dass das fluoreszenzbasierte System die Detektion von Sekundärkaries am Rand von Compositfüllungen sowie Amalgamrestorationen ermöglicht. Weitere in vivo-Studien müssen nun prüfen, ob das System dieselben erfolgsversprechenden Ergebnisse unter klinischen Bedingungen zeigt.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- Alfano P, Yao S. Human teeth with and without dental caries studied by visible luminescent spectroscopy. *J Dent Res* 1981; 60: 120-122
- Al-Khateeb S, Exterkate R, Angmar-Mansson B, ten Cate JM. Effect of acid-etching on remineralization of enamel white spot lesions. *Acta Odontol Scand* 2000; 58: 31-36
- Al-Khateeb S, Forsberg CM, de Josselin de Jong E, Angmar-Mansson B. A longitudinal laser fluorescence study of white spot lesions in orthodontic patients. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1998; 113: 595-602
- Alwas-Danowska HM, Plasschaert AJ, Suliborski S, Verdonshot EH. Reliability and validity issues of laser fluorescence measurements in occlusal caries diagnosis. *J Dent* 2002; 30: 129-134
- Banerjee A, Gilmour A, Kidd E, Watson, T. Relationship between *S.mutans* and the auto fluorescence of carious dentin. *Am J Dent* 2004; 17: 233-236
- Benedict H. The fluorescence of teeth as another method of attack on the problem of dental caries. *J Dent Res* 1929; 9: 274-275
- Bolzan de Paula A, Alvares Duarte Bonini Campos J, Baffi Diniz M, Hebling J, Almeida Rodrigues J. In situ and in vitro comparison of laser fluorescence with visual inspection in detecting occlusal caries lesions. *Lasers Med Sci* 2009; 26: 1-5
- Braun A, Kapsalis A, Jepsen S, Krause F. Approximal caries detection with a LED based device in vivo. *J Dent Res* 2008; 87: 142 (Abstr)
- Braun A, Frentzen M, Nolden R. Beeinflussung der Laser-Fluoreszenz-Messung durch Zahnreinigungsmaßnahmen. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999; 54: 195-197
- Buchalla W, Lennon AM, Brune L, Zimmermann O, Gross U, Attin T. Red and Green Fluorescence Emitted by Cultured Bacteria. *Caries Res* 2005; 39: 302-303
- Buonocore, M.G. A simple method of increasing the adhesion of acryl filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 1955; 34: 849

Büning H, Trenkler G. Nichtparametrische statistische Methoden. In: Büning H, Trenkler G., ed. Nichtparametrische statistische Methoden. München: deGruyter, 1998: 185-194

Bürklein S. Kariesdiagnostik in der Zahnheilkunde: Ein Update. J Cont Dent Educ 2009; 3: 296-310

Choksi SK, Brady JM, Dang DH, Rao MS. Detecting approximal dental caries with transillumination: A clinical evaluation. Am J Dent 1994; 125: 1098-1102

Coulthwaite L, Graham DM, Dawson P, Pretty IA, Smith P W, Higham, SM, Verran, J. Porphyrin Fluorescence of Plaque Microorganisms during Quantitative Light induced Fluorescence Analysis. Caries Research 2005; 39: 436-440

de Josselin de Jong E, Hall AF, van der Veen MH. Quantitative light induced fluorescence detection method: a Monte Carlo simulation model. In: Stookey, GK. ed. Early detection of dental caries: Proceedings of the 1st annual Indiana Conference. Indianapolis, Indiana University, 1996: 91-104

de Josselin de Jong E, Sundström F, Westerling H, Tranaeus S, ten Bosch JJ, Angmar- Mansson B. A new method for in vivo quantification of changes in initial enamel caries with laser fluorescence. Caries Res 1995; 29: 2-7

ddesignmedia, 2011: Porphyringerüst. [http://www.ddesignmedia.de/Komplex_Chemie/HTML/GMS/Komplexe %20in %20der %20Natur/KIDN2.htm](http://www.ddesignmedia.de/Komplex_Chemie/HTML/GMS/Komplexe%20in%20der%20Natur/KIDN2.htm) (19.08.2011)

Demtröder W. Laserspektroskopie. In: Demtröder W. ed. Laserspektroskopie: Grundlagen und Techniken. Berlin: Springer Verlag, 2000: 251-263

Dental Dürr, 2010a: VistaProof[®]Praxiskonzept. <http://www.duerrdental.de/produkte/zahnerhaltung/vistaproof-fluoreszenzkamera/vistaproof-praxiskonzept/> (27.05.2010)

Dental Dürr, 2010b: Technische Daten VistaProof[®]. <http://www.duerrdental.de/produkte/zahnerhaltung/vistaproof-fluoreszenzkamera/technische-daten/> (27.05.2010)

Dental Dürr, 2010c: VistaProof[®]imÜberblick. <http://www.duerrdental.de/produkte/zahnerhaltung/vistaproof-fluoreszenzkamera/vistaproof-im-ueberblick/> (27.05.2010)

- Dental Dürr, 2012: Fluoreszenzverfahren. <http://www.duerrdenatl.de/uploads/media/Ehrenberger-Duerr.pdf> (24.12.2012)
- Eberhart J, Frentzen M, Thoms M. New method to detect caries via fluorescence. *ZWR* 2007; 116: 148-154
- Ekstrand KR, Kuzima I, Bjorndal L, Thylstrup A. Relationship between external and histologic features of progressive stages of caries in the occlusal fossa. *Caries Res* 1995; 29: 243-250
- Ekstrand KR, Ricketts DN, Kidd EA. Reproducibility and accuracy of three methods for assessment of demineralization depth of the occlusal surface: an in vitro examination. *Caries Res* 1997; 31: 224-231
- Ekstrand KR, Martignon S, Ricketts DJ, Qvist V. Detection and activity assessment of primary coronal caries lesions: a methodologic study. *Oper Dent* 2007; 32: 225-235
- El-Housseiniy AA, Jamjoum H. Evaluation of visual, explorer and a laser device for detection of early occlusal caries. *J Clin Pediatr Dent* 2001; 26: 41-48
- Falk M, Becker R, Marohn F. In: *Angewandte Statistik*. Springer, 2004: 27-28
- Francescut P, Zimmerli B, Lussi A. Influence of different storage methods on laser fluorescence values: a two-year study. *Caries Res* 2006; 40: 181-185
- Gerthsen C, Vogel H. Physik. In: Gerthsen C, Vogel H. eds. *Gerthsen Physik*. Berlin: Springer Verlag, 1999: 966-981
- Gurbuz T, Yilmaz Y, Sengul F. Performance of laser fluorescence for residual caries detection in primary teeth. *Eur J Dent* 2008; 2: 176-184
- Hafström-Björkman U, Sundström F, de Josselin de Jong E, Oliveby A, Angmar-Månsson B. Comparison of laser fluorescence and longitudinal microradiography for quantitative assessment of in vitro enamel caries. *Caries Res* 1992; 26, 241-247
- Hartles RL, Leaver AG. The fluorescence of teeth under ultraviolet irradiation. *Biochem J* 1953; 54: 632-645

Hellwig E, Klimek J, Attin T. Restaurationen mit plastischen Füllungsmaterialien. In: Hellwig E, Klimek J, Attin T. eds. Einführung in die Zahnheilkunde. München: Elsevier GmbH, 2007: 80-231

Heinrich-Weltzien R, Kühnisch J, Ifland S, Tranaeus S, Angmar- Mansson B, Stösser L. Detection of initial caries lesions on smooth surfaces by quantitative light- induced fluorescence and visual examination: an in vivo comparison. Eur J Oral Sci 2005; 113: 494-498

Hitij T, Fidler A. Effect of dental material fluorescence on DIAGNOdent readings. Acta Odontol Scand 2008; 66: 13-17

Hoerman K, Mancewicz S. Fluorometric demonstration of tryptophan in dentin and bone protein. J Dent Res 1964; 43: 276-280

Ifland S, Kühnisch J, Heinrich-Weltzien R. Die quantitative lichtinduzierte Fluoreszenz (QLF). ZWR 2004; 6: 32-38

International Caries Detection and Assessment System (ICDAS) Coordinating Committee, 2005: Criteria Manual- International Caries Detection and Assessment System (ICDAS II). <http://www.icdasfoundation.dk> (01.06.2010)

Ismail AI, Sohn W, Tellez M, Amaya A, Sen A, Hasson, H, Pitts NB. The international Caries Detection and Assessment System (ICDAS): an integrated system for measuring dental caries. Community Dent Oral Epidemiol 2007; 35: 170-178

Iwami Y, Shimizu A, Narimatsu M, Hayashi M, Takeshige F, Ebisu S. Relationship between bacterial infection and evaluation using a laser fluorescence device, DIAGNOdent. Eur J Oral Sci 2004; 112: 419-423

Jablonski-Momeni A, Schipper HM, Rosen SM, Heinzl-Gutenbrunner M, Roggendorf MJ, Stoll R, Stachniss V, Pieper K. Performance of a fluorescence camera for detection of occlusal caries in vitro. J Art Odont 2011; 99: 55-61

KaVo, 2010a: DIAGNOdent. <http://www.kavo.com/Default.aspx?navid=40&oid=002&lid=De> (24.01.2011)

- KaVo, 2010b: DIAGNOdentpen..<http://www.kavo.com/Default.aspx?navid=550100&oid=002&lid=De> (24.01.2011)
- Khalife MA, Boynton JR, Dennison JB, Yaman P, Hamilton JC. In vivo evaluation of Diagnodent for the quantification of occlusal dental caries. *Oper Dent* 2009; 34: 136-41
- Kidd EA. How 'clean' must a cavity be before restoration? *Caries Res* 2004; 38: 305-313
- König K, Hibst R, Meyer H, Flemming G, Schneckenburger H. Laserinduced autofluorescence of caries regions of human teeth and caries involved bacteria. *Dental Applications of Lasers* 1993; 2080-2081
- König K, Schneckenburger H, Hibst R. Time-gated in vivo autofluorescence imaging of dental caries. *Cell mol Biol* 1999; 45: 233-239
- König K, Teschke M, Sigusch B, Glockmann E, Eick S, Pfister W. Red light kills bacteria via photodynamic action. *Cell mol Biol* 2000; 46: 1297-1303
- Kühnisch J, Berger S, Goddon I, Senkel H, Pitts N, Heinrich-Weltzien R. Occlusal caries detection in permanent molars according to WHO basic methods, ICDAS II and laser fluorescence measurements. *Community Dent Oral Epidemiol* 2008; 36:475-84
- Kühnisch J, Tabatabaie M, Viergutz G, Zraiki S, Hetzer G, Stösser L, Heinrich-Weltzien R. Vergleichende in vitro-Untersuchungen von zwei Verfahren zur elektrischen Widerstandsmessung an nicht kavitierten Okklusalfächchen. *Dtsch Zahnärztl. Z* 2006; 61: 131-136
- Kühnisch J, Iffland S, Tranaeus S, Hickel R, Stösser L, Heinrich-Weltzien R. In vivo detection of non-cavitated caries lesions on occlusal surfaces by visual inspection and quantitative light-induced fluorescence. *Acta Odontol Scand* 2007; 65: 183-188
- Krause F. Fluoreszenzbasierte optische Methoden zur okklusalen Kariesdiagnostik. *Laser Zahnheilkd* 2008 ; 8: 13-19
- Krause F, Jepsen S, Braun A. Comparison of two laser fluorescence devices for the detection of occlusal caries in vivo. *Eur J Oral Sci* 2007; 115: 252-256
- Laurila U, Mancewicz S. Isolation and partial fractioning of fluorescent material from human teeth. *J Dent Res* 1960; 39: 714-717

- Lichtscheidl IK, 2009: Lichtmikroskopie – Theorie und Anwendung. Cell Imaging und Ultrastrukturforschung.http://www.univie.ac.at/mikroskopie/3_fluoreszenz/fluoreszenz.htm
(24.01.2011)
- Lussi A, Hotz P. Die Approximal- und Glattflächenkaries. Schweiz Monatsschr Zahnmed 1995; 105: 1439-1443
- Lussi A, Firestone A, Schoenberg V, Hotz O, Stich H. In vivo diagnosis of fissure caries using a new electrical resistance monitor. Caries Res 1995; 29: 81-87
- Lussi A, Longbottom C, Braig F, Reich E. Clinical performance of the Laser fluorescence system. DIAGNOdent for detecting of occlusal caries. Caries Res 1999; 33: 299 (Abstr)
- Lussi A, Megert B, Longbottom C, Reich E, Francescut P. Clinical performance of a laser fluorescence device for detection of occlusal caries lesions. Eur J Oral Sci 2001; 109: 14-19
- Lussi A, Reich E. The influence of toothpastes and prophylaxis pastes on fluorescence measurements for caries detection in vitro. Eur J Oral Sci 2005; 113: 141-144
- Lussi A, Schroeder A. 1998: Methoden zur Diagnose und Verlaufdiagnose der Karies. http://www.sso.ch/doc/doc_download.cfm?uuid=882E439FD9D9424C431EE21384FE70E7
(24.01.2011)
- Mejare I, Gröndahl H G, Carlstedt K, Grever A C, Ottosson E. Accuracy at radiography and probing for the diagnoses of proximal caries. Scand J Dent Res 1985; 93: 178-184
- Mileman PA, Mulder H, Van der Weele LT. Factors influencing the likelihood of successful decisions to treat dentin caries from bitewing radiographs. Community Dent Oral Epidemiol 1992; 20: 175-178
- Neves AA, Coutinho E, De Munck J, Lambrechts P, Van Meerbeek B. Does DIAGNOdent provide a reliable caries-removal endpoint? J Dent 2011 (Abstr)
- Pasler, F A. Röntgendiagnostik. In: Pasler FA. ed. Zahnärztliche Radiologie. Stuttgart; New York: Thieme, 1981: 248-253

- Paula AB, Campos JA, Diniz MB, Hebling J, Rodrigues JA. In situ and in vitro comparison of laser fluorescence with visual inspection in detecting occlusal caries lesions. *Lasers Med Sci* 2009; 26: 1-5
- Peers A, Hill FJ, Mitropoulos CM, Holloway PJ. Validity and reproducibility of clinical examination, fibre-optic transillumination, and bite-wing radiology for the diagnosis of small approximal carious lesions: an in vitro study. *Caries Res* 1993; 27: 307-311
- Pereira AC, Eggertsson H, Martinez-Mier EA, Mialhe FL, Eckert GJ, Zero DT. Validity of caries detection on occlusal surfaces and treatment decisions based on results from multiple caries-detection methods. *Eur J Oral Sci* 2009; 117: 51-57
- Pieper K, Schurade B. Die Untersuchung mit der Kaltlicht-Diagnosesonde. Eine Alternative zum Flügelbiss-Status. *Dtsch Zahnärztl Z* 1987; 42: 900-908
- Pine CM. Fibre-optic transillumination (FOTI) in caries diagnosis. George K, 1996; Stockey, Indianapolis, USA: 51-60
- Pinelli C, Campos Serra M, de Castro Monteiro Loffredo L. Validity and reproducibility of a laser fluorescence system for detecting the activity of white- spot lesions on free smooth surfaces in vivo. *Caries Res* 2002; 36: 19-24
- Pitts NB. Clinical diagnosis of dental caries: a European perspective. *J Dent Educ* 2001; 65: 972-978
- Reich E. 2000: Neue Instrumente zur Kariesdiagnose. http://www.zm-online.de/m5a.htm?/zm/23_00/pages2/titel3.htm (03.06.2010)
- Ricketts DNJ, Kidd EAM, Beighton D. Operative and microbiological validation of visual, radiographic and electronic diagnosis of occlusal caries in non-cavitated teeth judged to be in need of operative care. *Br Dent J* 1995; 179: 214-220
- Rock WP, Kidd EA. The electronic detection of demineralization in occlusal fissures. *Br Dent J* 1988; 164: 243-247
- Rodrigues JA, Hug I, Diniz MB, Lussi A. Performance of fluorescence methods, radiographic examination and ICDAS II on occlusal surfaces in vitro. *Caries Res* 2008; 42: 297-304

Rodrigues JA, Neuhaus KW, Hug I, Stich H, Seemann R, Lussi A. In vitro detection of secondary caries associated with composite restorations on approximal surfaces using laser fluorescence. *Oper Dent* 2010; 35: 564-571

Rolfen S. Korrelation des International Caries Detection and Assessment System (ICADS-II) zur okklusalen Kariesdiagnose mit Laserfluoreszenzmessungen- eine in vitro-Studie. <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2009/0778/pdf/dsr.pdf> (12.03.2011)

Rosen SM, 2010:Korrelation des visuellen Diagnosesystems ICADAS-II für die okklusale Karies mit drei verschiedenen Verfahren der Fluoreszenzmessung – eine In-vitro-Studie. <http://archiv.ub.uni-marburg.de/diss/z2010/0561/pdf/dsmr.pdf> (24.01.2011)

Ross G. Caries diagnosis with the DIAGNOdent[®] laser: a user's product evaluation. *Ont Dent* 1999; 76: 21-24

Seifert R. Moderne Methoden der Fluoreszenzspektroskopie. Center of advanced european studies and research 2009. <http://www.caesar.de/fluoreszenz.html> (04.06.2011)

Sheehy EC, Brailsford SR, Kidd EA, Beighton D, Zoitopoulos L. Comparison between visual examination and laser fluorescence system for in vivo diagnosis of occlusal caries. *Caries Res* 2001; 35: 421-426

Shi XQ, Tranaeus S, Angmar-Mansson B. Validation of DIAGNOdent for quantification of smooth-surface caries: an in vitro study. *Acta Odontol Scand* 2001; 59: 74-78

Shivakumar KM, Prasad S, Chandu GN. International Caries Detection and Assessment System: A new paradigm in detection of dental caries. *J Conserv Dent*. 2009; 12: 10–16

Spoerlein F. 2010: Klinische Untersuchung und Randspaltanalyse eines Hybridkomposites und eines Ormoceres in Seitenzahnkavitäten. Ergebnisse nach zwei Jahren. http://edoc.ub.uni-muenchen.de/11844/1/Spoerlein_Frank.pdf (24.01.2011)

Stephen KW, Russel JI, Creanor SL, Burchell CK. Comparison of fibre optic transillumination with clinical and radiographic caries diagnosis. *Community Dent Oral Epidemiol* 1987; 15: 90-94

Stookey GK, Jackson RD, Zandona AG, Analoui M. Dental caries diagnosis. *Dent Clin North Am* 1999; 43: 665-677

Stübel H. Die Fluoreszenz tierischer Gewebe im ultra-violetten Licht. *Pfluegers Arch Ges Physiol* 1911; 142: 1-14

Terrer E, Koubi S, Dionne A, Weisrock G, Sarraquigne C, Mazuir A, Tassery HJ. A new concept in restorative dentistry: light-induced fluorescence evaluator for diagnosis and treatment. Part 1: Diagnosis and treatment of initial occlusal caries. *Contemp Dent Pract* 2009; 10: 86-94

Thoms M, Eberhart J, Frentzen M. Caries detection using a new fluorescence camera system. *Caries Res* 2007; 41: 268-334

Tranaeus S, Al-Katheeb S, Björkman S, Twetman S, Angmar-Månsson B. Comparison of fluoride varnish treatment and professional tooth-cleaning on caries active children using the quantitative light-induced fluorescence method- a six-month pilot study. *Caries Res* 1999; 33: 304 (Abstr)

Tranaeus S, Al-Katheeb S, Björkman S, Twetman S, Angmar-Månsson B. Application of quantitative light-induced fluorescence to monitor incipient lesions in caries-active children. A comparative study of remineralisation by fluoride varnish and professional cleaning. *Eur J Oral Sci* 2001; 109: 1-75

Tranaeus S, Shi XQ, Lindgren LE, Trollsas K, Angmar-Månsson B. In vivo repeatability and reproducibility of the quantitative light-induced fluorescence method. *Caries Res* 2002; 36: 3-9

Tukey JW. Exploratory data analysis. In: Tukey JW. ed. *Exploratory data analysis*. Addison-Wesley, 1977: 392-424

Universität Wien, 2011: Stokes-Shift. http://www.univie.ac.at/mikroskopie/3_fluoreszenz/definition/2_stoke.htm (19.08.2011)

Unlu N, Ermis RB, Sener S, Kucukyilmaz E, Cetin AR. An in vitro comparison of different diagnostic methods in detection of residual dentinal caries. *J Dent* 2010; Article ID 864935: 1-8

Van der Veen MH, de Josselin de Jong E. Application of quantitative light-induced fluorescence for assessing early caries lesions. *Monogr Oral Sci* 2000; 17: 144-162

Verdonschot EH, Bronkhorst EM, Burgersdijk RCW, König KG, Schaeken MJM, Truin GJ. Performance of some diagnostic systems in examinations for small occlusal carious lesions. *Caries Res* 1992; 26: 59-64

Walsh LJ, Shakibaie F. Die UV-induzierte Fluoreszenz wirft ein neues Licht auf dentale Biofilme und Karies. *Australasian Dental Practice* 2007; 18: 56-60

Walsh LJ, Shakibaie F. UV-induzierte Fluoreszenz wirft ein neues Licht auf dentale Biofilme und Karies. *ZWR* 2008; 117: 244-248

Wie J. Untersuchung von Verfahren zur Auswertung der zweidimensionalen Fluoreszenzspektren. In: Wie J. ed. *Untersuchung zur Auswertung der zweidimensionalen Fluoreszenzspektren*. Berlin: Verlag für Wissenschaft und Forschung, 1998: 98-105

Wenzel A, Fejerskov O, Kidd E, Joyston-Bechal S, Groeneveld A. Depth of occlusal Caries assessed clinically, by conventional film radiographs, and by digitized, processed radiographs. *Caries Res* 1990; 24: 327-333

Yassin OM. In vitro studies of the effect of a dental explorer on the formation of an artificial carious lesion. *J Dent Child* 1995; 62: 111-117

Yazici AR, Baseren M, Gokalp S. The in vitro performance of laser fluorescence and caries-detector dye for detecting residual carious dentin during tooth preparation. *Quintessence Int* 2005; 36: 417-422

7. ANHANG

7.1 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABB. 1: STOKES-SHIFT; BESCHREIBT, DASS DAS EMITTIERTE LICHT IMMER LANGWELLIGER UND ENERGIEÄRMER IST, ALS DAS ABSORBIERTE LICHT.	16
ABB. 2: PORPHYRINGERÜST; STOFFWECHSELPRODUKT VON BAKTERIEN, WELCHES SICH IM DEMINERALISIERTEN BEREICHEN VON ZÄHNEN ANSIEDELT.	18
ABB. 3: BEISPIEL EINER PROBEAUFNAHME (IN DIESEM FALL MIT PROXIT [®]), KEINE FLUORESZENZERSCHEINUNG NACHWEISBAR.....	22
ABB. 4: VERSUCHSAUFBAU, DIE ZAHNPROBE WIRD IM RECHTEN WINKEL ZUR OBERFLÄCHE BESTRAHLT UND ANALYSIERT.	23
ABB. 5: VISTA [®] PROOF [®] -KAMERAKOPF.....	24
ABB. 6: POLITUR EINES ZAHNES MIT PROXIT [®] UND ZIEGENHAARBÜRSTE	26
ABB. 7: VERSUCHSAUFBAU MIT DARSTELLUNG EINER AUFNAHME AUF DEM BILDSCHIRM DES LAPTOPS	27
ABB. 8: ERGEBNISREIHE: BEISPIELAUFNAHMEN VON ZAHN M22 VON DEN VERSCHIEDENEN VERSUCHSABSCHNITTEN	29
ABB. 9: BOXPLOTDIAGRAMM DER FLUORESZENZMESSUNGEN AN COMPOSITGEFÜLLTEN ZÄHNEN	33
ABB. 10: BOXPLOTDIAGRAMM DER FLUORESZENZMESSUNGEN AN AMALGAMGEFÜLLTEN ZÄHNEN	34

7.2 TABELLENVERZEICHNIS

TAB. 1: ICDAS II-CODES FÜR FISSUREN UND GRÜBCHEN.....	10
TAB. 2: BEWERTUNGSSCHLÜSSEL FÜR DIE ANATOMISCHE FORM AM ÜBERGANG ZWISCHEN RESTAURATION UND ZAHN, MODIFIZIERT DURCH DEN UNITED STATES PUBLIC HEALTH SERVICE.....	133
TAB. 3: BEWERTUNGSSCHLÜSSEL FÜR UNTERSCHIEDLICH FORTGESCHRITTENE STADIEN VON KARIES: CARIES-ASSOCIATED WITH RESTORATIONS AND SEALANTS DETECTION CRITERIA (CARS)	13
TAB. 4: TECHNISCHE DATEN ZUM VISTA [®] PROOF [®] -KAMERASYSTEM	25
TAB. 5: ÜBEREINSTIMMUNG ZWISCHEN DER KLINISCHEN SITUATION UND DER FLUORESZENZAUFNAHME FÜR JEDEN VERFAHRENSSCHRITT DER COMPOSITGEFÜLLTEN ZÄHNE	31
TAB. 6: ÜBEREINSTIMMUNG ZWISCHEN DER KLINISCHEN SITUATION UND DER FLUORESZENZAUFNAHME FÜR JEDEN VERFAHRENSSCHRITT DER AMALGAMGEFÜLLTEN ZÄHNE	32
TAB. 7: GEGENÜBERSTELLUNG DER ÜBEREINSTIMMUNGEN ZWISCHEN DEN MESSUNGEN DER KLINISCHEN SITUATIONEN UND DER FLUORESZENZMESSUNGEN.....	32

7.3 ZUSAMMENSTELLUNG DER AUSWERTUNGSTABELLEN

Tab. 8: Erläuterungen zu den Werten der Tabellen: Die unterschiedlichen durch das DBSWIN-Programm generierten „Fehlfarben“, die auf den Fluoreszenzbildern zu erkennen sind, stehen für die jeweilige Intensität der Fluoreszenz. Diese steigt farblich an von blau über rot und orange bis gelb. Dies ist die höchste Intensität. Hier wurden noch folgende Zwischenabstufungen eingefügt: blaurot, rotorange, orangegeb. Die Farben wurden mit Ziffern 0-4 codiert.

Farbcodierung

Farbe	Code
keine	0
blau	1
blaurot	1,5
rot	2
rotorange	2,5
orange	3
orangegeb	3,5
gelb	4

Tab. 9: Vergleich für Amalgam-gefüllte Zähne zwischen der Ausgangssituation und der Situation nach Füllungsentfernung. Mxy steht jeweils für den entsprechenden Zahn. Für jeden Zahn wurde in beiden Situationen (Ausgangssituation und Situation nach Füllungsentfernung) individuell ein Messpunkt bestimmt, an dem die größte Kariesaktivität vermutet wurde. Für diesen Punkt wurde dann ein Zahlencode (1=vorhandene/vermutete Karies, 0=keine Karies) bestimmt und erfasst.

Vergleich Ausgangssituation- Situation nach Füllungsentfernung für Amalgam-gefüllte Zähne

Zahn	Ausgangssituation Klinik	Füllung entfernt
M38	1	1
M37	0	1
M35	1	1
M33	1	1
M32	0	0
M31	1	1
M30	1	1
M29	1	0
M27	1	1
M23	0	0
M22	1	1
M21	1	1
M19	1	1
M18	1	1
M17	1	1
M16	1	1
M15	1	1
M13	1	1

Tab. 10: Amalgam: Messpunkte am Randbereich; Die Bezeichnung Mxy steht jeweils für den entsprechenden Zahn. Für jeden Zahn wurde individuell in jeder Situation (Ausgang, Poliert, Füllung entfernt, Exkaviert und Neu) für jeden Messpunkt ein Zahlenkode bestimmt und erfasst. Dann wurde jeweils der Median gebildet.

Messpunkte am Randbereich für Amalgam-gefüllte Zähne

M38	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	2	1,5	1	0	0
Messpunkt 2:	2	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 3:	2	0	1	0	0
Messpunkt 4:	2,5	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 5:	2,5	1,5	1,5	0	0
Median	2	1	1	0	0
M37	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	1	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	1,5
Messpunkt 3:	0	0	0	0	2,5
Messpunkt 4:	0	0	0	0	3,5
Median	0	0	1	0	2,5
M35	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	1	0	0
Messpunkt 2:	0	0	1,5	0	0
Median	0	0	1,25	0	0
M33	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M32	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M31	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M30	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1,5	1,5	1	0	0
Messpunkt 2:	1	1,5	1	0	0
Median	1,25	1,5	1	0	0
M29	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	2	2,5	1,5	0	0
Median	2	2,5	1,5	0	0

M27	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	3,5	1,5	0	0
Messpunkt 2:	0	1	0	0	0
Messpunkt 3:	1,5	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 4:	2,5	2,5	2	0	0
Median	0,75	2	1,5	0	0
M23	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	1	1	0	0
Messpunkt 2:	1,5	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 3:	0	0	1,5	0	0
Median	0	1	1,5	0	0
M22	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1	1	1	0	1
Messpunkt 2:	1	1	0	0	0
Median	1	1	0,5	0	0,5
M21	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1,5	0	1,5	0	0
Messpunkt 2:	2	1,5	1,5	0	0
Median	1,75	0,75	1,5	0	0
M19	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M18	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1,5	1,5	1,5	0	0
Median	1,5	1,5	1,5	0	0
M17	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	2	2	0	0
Median	0	2	2	0	0
M16	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	2	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 2:	1,5	2	1,5	0	0
Median	1,75	1,75	1,5	0	0
M15	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M13	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	1,5	0	0
Messpunkt 2:	0	0	1	0	0
Messpunkt 3:	0	0	1,5	0	0
Messpunkt 4:	0	0	1	0	0
Median	0	0	1,25	0	0

Tab. 11: Amalgam: Messpunkte am Randbereich (Median); In dieser Tabelle sind die unter Tab. 10 erfassten Mediane pro Zahn, die die Messpunkte am Randbereich betreffen zusammengefasst für die jeweiligen Arbeitsschritte (Ausgangssituation, Situation nach Politur, Zustand nach Füllungsentfernung, Zustand nach Exkavation, Neugefüllte Situation).

Median der Messpunkte am Randbereich für Amalgam-gefüllte Zähne

Zahn	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
M38	2	1,5	1,25	0	0
M37	0	0	1	0	2,5
M35	0	0	1,25	0	0
M33	0	0	0	0	0
M32	0	0	0	0	0
M31	0	0	0	0	0
M30	1,25	1,5	1	0	0
M29	2	2,5	1,5	0	0
M27	0,75	2	1,5	0	0
M23	0	1	1,5	0	0
M22	1	1	0,5	0	0,5
M21	1,75	0,75	1,5	0	0
M19	0	0	0	0	0
M18	1,5	1,5	1,5	0	0
M17	0	2	2	0	0
M16	1,75	1,75	1,5	0	0
M15	0	0	0	0	0
M13	0	0	1,25	0	0

Tab. 12: Amalgam: Messpunkte auf der Okklusalfäche; Die Bezeichnung Mxy steht jeweils für den entsprechenden Zahn. Für jeden Zahn wurde individuell in der Ausgangssituation und in der Situation nach Politur für jeden Messpunkt ein Zahlenkode bestimmt und erfasst. Dann wurde jeweils der Median gebildet.

Messpunkte auf der Okklusalfäche für Amalgam-gefüllte Zähne

M38	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	2,5	2
Messpunkt 2:	2	1
Messpunkt 3:	2	1,5
Median	2	1,5
M37	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	3,5	0
Messpunkt 2:	0	2,5
Messpunkt 3:	0	2,5
Median	0	2,5
M35	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	2	3,5
Messpunkt 2:	2	3,5
Messpunkt 3:	0	2,5
Median	2	3,5
M33	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	2
Messpunkt 2:	0	0
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	0
M32	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	3,5	3,5
Messpunkt 2:	0	3,5
Messpunkt 3:	0	3
Median	0	3,5
M31	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	2,5
Messpunkt 2:	2	0
Messpunkt 3:	2,5	2,5
Median	2	2,5
M30	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1	1
Messpunkt 2:	4	2
Messpunkt 3:	1	1,5
Median	1	1,5

M29	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	2	3,5
Messpunkt 2:	0	3,5
Messpunkt 3:	0	3,5
Median	0	3,5
M27	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	3,5
Messpunkt 2:	0	1
Messpunkt 3:	0	4
Median	0	3,5
M23	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	3
Messpunkt 2:	0	3,5
Messpunkt 3:	0	3,5
Median	0	3,5
M22	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	3,5	3,5
Messpunkt 2:	3,5	4
Messpunkt 3:	1	1
Median	3,5	3,5
M21	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	2
Messpunkt 2:	0	0
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	0
M19	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	3,5	3,5
Messpunkt 2:	0	3,5
Messpunkt 3:	0	3,5
Median	0	3,5
M18	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	3,5
Messpunkt 2:	0	3,5
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	3,5
M17	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	4
Messpunkt 2:	0	2,5
Messpunkt 3:	0	2,5
Median	0	2,5

M16	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	2,5	2,5
Messpunkt 2:	3,5	0
Messpunkt 3:	3,5	0
Median	3,5	0
M15	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1,5	0
Messpunkt 2:	0	3,5
Messpunkt 3:	0	3,5
Median	0	3,5
M13	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	2	2
Messpunkt 2:	0	2
Messpunkt 3:	0	2
Median	0	2

Tab. 13: Amalgam: Messpunkte auf der Fläche (Median); In dieser Tabelle sind die unter Tab. 12 erfassten Medianwerte, die die Messpunkte am Randbereich betreffen zusammengefasst.

Median der Messpunkte auf der Okklusalfäche für Amalgam-gefüllte Zähne

Zahn	Ausgang	Poliert
M38	2	1,5
M37	0	2,5
M35	2	3,5
M33	0	0
M32	0	3,5
M31	2	2,5
M30	1	1,5
M29	0	3,5
M27	0	3,5
M23	0	3,5
M22	3,5	3,5
M21	0	0
M19	0	3,5
M18	0	3,5
M17	0	2,5
M16	3,5	0
M15	0	3,5
M13	0	2

Tab. 14: Amalgamgefüllte Zähne: Fluoreszenz auf der Okklusalfäche ja oder nein?: Hier wurde für den jeweiligen Zahn Mxy beurteilt, ob in der Ausgangssituation, der Situation nach Politur und bei der neuen Füllung eine Fluoreszenz auftritt oder nicht. Der Wert 1 bedeutet, es liegt eine Fluoreszenz vor, der Wert 2 bedeutet, es liegt keine Fluoreszenz vor.

Beurteilung der Fluoreszenz auf der Okklusalfäche für Amalgam-gefüllte Zähne

M38	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M37	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M35	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M33	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	1	1
M32	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M31	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M30	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M29	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M27	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	1	1
M23	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M22	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M21	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	1	1
M19	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M18	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	1	1
M17	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	1	1
M16	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1
M15	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	1	1
M13	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	1

Tab. 15: Hier wurde für jeden Verfahrensschritt bei jedem Amalgam-gefüllten Zahn Mxy beurteilt, ob die klinische Bewertung an einem bestimmten Referenzpunkt (dieser wurde in der klinischen Ausgangssituation nach dem Kriterium der Stelle, die am meisten kariös erschien, festgelegt und dann für alle weiteren Verfahrensschritte beibehalten) mit derselben Stelle im Fluoreszenzbild übereinstimmt. Der Wert 1 bedeutet, dass eine Übereinstimmung vorliegt, der Wert 0 bedeutet, dass keine Übereinstimmung vorliegt.

Beurteilung der Konstanz der klinischen Bewertung für Amalgam-gefüllte Zähne

Zahn	Ausgangssituation	Poliert	Füllung entfernt	Exkaviert	Neugefüllt
M38	1	1	1	1	1
M37	1	1	0	1	1
M35	1	1	1	1	1
M33	0	0	1	1	1
M32	1	0	1	1	1
M31	0	0	1	1	1
M30	1	1	1	1	1
M29	1	0	1	1	1
M27	1	1	1	1	1
M23	1	1	1	1	1
M22	0	0	0	1	0
M21	1	1	1	1	1
M19	0	1	1	1	1
M18	1	1	1	1	1
M17	1	0	1	1	1
M16	1	1	1	1	1
M15	0	0	1	1	1
M13	0	1	1	1	1

Tab. 16: *Wie verändert sich der Fluoreszenzwert bei den amalgamgefüllten Zähnen?: Hier wurde jeweils für den Zahn Mxy verglichen, ob in der Ausgangssituation oder in der Situation nach Politur mehr Fluoreszenz angezeigt wird, bzw. ob die Fluoreszenz in den beiden Situationen gleich ist. Der Wert 1 bedeutet reduzierte Fluoreszenz, der Wert 2 bedeutet erhöhte Fluoreszenz, der Wert 3 bedeutet gleichbleibende Fluoreszenz.*

Beurteilung der Fluoreszenzveränderung für Amalgam-gefüllte Zähne

M38	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M37	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M35	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M33	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M32	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M31	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M30	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M29	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M27	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M23	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M22	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M21	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M19	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M18	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M17	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M16	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M15	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2

M13	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2

Tab. 17: Vergleich für compositgefüllte Zähne zwischen der Ausgangssituation und der Situation nach Füllungsentfernung. Mxy steht jeweils für den entsprechenden Zahn. Für jeden Zahn wurde in beiden Situationen (Ausgangssituation und Situation nach Füllungsentfernung) individuell ein Messpunkt bestimmt, an dem die größte Kariesaktivität vermutet wurde. Für diesen Punkt wurde dann ein Zahlencode (1=vorhandene/vermutete Karies, 0=keine Karies) bestimmt und erfasst.

Vergleich Ausgangssituation- Situation nach Füllungsentfernung für Composit- gefüllte Zähne

Zahn	Ausgangssituation Klinik	Füllung entfernt
M19	1	1
M17	1	0
M20	0	1
M21	1	0
M22	1	1
M25	1	1
M28	1	1
M32	1	1
M36	1	1
M37	1	1
M38	0	0
M39	0	0
M41	1	1
M42	1	1

Tab. 18: *Composit: Messpunkte am Randbereich; Die Bezeichnung Mxy steht jeweils für den entsprechenden Zahn. Für jeden Zahn wurde individuell in jeder Situation (Ausgang, Poliert, Füllung entfernt, Exkaviert und Neu) für jeden Messpunkt ein Zahlenkode bestimmt und erfasst. Dann wurde jeweils der Median gebildet.*

Messpunkte am Randbereich für Composit-gefüllte Zähne

M19	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1,5	1	1	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	1,5	1	1	0	0
M17	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M20	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	1,5	1,5	0	0
M21	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M22	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1	1	1	0	0
Messpunkt 2:	1,5	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	1,25	1,25	1,25	0	0

M25	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M28	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1	1	1,5	0	0
Messpunkt 2:	1,5	1,5	2	0	0
Messpunkt 3:	1	1	1	0	0
Messpunkt 4:	1	1	0	0	0
Messpunkt 5:	1,5	1,5	0	0	0
Median	1	1	1	0	0
M32	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1,5	0	1,5	0	0
Messpunkt 2:	1,5	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 3:	1,5	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	1,5	1,5	1,5	0	0
M36	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M37	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	1	0	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	1	0	0	0
M38	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0

M39	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M41	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	0	0	0	0	0
Messpunkt 2:	0	0	0	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	0	0	0	0	0
M42	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
Messpunkt 1:	1	1,5	1,5	0	0
Messpunkt 2:	1	1	1	0	0
Messpunkt 3:	0	0	0	0	0
Messpunkt 4:	0	0	0	0	0
Messpunkt 5:	0	0	0	0	0
Median	1	1,25	1,25	0	0

Tab. 19: *Composit: Messpunkte am Randbereich (Median); In dieser Tabelle sind die unter Tab. 18 erfassten Medianwerte, die die Messpunkte am Randbereich betreffen zusammengefasst.*

Median der Messpunkte am Randbereich für Composit-gefüllte Zähne

Zahn	Ausgang	Poliert	Füllung entf	Exkaviert	Neu
M19	1,5	1	1	0	0
M17	0	0	0	0	0
M20	0	1,5	1,5	0	0
M21	0	0	0	0	0
M22	1,25	1,25	1,25	0	0
M25	0	0	0	0	0
M28	1	1	1	0	0
M32	1,5	1,5	1,5	0	0
M36	0	0	0	0	0
M37	0	1	0	0	0
M38	0	0	0	0	0
M39	0	0	0	0	0
M41	0	0	0	0	0
M42	1	1,25	1,25	0	0

Tab. 20: *Composit: Messpunkte auf der Okklusalfläche; Die Bezeichnung Mxy steht jeweils für den entsprechenden Zahn. Für jeden Zahn wurde individuell in der Ausgangssituation und in der Situation nach Politur für jeden Messpunkt ein Zahlenkode bestimmt und erfasst. Dann wurde jeweils der Median gebildet.*

Messpunkte auf der Okklusalfläche für Composit-gefüllte Zähne

M19	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1	1
Messpunkt 2:	1	1
Messpunkt 3:	1,5	1,5
Median	1	1
M17	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1	1
Messpunkt 2:	1	1
Messpunkt 3:	1,5	1
Median	1	1

M20	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	1,5
Messpunkt 2:	0	0
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	0
M21	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	0
Messpunkt 2:	0	0
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	0
M22	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1,5	1,5
Messpunkt 2:	1	1
Messpunkt 3:	1,5	1
Median	1,5	1
M25	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1,5	2
Messpunkt 2:	0	2
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	2
M28	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1	1
Messpunkt 2:	1,5	1,5
Messpunkt 3:	1,5	1,5
Median	1,5	1,5
M32	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1,5	0
Messpunkt 2:	1	1
Messpunkt 3:	1,5	1
Median	1,5	1
M36	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	0
Messpunkt 2:	0	0
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	0
M37	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	1
Messpunkt 2:	0	1
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	1

M38	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1,5	0
Messpunkt 2:	0	0
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	0
M39	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	0	0
Messpunkt 2:	0	0
Messpunkt 3:	0	0
Median	0	0
M41	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1,5	1,5
Messpunkt 2:	1	1
Messpunkt 3:	0	0
Median	1	1
M42	Ausgang	Poliert
Messpunkt 1:	1	1,5
Messpunkt 2:	1	1
Messpunkt 3:	0	1
Median	1	1

Tab. 21: *Composit: Messpunkte auf der Fläche (Median); In dieser Tabelle sind die unter Tab. 20 erfassten Medianwerte, die die Messpunkte am Randbereich betreffen zusammengefasst.*

Median der Messpunkte auf der Okklusalfäche für Composit-gefüllte Zähne

Zahn	Ausgang	Poliert
M19	1	1
M17	1	1
M20	0	0
M21	0	0
M22	1,5	1
M25	0	2
M28	1,5	1,5
M32	1,5	1
M36	0	0
M37	0	1
M38	0	0
M39	0	0
M41	1	1
M42	1	1

Tab. 22: *Compositgefüllte Zähne: Fluoreszenz auf der Okklusalfäche ja oder nein?: Hier wurde für den jeweiligen Zahn Mxy beurteilt, ob in der Ausgangssituation, der Situation nach Politur und bei der neuen Füllung eine Fluoreszenz auftritt oder nicht. Der Wert 1 bedeutet, es liegt eine Fluoreszenz vor, der Wert 2 bedeutet, es liegt keine Fluoreszenz vor.*

Beurteilung der Fluoreszenz auf der Okklusalfäche für Composit-gefüllte Zähne

M19	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	2
M17	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	2
M20	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	1	2
M21	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	2	2
M22	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	2
M25	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	2
M28	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	2

M32	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	2
M36	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	2
M37	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	1	2
M38	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	2	2
M39	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	2	2	2
M41	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	2	2
M42	Ausgangssit.	Poliert	Neue Fllg.
Fluoreszenz	1	1	2

Tab. 23: Hier wurde für jeden Verfahrensschritt bei jedem compositgefüllten Zahn Mxy beurteilt, ob die klinische Bewertung an einem bestimmten Referenzpunkt (dieser wurde in der klinischen Ausgangssituation nach dem Kriterium der Stelle, die am meisten kariös erschien, festgelegt und dann für alle weiteren Verfahrensschritte beibehalten) mit derselben Stelle im Fluoreszenzbild übereinstimmt. Der Wert 1 bedeutet, dass eine Übereinstimmung vorliegt, der Wert 0 bedeutet, dass keine Übereinstimmung vorliegt.

Beurteilung der Konstanz der klinischen Bewertung für Composit-gefüllte Zähne

Zahn	Ausgangssituation	Poliert	Füllung entfernt	Exkaviert	Neugefüllt
M19	1	1	1	1	1
M17	1	1	1	1	1
M20	1	0	0	1	1
M21	1	0	1	1	1
M22	1	1	1	1	1
M25	1	1	0	1	1
M28	1	1	1	1	1
M32	1	1	1	1	1
M36	1	1	1	1	1
M37	1	0	1	1	1
M38	0	1	1	1	1
M39	1	1	1	1	1
M41	1	1	1	1	1
M42	1	1	1	1	1

Tab. 24: *Wie verändert sich der Fluoreszenzwert bei compositgefüllten Zähnen?: Hier wurde jeweils für den Zahn Mxy verglichen, ob in der Ausgangssituation oder in der Situation nach Politur mehr Fluoreszenz angezeigt wird, bzw. ob die Fluoreszenz in den beiden Situationen gleich ist. Der Wert 1 bedeutet reduzierte Fluoreszenz, der Wert 2 bedeutet erhöhte Fluoreszenz, der Wert 3 bedeutet gleichbleibende Fluoreszenz.*

Beurteilung der Fluoreszenzveränderung für Composit-gefüllte Zähne

M19	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M17	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M20	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M21	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	3	3
M22	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M25	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M28	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M32	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M36	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M37	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2
M38	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M39	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	3	3
M41	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	2	1
M42	Ausgangssit.	Poliert
Fluoreszenzwertveränderung	1	2

7.4 ZUSAMMENSTELLUNG DES BILDMATERIALS DER UNTERSUCHTEN ZAHNPROBEN

Zur Bearbeitung und zum Vergleich der Aufnahmen wurden alle Bilder einer Zahnprobe in einer Folie zusammengestellt. Die klinischen Aufnahmen sind den Fluoreszenzaufnahmen für die einzelnen Arbeitsschritte (Ausgangssituation/ Poliert/ Füllung entfernt/ Exkaviert/ Neu gefüllt) gegenübergestellt.

„Mxy“ ist die jeweilige Bezeichnung des Zahnes, die schon im Kapitel 6.3 in den Tabellen verwendet wurde.

Probe M19 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M19



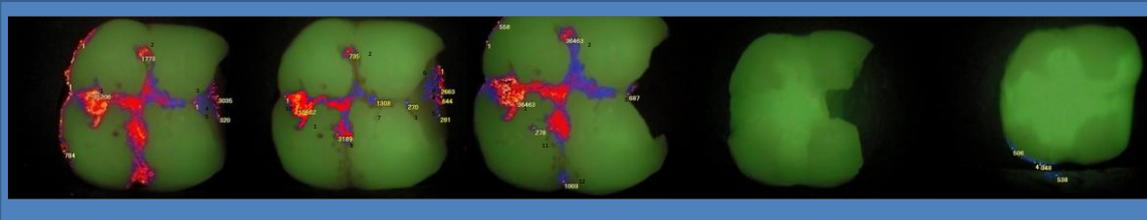
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M17 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M17



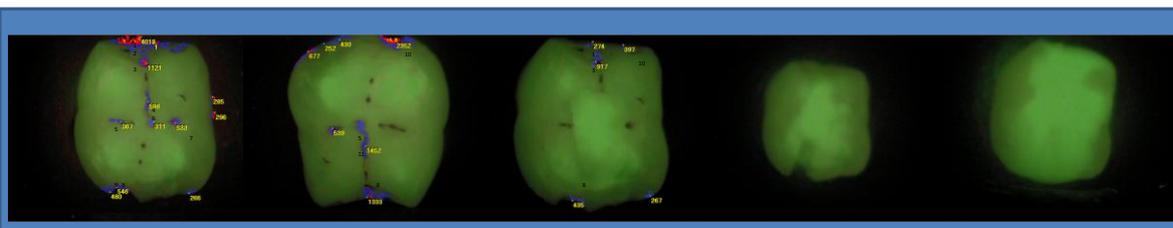
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahme

Probe M20 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M20



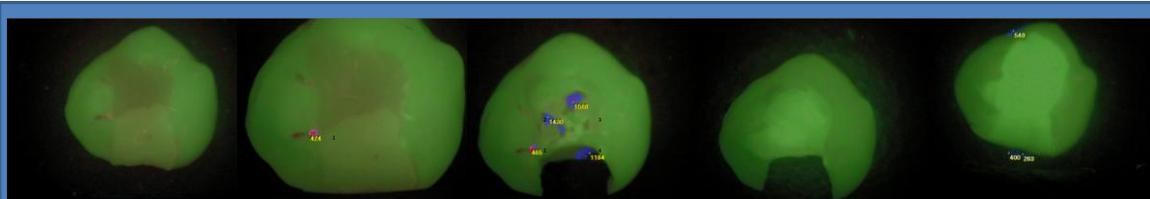
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M21 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M 21



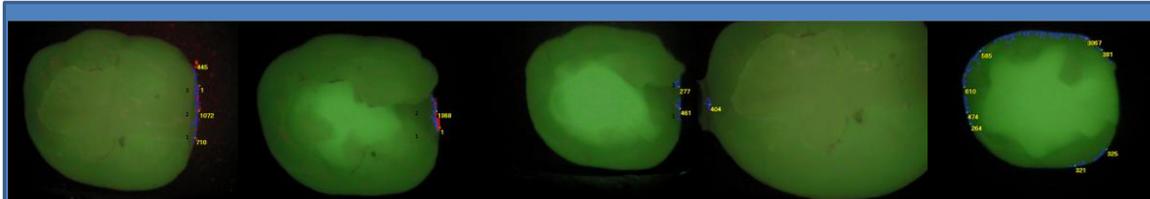
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

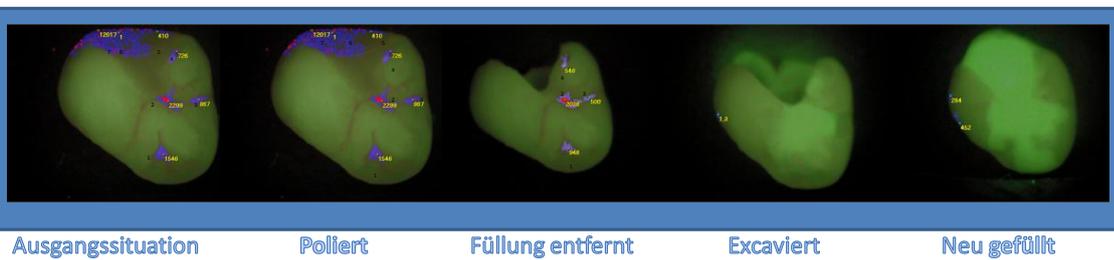
Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M22 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

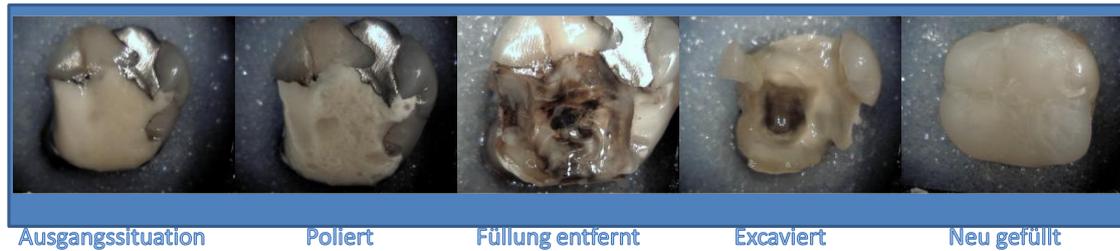
M22



Fluoreszenzaufnahmen

Probe M25 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

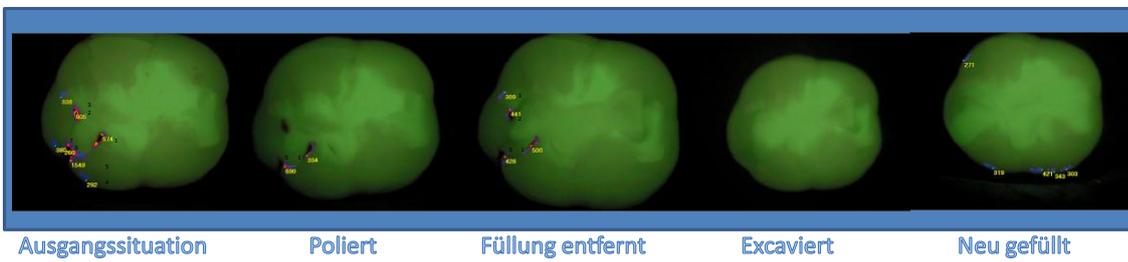
M25



Fluoreszenzaufnahmen

Probe M32 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

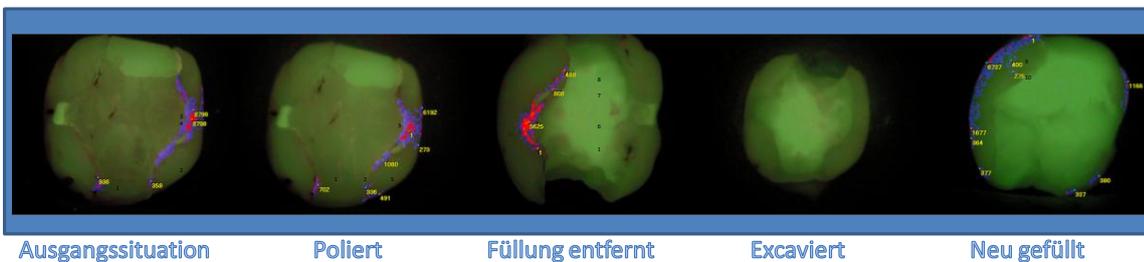
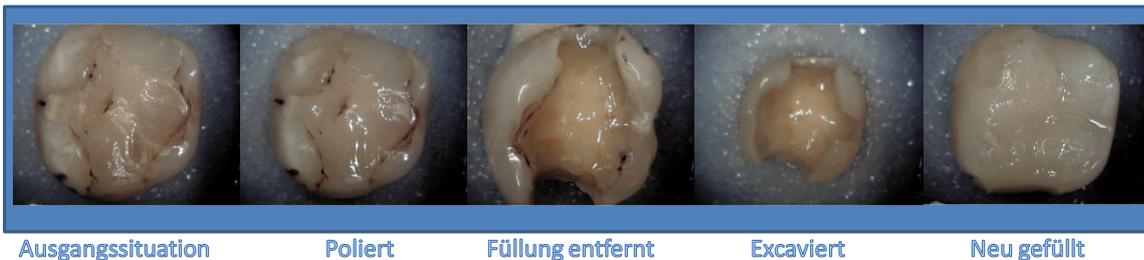
M32



Fluoreszenzaufnahmen

Probe M28 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

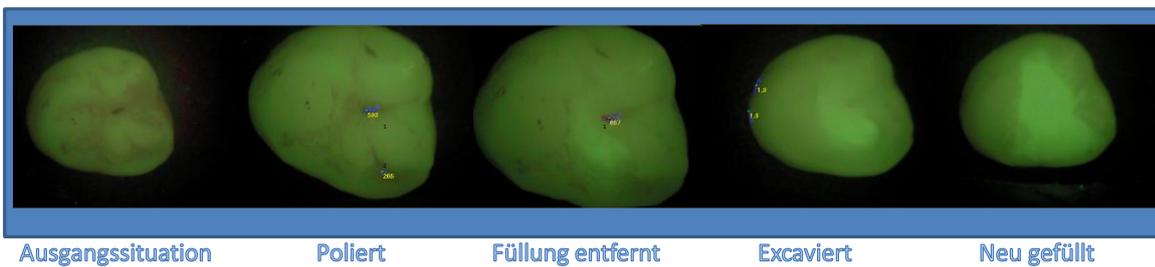
M28



Fluoreszenzaufnahmen

Probe M37 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

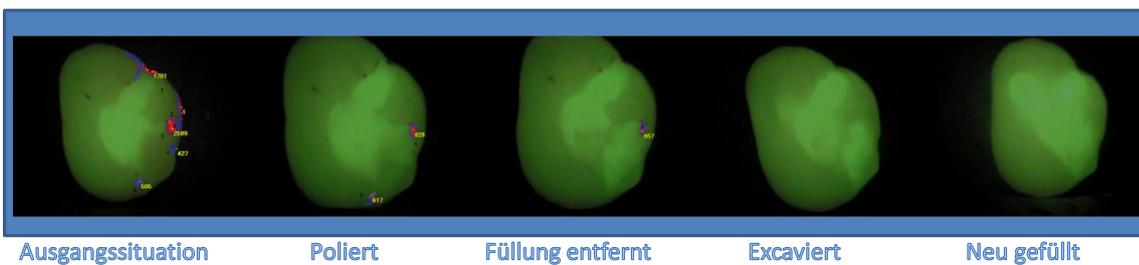
M37



Fluoreszenzaufnahmen

Probe M36 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

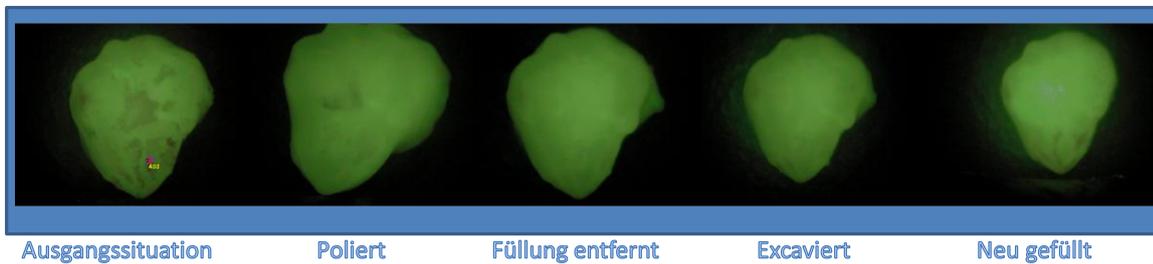
M36



Fluoreszenzaufnahmen

Probe M38 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

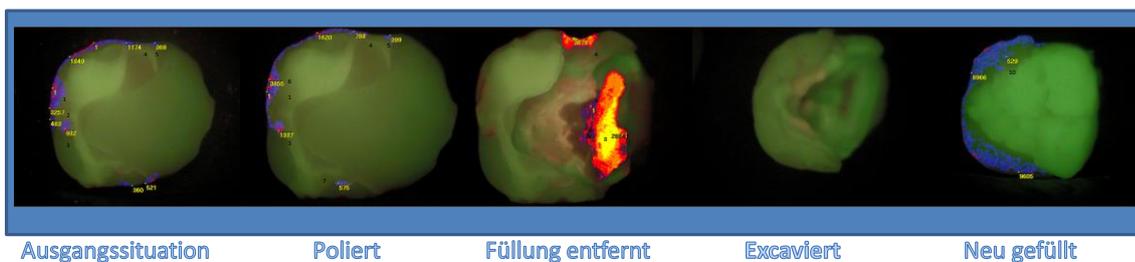
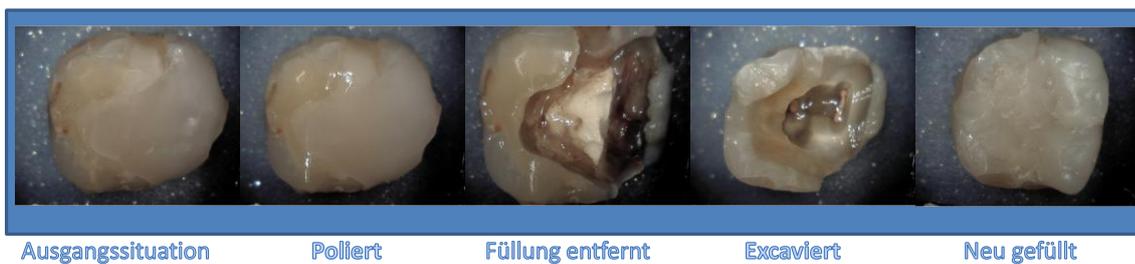
M38



Fluoreszenzaufnahmen

Probe M41 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M41



Fluoreszenzaufnahmen

Probe M28 (Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M28



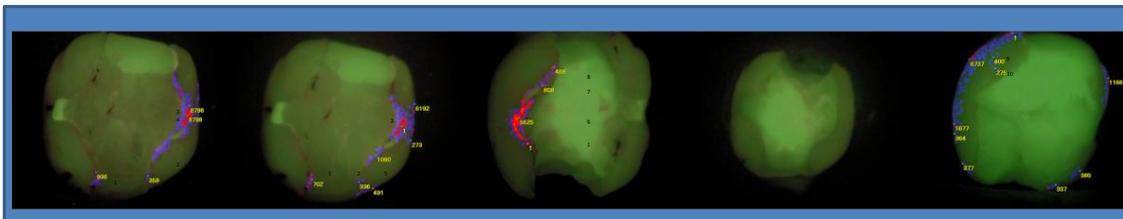
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M39(Composit-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M 21



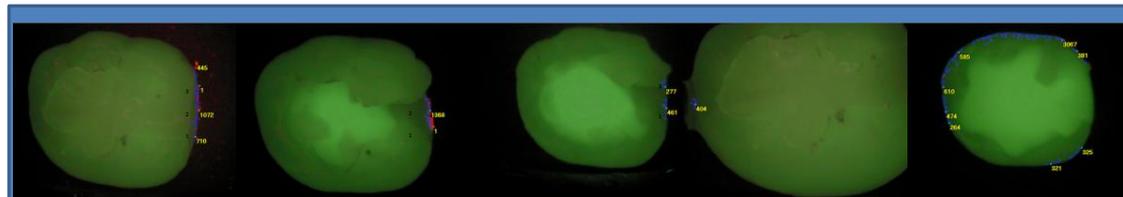
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M37 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M37



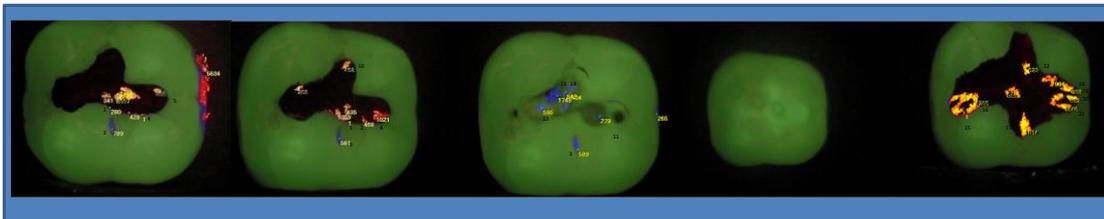
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

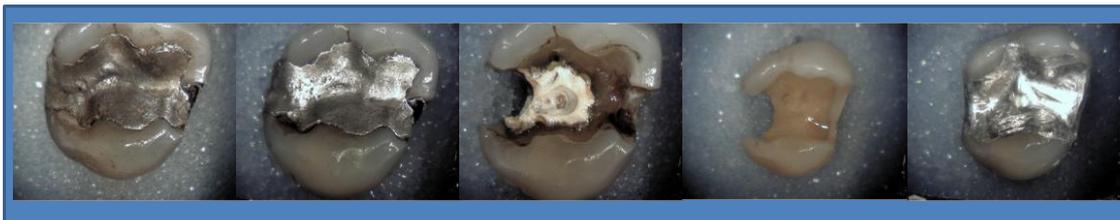
Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M35 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M35



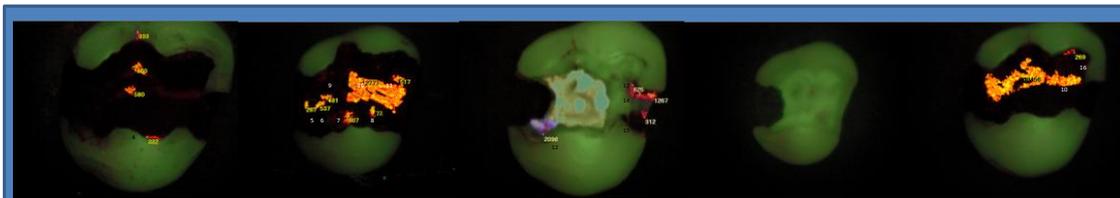
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M33 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M33



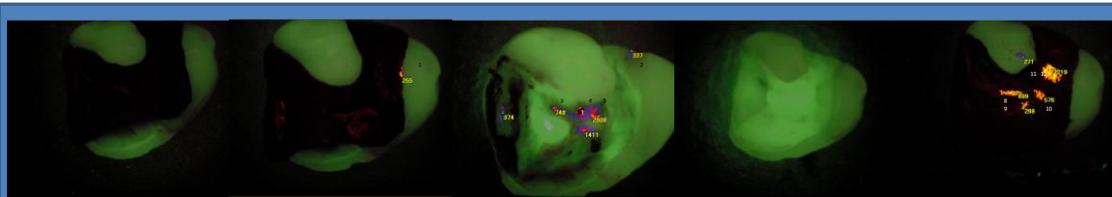
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

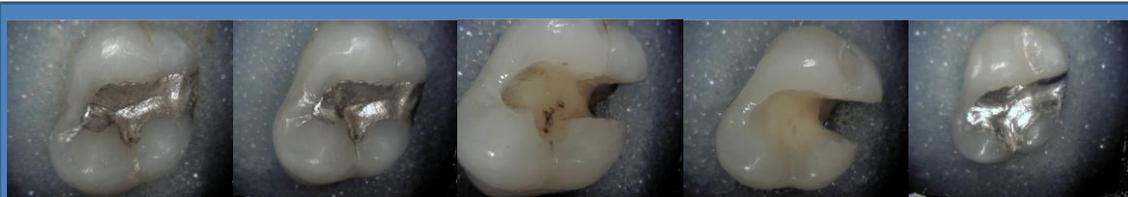
Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M32 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M32



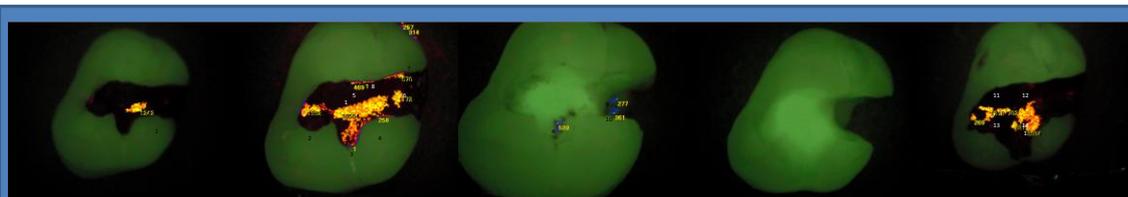
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M31 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M31



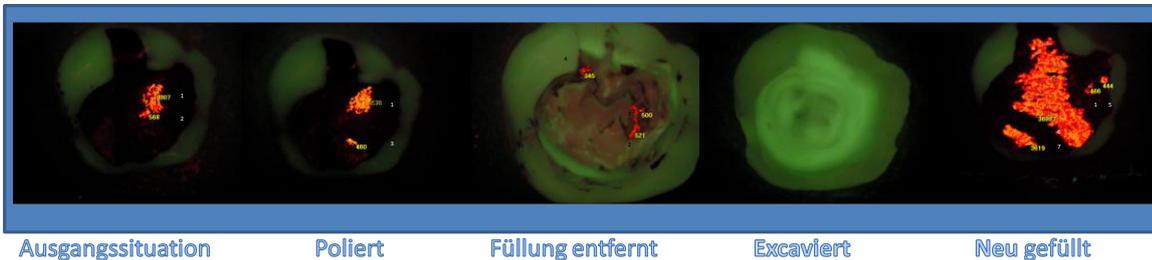
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M30 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M30



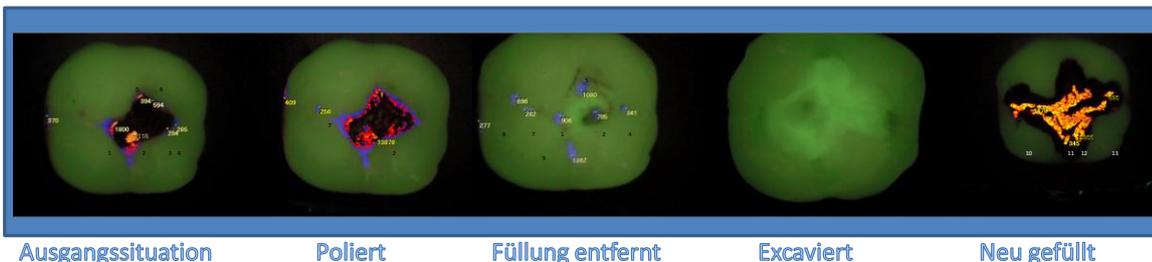
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M29 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M29



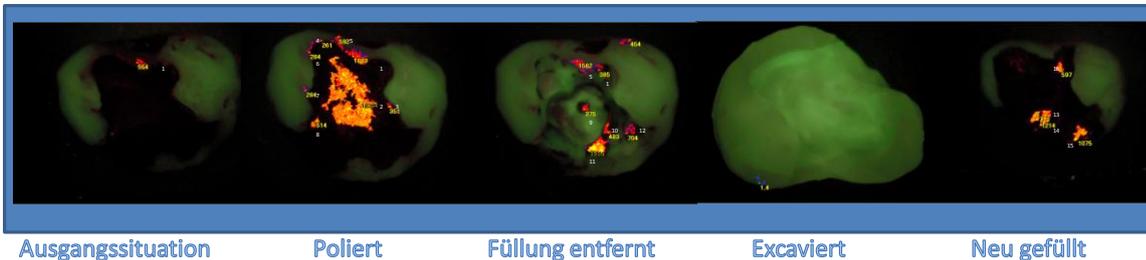
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M27 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M27



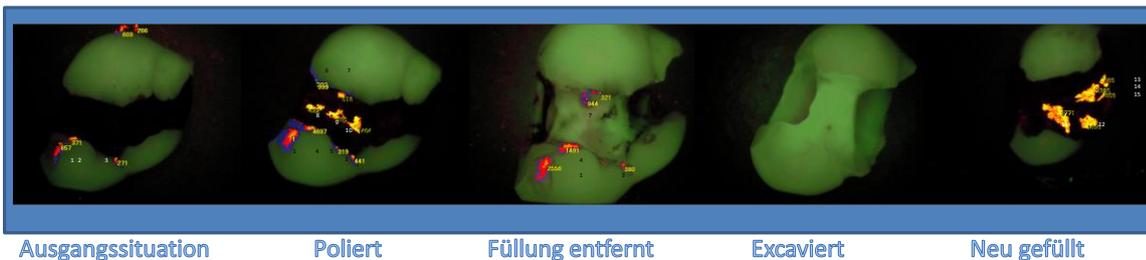
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M23 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M23



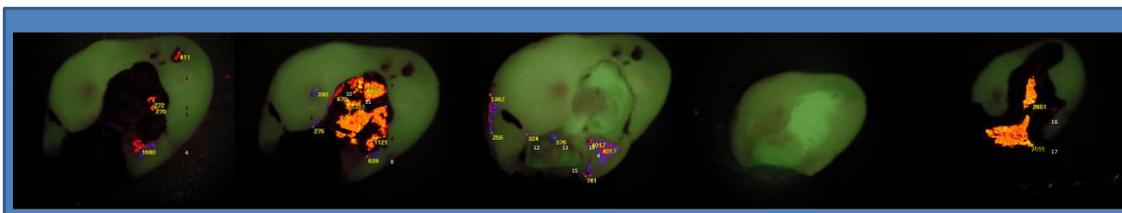
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M22 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M22



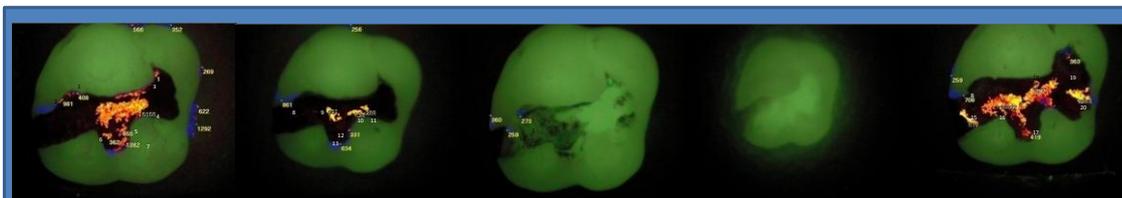
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M21 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M21



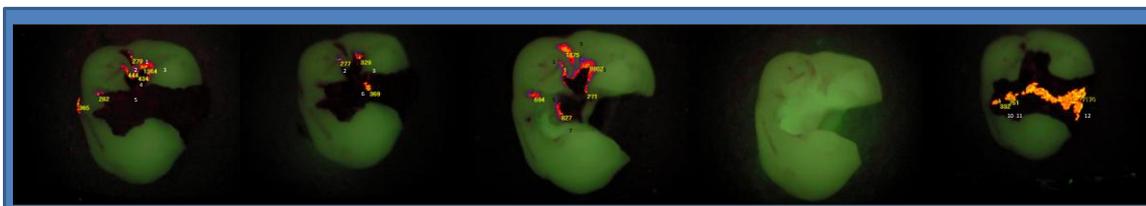
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M19 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M19



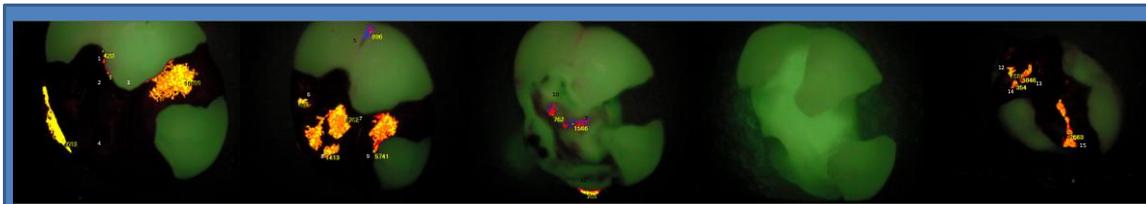
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

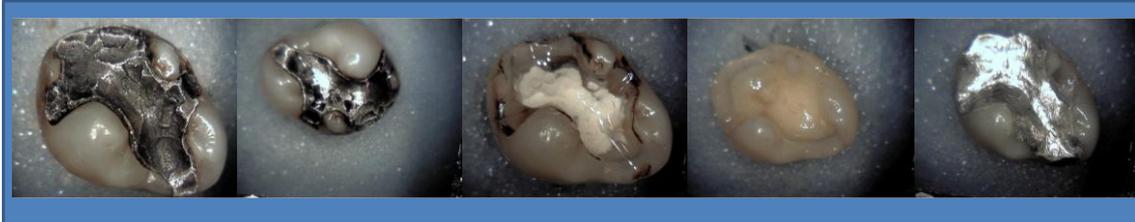
Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M18 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M18



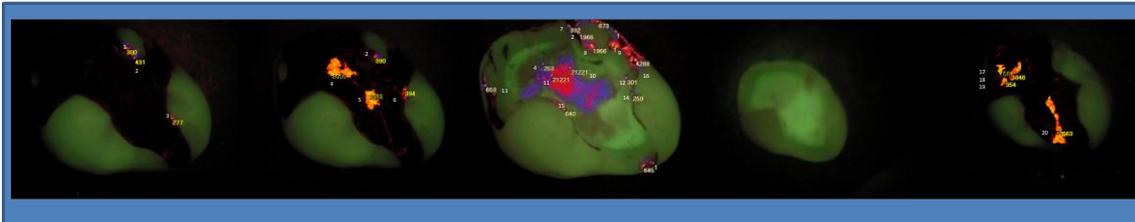
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

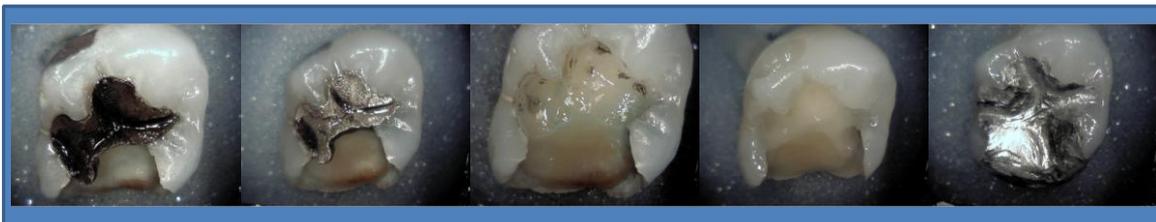
Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M17 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M17



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M16 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M16



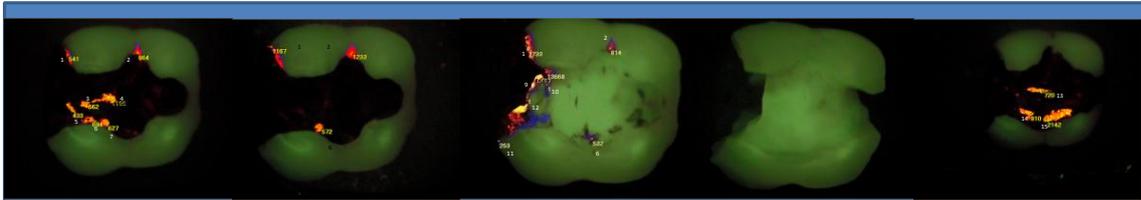
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M15 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M15



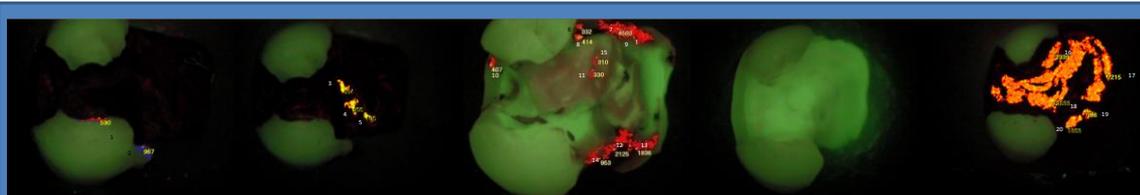
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M38 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M38



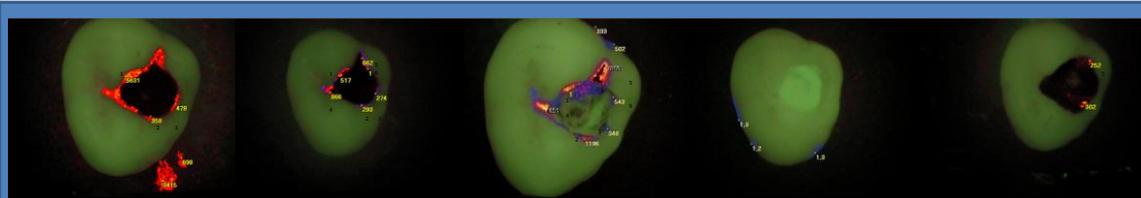
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

Probe M13 (Amalgam-Füllung)
Klinische Aufnahmen

M13



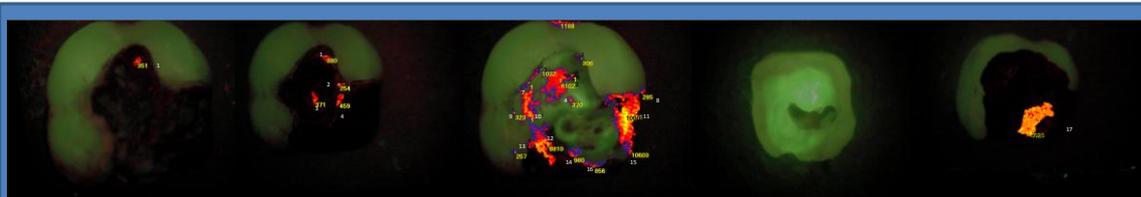
Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt



Ausgangssituation

Poliert

Füllung entfernt

Excaviert

Neu gefüllt

Fluoreszenzaufnahmen

8. DANKSAGUNGEN

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater, Professor Dr. Matthias Frentzen, der die Durchführung dieser Arbeit ermöglichte und mich durch schnelle Bearbeitung von Fragen und Korrekturen unermüdlich unterstützte.

Ebenso möchte ich herzlich Frau Cieslak danken, die mir sowohl in Ihrer Sprechstunde als auch aus der Ferne immer sehr zeitnah hilfreiche Tips zukommen ließ.

Vielen Dank an Claudia für die lustigen Stunden und die stetige Motivation in unserer gemeinsamen Zeit des praktischen Teils dieser Arbeit.

Ein herzlicher Dank gilt meinen Eltern für ihre liebe Unterstützung während der gesamten Zeit.

Zuletzt danke ich Martina, Julian und Laura, die mir auch immer zur Seite standen und das Voranschreiten dieser Arbeit v.a. in technischer Hinsicht ermöglichten.