

Aus der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Restoration integrity, but not material or cementation strategy
determined secondary caries next to indirect restorations in
vitro

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Michel Lehmensiek

aus Hannover

Datum der Promotion: 06.09.2019

Teilergebnisse der vorliegenden Arbeit wurden veröffentlicht in

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro. *Dental Materials*, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	4
1.1 Abstrakt Deutsch.....	4
1.2 Abstrakt Englisch.....	5
2. Einleitung.....	7
3. Material und Methode.....	8
3.1 Probenvorbereitung.....	8
3.2 Herstellung der Einlagefüllungen.....	9
3.3 Eingliederung der Einlagefüllungen.....	11
3.4 Biofilm-Mastikationsmodell.....	13
3.5 Mikroradiografische Auswertung.....	15
3.6 Statistische Auswertung.....	16
4. Ergebnisse.....	16
5. Diskussion.....	16
6. Schlussfolgerungen.....	18
7. Literaturverzeichnis.....	19
8. Eidesstattliche Versicherung.....	22
9. Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation.....	23
10. Auszug aus der Journal Summary List (ISI Web of Knowledge SM).....	24
11. Druckexemplar der ausgewählten Publikation.....	25
12. Lebenslauf.....	32
13. Publikationsliste.....	33
14. Danksagung.....	34

1 Zusammenfassung

1.1 Abstrakt Deutsch

Einleitung: Sekundärkaries gilt nach wie vor als die Hauptursache für einen Restaurationsaustausch. Zur Sekundärkariesentstehung an indirekten Restaurationen gibt es nur wenige Daten. In der vorliegenden Dissertation wurden der Einfluss approximaler Passungsgenauigkeiten, verschiedener Befestigungsstrategien und indirekter Restaurationsmaterialien auf die Entstehung von Sekundärkaries an indirekten Restaurationen untersucht.

Methodik: Kariesfreie dritte Molaren (n=96) wurden nach standardisierten Verfahren für indirekte Restaurationen präpariert und auf 2 Versuchsgruppen verteilt: Insgesamt 48 Restaurationen, davon 12 aus einer Goldlegierung und 36 aus Lithiumdisilikatkeramik, wiesen einen Randspalt (Mittelwert/Standardabweichung 237/71 μm) im gingivo-zervikalen Bereich auf. Weitere 48 Restaurationen in identischer Aufteilung wurden ohne Spalt hergestellt. Die Goldrestaurationen beider Gruppen wurden mit einem Glasionomerezement (Ketac Cem) befestigt; die Lithiumdisilikatkeramiken wurden adhäsiv mit Variolink Esthetic DC in Kombination mit dem Adhäsivsystem Syntac, Variolink Esthetic DC in Kombination mit Adhese Universal oder mit dem selbstadhäsiven Befestigungskomposit RelyX Unicem 2 eingegliedert (n=24/Gruppe). Über einen Zeitraum von 10 Tagen wurde im Mastikationsmodell ein kariogener *Lactobacillus rhamnosus*-Biofilm an den approximalen Zahn-Restaurationsflächen kultiviert. Durch mikroradiografische Untersuchungen wurde der Mineralverlust (ΔZ) im Schmelz (Enamel Surface Lesion, ESL) und im Dentin (Dentin Wall Lesion, DWL) ermittelt.

Ergebnisse: Randspalt, Befestigungsstrategie und Restaurationsmaterial hatten keinen signifikanten Einfluss auf ΔZ von ESL ($p > 0.05$ /Generalized Linear Modelling). ΔZ von

DWL war signifikant erhöht bei vorhandenem Randspalt ($p=0.003$). Befestigungsstrategie und Restaurationsmaterial hatten keinen signifikanten Einfluss ($p>0.05$).

Schlussfolgerung: Unter Berücksichtigung der Limitationen dieser Studie hatte die Qualität einer indirekten Restauration einen größeren Einfluss auf die Sekundärkariesentstehung als die Befestigungsstrategie oder das Restaurationsmaterial.

1.2 Abstrakt Englisch

Introduction: The clinical diagnosis of secondary caries is the most common reason for the replacement of restorations. Only limited data are available on the development of secondary caries adjacent to indirect restorations. This study evaluated the impact of proximal cervical restoration fit (presence of gaps), cementation strategy and restoration material on the development of secondary caries adjacent to indirect restorations.

Methods: Caries-free molars ($n=96$) were prepared following a standardized procedure for indirect restorations and divided into 2 groups: 48 gold ($n=12$) and lithium disilicate glass ceramic ($n=36$) restorations showed a cervico-proximal gap (mean value/standard deviation $237/71 \mu\text{m}$); another 48 restorations were manufactured without a gap. Gold restorations of both trial groups were cemented with Ketac Cem; lithium disilicate glass ceramic restorations were incorporated adhesively using Variolink Esthetic DC in combination with the adhesive system Syntac, Variolink Esthetic DC in combination with Adhese Universal, or with RelyX Unicem 2, a self-adhesive resin cement ($n=24/\text{group}$). Concomitant to cyclic loading, a cariogenic *Lactobacillus rhamnosus* biofilm was established over a period of 10 days. The mineral loss (ΔZ) in enamel (Enamel Surface Lesion, ESL) and dentin (Dentin Wall Lesion, DWL) was determined by transverse microradiographic analysis.

Results: For ESL the presence of an interfacial gap, cementation strategy and restoration material had no significant influence on ΔZ ($p > 0.05$ /Generalized Linear Modelling). For DWL, ΔZ was significantly higher adjacent to restorations with interfacial gaps ($p = 0.003$). Cementation strategy and restoration material did not have a significant impact ($p > 0.05$).

Significance: Within the limitations of this study, the fit of an indirect restoration had a greater impact on the development of secondary caries than cementation strategy or restoration material.

2 Einleitung

Jährlich werden in Deutschland mehrere Millionen indirekte Restaurationen (Vollkronen, Teilkronen, Onlays, Overlays) eingegliedert, um großflächige Zahnhartsubstanzdefekte zu rekonstruieren und die Zahnrestsubstanz zu stabilisieren [1]. Indirekte Restaurationen werden beispielsweise aus hochgoldhaltigen Legierungen oder Lithiumdisilikatkeramik gefertigt. Hochgoldhaltige Legierungen werden traditionell mit Zinkoxid-Phosphatzementen oder Glasionomerezementen eingegliedert [2]. Lithiumdisilikat ist eine hochästhetische Dentalkeramik für Veneers, Inlays, Onlays und Teilkronen [3], deren Eingliederung mit Befestigungskompositen in Kombination mit Adhäsivsystemen oder ausschließlich mit selbstadhäsiven Produkten erfolgt [2].

Sekundärkaries gilt im klinischen Alltag als die häufigste Ursache für den Austausch einer indirekten Restauration [4]. Während eine Vielzahl an Studien verschiedene Keramikrestaurationen untereinander auf ihre Überlebensraten untersuchten [5], wurden bislang nur wenige Studien durchgeführt, welche die Überlebensraten von Gold gegenüber Keramikrestaurationen zum Gegenstand hatten [6]. Die vorhandenen Studien deuten darauf hin, dass die verschiedenen Materialklassen ähnliche Versagensraten aufweisen, allerdings mit verschiedenen Versagensmodi: Während Goldrestaurationen fast ausschließlich aufgrund von Sekundärkaries versagen [7], ist bei Keramikrestaurationen sowohl Sekundärkaries als auch Materialbruch bzw. Chipping ursächlich [8-10].

In-vitro-Studien zeigen, dass die Passgenauigkeit einer *direkten* Restauration einen entscheidenden Einfluss auf die Entstehung von Sekundärkaries hat [11]. Liegen Randspalten ab einer bestimmten Größe vor, steigen die Bakterieneindringtiefe und der Mineralverlust signifikant an [11]. Des Weiteren begünstigt eine zyklische, mechanische Kaubelastung das Entstehen von Sekundärkaries durch Flüssigkeitsverschiebungen [12]. In Bezug auf *indirekte* Restaurationen ist anzunehmen, dass sowohl die Wahl des

Materials für die Restauration (Gold gegenüber Lithiumdisilikat), die Zementierungsstrategie (konventionelle Zementierung mittels beispielsweise einem Typ I Glasionomerezement gegenüber adhäsivem Einbringen mittels Etch-and-Rinse Adhäsiv, selbstätzendem Adhäsiv oder selbstätzendem selbstadhäsiven Komposit-Befestigungszement), als auch die Passgenauigkeit einen signifikanten Einfluss auf die Entstehung von Sekundärkaries am Randbereich von indirekten Restaurationen haben [6].

Das Ziel dieser Studie war die Untersuchung des Einflusses approximaler Passungsgenauigkeiten, unterschiedlicher Befestigungsstrategien und Restaurationsmaterialien auf die Entstehung von Sekundärkaries an indirekten Restaurationen in vitro. Unsere Hypothese lautete, dass alle drei Faktoren einen signifikanten Einfluss auf den Mineralverlust einer Sekundärkariesläsion haben [6].

3 Material und Methode

3.1 Probenvorbereitung

Für die Untersuchung wurden humane, kariesfreie dritte Molaren (n=96) mit einem Kronendurchmesser <12 mm und einem vertikalen Abstand der Schmelz-Zement-Grenze zum tiefsten Punkt der Zentralfissur ≥ 3 mm verwendet.

Die Wurzeln dieser Zähne wurden auf <5 mm zur Schmelz-Zement-Grenze gekürzt, das Höcker-Fissuren-Relief bis zum tiefsten Punkt der Zentralfissur plangeschliffen und die Zähne anschließend parallel zur Tischebene mit Methylmetacrylat-Einbettmasse (Technovit 9100, Heraeus Kulzer, Hanau) in Kupferringe (Höhe 14 mm, Durchmesser 12 mm) eingebettet. Dann wurden die für die Präparationskästen vorgesehenen Zahnwände rechtwinklig zur Kauebene plangeschliffen.

Anschließend wurde an einem Zahn nach standardisierten Vorgaben eine Präparation für die Aufnahme einer Einlagefüllung angelegt. Die Kavität hatte eine Höhe von 2 mm,

eine Bodenbreite von 2 mm und eine Tiefe von 6 mm. Alle Kavitätenränder lagen im Schmelz und der Öffnungswinkel betrug 6°. Als mechanisches Retentionselement wurde eine sogenannte Schwalbenschwanzpräparation angelegt (dies wäre klinisch für die Keramikrestorationen nicht notwendig, wurde aber aus Gründen der Vergleichbarkeit der Kavitäten untereinander hier so vorgenommen). Für die Präparation wurde der 2 mm Occlusal Reduction Bur (828Y-017FG) aus dem Meisinger Occlusal Reduction Kit 2565 (Hager & Meisinger, Neuss) verwendet, ebenso kamen die Figuren 8845 KR.314.025, sowie 845 KREF.314.025 aus dem Inlay-Präparationsset 4261.314 der Firma Komet (Komet Dental, Gebr. Brasseler, Lemgo) zum Einsatz. Im Folgenden wurde die oben beschriebene standardisierte Präparation an den verbliebenden Zähnen unter Verwendung eines Kopierfräsgeräts (Celay, Mikrona Technologie, Spreitenbach, Schweiz) angelegt. Nun wurden die Kupferringe aufgetrennt, entfernt und der eingebettete Anteil um 7 mm parallel zur Tischebene eingekürzt, um eine spätere Platzierung im Biofilm-Mastikationsmodell zu ermöglichen.

3.2 Herstellung der Einlagefüllungen

Die präparierten Zähne wurden darauffolgend im Doppelmischverfahren mit einem additionsvernetzenden Silikon (Panasil Tray Soft Heavy, Kettenbach, Eschenburg) in Kombination mit einem dünnfließenden additionsvernetzenden Silikon (Panasil Initial Contact X-Light, Kettenbach, Eschenburg) in Doppelmischtechnik abgeformt und Modelle aus Superhartgips (SHERA Premium, SHERA Werkstoff-Technologie, Lemförde) erstellt. Anschließend wurden je 48 Restorationen aus einer Goldlegierung (n=12) (Degunorm, Degudent, Hanau) und einer Lithiumdisilikatkeramik (n=36) (IPS e.max, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) mit und ohne Randspalt gemäß Herstellerangaben gefertigt. Zur Spalterzeugung kam hierbei vor dem Aufwachsprozess eine 100 µm dicke Kupferfolie (Gemmel Metalle, Berlin) als Platzhalter zum Einsatz. Zum Aufwachsen wurden die

Superhartgipsstümpfe mit Isoliermittel (YETI Lube, YETI Dentalprodukte, Engen) benetzt, anschließend weichfließendes Wachs (YETI Thowax Cervicalwachs, YETI Dentalprodukte, Engen) als Liner aufgetragen und die Inlays mit Modellierwachs (S-U-Ästhetikwachs, Schuler Dental, Ulm) aufgewachst und ausgearbeitet.

Nachfolgend wurden die aufgewachsenen (Gold-)Einlagefüllungen mit Wachsdraht (Finowax, 3 mm, grün, Fino, Bad Bocklet) angestiftet und in 100 g Muffelbasen eingebettet; der Anstiftwinkel zur Muffelbasis betrug 45°. Das Einbetten der aufgewachsenen Goldeinlagefüllungen erfolgte mit Universal-Einbettmasse für die Edelmetall-Gusstechnik (Dentsply DeguDent Gold Star Einbettmasse, Degudent, Hanau). Nach vorgegebener Abbindezeit wurden die Muffeln an ein zahntechnisches Labor (Zahntechnik Ost, Berlin) versandt. Die eingebetteten Goldeinlagefüllungen wurden gemäß Herstellerangaben nach Wachsaustreiben und Vorwärmen in Vakuumdruckgusstechnik umgesetzt.

Das Einbetten der aufgewachsenen Keramikeinlagefüllungen erfolgte nach Anstiftung mit Wachsdraht (Finowax, 3 mm, grün, Fino, Bad Bocklet) mit phosphatgebundener Presskeramik-Einbettmasse für die Schnellaufheizung (IPS PressVEST Speed, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein). Im zahntechnischen Labor wurden die Muffeln für die Keramikeinlagefüllungen gemäß Herstellerangaben auf 850 °C vorgewärmt, zum Pressen wurden die heißen Muffeln anschließend mit IPS e.max Press Rohlingen bestückt und nach dem Pressvorgang im Press- und Brennofen (Programat EP3000, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) auf Raumtemperatur heruntergekühlt. Die abgekühlten Muffeln wurden anschließend aus dem Labor zurückgesandt und die Einlagefüllungen nach dem Ausbetten sandgestrahlt (Glanzstrahlmittel Al₂O₃, 50 µm, 2 bar). Nach dem Abtrennen der Press- bzw. Gusskanäle mit einer dünnen Diamanttrennscheibe erfolgte die Ausarbeitung sowie Hochglanzpolitur bzw. Glanzbrand.

3.3 Eingliederung der Einlagefüllungen

Die Goldrestorationen beider Gruppen wurden mit einem Glasionomerzement (Ketac Cem, 3 M Espe, Seefeld) befestigt; die Lithiumdisilikatkeramiken wurden adhäsiv mit Variolink Esthetic DC in Kombination mit dem Adhäsivsystem Syntac, Variolink Esthetic DC in Kombination mit Adhese Universal (alle Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) oder mit dem selbstadhäsiven Befestigungskomposit RelyX Unicem 2 (3M Espe, Seefeld) eingegliedert (n=24/Gruppe). Die Hälfte der Restorationen wurde ohne, die andere Hälfte jeweils wieder mit Spalt eingegliedert. Bei der Eingliederung der Restorationen mit Spalt kam erneut eine 100 µm dicke Kupferfolie als Platzhalter zum Einsatz, welche nach dem Aushärten des Zements entfernt wurde. Im Detail wurde wie folgt vorgegangen:

- Gold: Zähne und Restorationen wurden mit Wasser ab gespült und getrocknet, Ketac Cem (3M Espe, Seefeld) im Applicap angemischt und in die Kavitäten und auf die Restorationen gegeben. Anschließend wurden die Einlagefüllungen eingebracht und nach 6 Minuten die Zementüberschüsse entfernt.
- IPS e.max, RelyX Unicem 2: Die Einlagefüllungen wurden für 20 Sekunden mit 5 %-iger Flusssäure (IPS Ceramic, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) angeätzt, für 30 Sekunden mit Wasser ab gespült und getrocknet. Die Zähne wurden ab gespült und getrocknet. Anschließend wurde RelyX Unicem 2 (3M Espe, Seefeld) in die Kavitäten gegeben, die Einlagefüllungen eingebracht, Überschüsse entfernt und für 60 Sekunden lichtgehärtet.
- IPS e.max, Variolink mit Adhese: Die Einlagefüllungen wurden für 20 Sekunden mit IPS Ceramic (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) angeätzt, für 30 Sekunden mit Wasser ab gespült und getrocknet. Anschließend wurde Silane (Monobond Plus, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) aufgetragen und nach 60 Sekunden verblasen. Die Zähne wurden ab gespült und getrocknet. Adhese Universal (Ivoclar, Schaan,

Liechtenstein), ein selbstätzendes lichthärtendes Einkomponenten-Adhäsiv, wurde für 20 Sekunden aufgetragen, verblasen und 10 Sekunden lichtgehärtet. Im Anschluss wurde Variolink Esthetic DC A2 (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein), ein dualhärtendes Befestigungskomposit, auf die Restaurationen gegeben, die Einlagefüllungen eingebracht, 2 Sekunden pro Seite lichtgehärtet, die Überschüsse entfernt und ein Glyzerin-Gel (Liquid Strip, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) aufgetragen. Abschließend erfolgte eine Lichthärtung für 40 Sekunden.

- IPS e.max, Variolink mit Syntac: Die Einlagefüllungen wurden für 20 Sekunden mit IPS Ceramic (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) angeätzt, für 30 Sekunden mit Wasser abgespült und getrocknet. Anschließend wurde Monobond Plus (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) aufgetragen und nach 60 Sekunden verblasen. Die Zähne wurden abgespült und getrocknet. Es folgte eine Schmelzätzung und Dentinkonditionierung mittels 37 %-igem Phosphorsäure-Ätzgel (Total Etch, Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) für 15 Sekunden. Anschließend wurden das Ätzgel abgespült und die Zähne getrocknet. Syntac Primer (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) wurde für 15 Sekunden auf den Dentinflächen aufgetragen und verblasen, Syntac Adhesive (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) wurde für 20 Sekunden auf die Kavitäten aufgetragen und verblasen. Nun wurde Heliobond (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) aufgetragen, nach 20 Sekunden verblasen und lichtgehärtet. Im Anschluss wurde Variolink Esthetic DC (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) auf die Restaurationen gegeben, die Einlagefüllungen eingebracht, 2 Sekunden pro Seite lichtgehärtet, die Überschüsse entfernt und Liquid Strip (Ivoclar, Schaan, Liechtenstein) aufgetragen. Abschließend erfolgte eine Lichthärtung für 40 Sekunden.

3.4 Biofilm-Mastikationsmodell

Die in Technovit 9100 (Haraeus Kulzer, Hanau) eingebetteten, mit Einlagefüllungen versorgten Zähne wurden mit dualhärtendem Komposit (RelyX Unicem 2, 3M Espe, Seefeld) auf Trägerplatten fixiert, mit Ausnahme des zervikalen Randbereichs der Einlagefüllungen mit Nagellack (Essie Gel Couture, L'Oréal Deutschland, Düsseldorf) isoliert und autoklaviert. Die bestückten Trägerplatten wurden nach dem Autoklavieren unter den Druckstempeln im Mastikationsmodell positioniert.

Im Biofilm-Mastikationsmodell wurde nun über einen Zeitraum von 10 Tagen eine definiert begrenzte kariöse Läsion im zervikalen Randbereich der Restaurationen erzeugt. Hierzu wurden den Zähnen unterschiedliche Nährmedien zugeführt, es bildete sich unter der Simulation von Mundhöhlenbedingungen ein Biofilm. Vorab wurde *Lactobacillus rhamnosus* auf eine Blutagarplatte aufgebracht und bebrütet. Es folgte der Ausstrich und die Beimpfung einer deMan-Rogosa-Sharpe-Flüssigkultur (MRS) mit Anzucht der Einzelkultur.

Laktobazillen wurden 1-mal täglich bei 37 °C im MRS-Medium (1 l) zugeführt, 3-mal täglich erfolgte die Zufuhr von MRS und 1 %-iger Glukose-Lösung (jeweils 1 l), es wurde jedes Mal zeitversetzt mit künstlichem Speichel (Defined Medium Mucin, DMM, 1 l) nachgespült [13], dazu erfolgte eine mechanische effektive Kaubelastung von 125 g pro Probe bei 10 Kauvorgängen pro Minute. Die Programmierung der Pumpen erfolgte so, dass eine Zulaufzeit der Medien von jeweils 30 Minuten erreicht wurde. Nach 60-minütiger (MRS+Laktobazillen) bzw. 30-minütiger (DMM, MRS) Standzeit des Mediums erfolgte das Abfließen des Mediums. Nach Abfließen des Mediums folgte eine 15-minütige Ruhezeit. Der sich täglich wiederholende Ablauf der Medienezufuhr ist Tabelle 1 zu entnehmen.

Tabelle 1: Ablauf Nährmedienzufuhr MRS (deMan-Rogosa-Sharpe-Flüssigkultur), DMM (Defined Medium Mucin)

Uhrzeit	Medium	Pumpe
09:00 – 09:30	Zulauf MRS+ Laktobazillen (1 l)	Pumpe 1
09:30 – 10:30	Standzeit Medium	
10:30 – 11:00	Ablauf Medium	Pumpe 4
11:00 – 11:15	Ruhezeit	
11:15 – 11:45	Zulauf DMM (1 l)	Pumpe 2
11:45 – 12:15	Standzeit Medium	
12:15 – 12:45	Ablauf Medium	Pumpe 4
12:45 – 13:00	Ruhezeit	
13:00 – 13:30	Zulauf MRS (1 l)	Pumpe 3
13:30 – 14:00	Standzeit Medium	
14:00 – 14:30	Ablauf Medium	Pumpe 4
14:30 – 14:45	Ruhezeit	
14:45 – 15:15	Zulauf DMM (1 l)	Pumpe 2
15:15 – 15:45	Standzeit Medium	
15:45 – 16:15	Ablauf Medium	Pumpe 4
16:15 – 16:30	Ruhezeit	
16:30 – 17:00	Zulauf MRS (1 l)	Pumpe 3
17:00 – 17:30	Standzeit Medium	
17:30 – 18:00	Ablauf Medium	Pumpe 4
18:00 – 18:15	Ruhezeit	
18:15 – 18:45	Zulauf DMM (1 l)	Pumpe 2
18:45 – 19:15	Standzeit Medium	
19:15 – 19:45	Ablauf Medium	Pumpe 4
19:45 – 20:00	Ruhezeit	
20:00 – 20:30	Zulauf MRS (1 l)	Pumpe 3
20:30 – 21:00	Standzeit Medium	
21:00 – 21:30	Ablauf Medium	Pumpe 4
21:30 – 21:45	Ruhezeit	
21:45 – 22:15	Zulauf DMM (1 l)	Pumpe 2
22:15 – 08:00	Standzeit Medium	
08:00 – 08:30	Ablauf Medium	Pumpe 4
08:30 – 09:00	Wechsel der Flaschen	

3.5 Mikroradiografische Auswertung

Nach 10 Tagen folgte eine mikroradiografische Analyse zur Darstellung des Mineralverlusts (ΔZ) an den approximalen Zahn-Restaurationsflächen. Hierzu wurden die Proben vollständig in Methylmetacrylat-Einbettmasse (Technovit 9100, Heraeus Kulzer, Hanau) gefasst und 100 μm breite Schnittproben zentral rechtwinklig zur Oberfläche der Einlagefüllungen entnommen. Die Schnittproben wurden auf Objekthalter aufgebracht. Nach Fertigung eines Röntgenbilds und dessen Entwicklung wurden die Proben mikroradiografisch ausgewertet (siehe Abbildung 1).

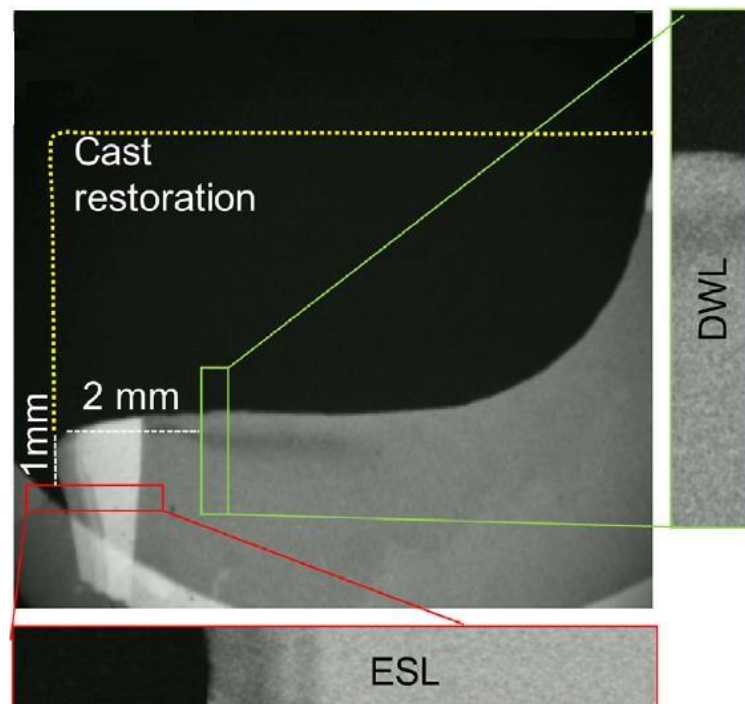


Abbildung 1: Mikroradiografisches Bild. Das gelbe Kästchen zeigt den Umfang der Restauration (welche wie bei den meisten präparierten mikroradiografischen Aufnahmen verloren gegangen ist). Die rote Box markiert die Messstelle für den Mineralverlust (ΔZ) im Schmelz, Enamel Surface Lesion (ESL), 1 mm unterhalb der gingivozervikalen Restaurationsgrenze. Die grüne Box markiert die Messstelle für ΔZ im Dentin, Dentin Wall Lesion (DWL), 2 mm hinter der Restaurationsgrenze [6].

3.6 Statistische Auswertungen

Die Auswertung der Daten sowie die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 20 (IBM, Armonk, USA). Zur Analyse kamen generalisierte lineare Modelle (GLM) zum Einsatz. Als Signifikanzniveau wurde $\alpha=0.05$ gewählt.

4 Ergebnisse

Randspalt, Befestigungsstrategie und Restaurationsmaterial hatten keinen signifikanten Einfluss auf den Mineralverlust (ΔZ) im Schmelz (Enamel Surface Lesion, ESL) ($p>0.05$ /Generalized Linear Modelling). ΔZ im Dentin (Dentin Wall Lesion, DWL) war signifikant erhöht bei vorhandenem Randspalt ($p=0.003$). Befestigungsstrategie und Restaurationsmaterial hatten keinen signifikanten Einfluss ($p>0.05$) [6].

5 Diskussion

Die vorliegende In-vitro-Studie untersuchte die Entstehung von Sekundärkariesläsionen im Randbereich indirekter Restaurationen im Biofilm-Mastikationsmodell [6]. Durch zyklische, mechanische Kaubelastung wurde im Kausimulator eine Flüssigkeitsverschiebung am Restaurationsrand erzeugt, welche eine Sekundärkariesentstehung signifikant fördert [14]. Im Rahmen der Nullhypothesenformulierung wurde angenommen, dass weder die Materialwahl, die Zementierungsstrategie, noch die Passgenauigkeit der Restauration einen signifikanten Einfluss auf den Mineralverlust (ΔZ) im Schmelz oder Dentin hätten [6].

Unter der Annahme, dass die indirekten Restaurationen aufgrund ihrer unterschiedlichen Oberflächenbeschaffenheit verschiedene Biofilme entwickeln würden und die ungleichen Elastizitäten der Restaurationen sowie die verschiedenen dichten Zementierungen zu unterschiedlichen Bakterienpenetrationen oder Flüssigkeitsbewegungen führen würden, postulierten wir einen signifikanten Einfluss von Materialwahl, Zementierungsstrategie

und Passgenauigkeit auf den Mineralverlust [6]. Bei spaltfrei inserierten Einlagefüllungen kam es allerdings zu keinem signifikant erhöhten Mineralverlust (ΔZ) im Dentin. Dies deckt sich mit den Ergebnissen anderer Studien [15,16]. Bei Restaurationen mit Spalt zeigte sich bei allen Gruppen ein signifikant erhöhter Mineralverlust (ΔZ). Andere Studien zu *direkten* Restaurationen kommen zu ähnlichen Ergebnissen [12,17,18]. Im Schmelz kam es, unabhängig vom Vorliegen eines Spalts, zu keiner signifikanten Erhöhung von ΔZ . Es ist anzunehmen, dass es sich bei den im Schmelz aufgetretenen Läsionen nicht um Sekundärkaries handelt, sondern um den indirekten Restaurationen angrenzende Primärkaries [6]. Die kariöse Läsion steht demnach nicht kausal mit der Restauration in Zusammenhang. Insgesamt können wir unsere Hypothese nur teilweise akzeptieren; den Einfluss von Material und Zementierungsstrategie lehnen wir ab.

Diese Studie unterliegt diversen Limitationen. (1) Die Proben wurden plangeschliffen, um eine möglichst axiale, vertikale und zyklische mechanische Belastung der Proben im Mastikationsmodell zu ermöglichen. Klinisch wären auch laterale und in ihrer Stärke variierende Belastungen wahrscheinlich. (2) Alle Proben wurden mit einer sogenannten Schwalbenschwanzpräparation versehen, um ein zusätzliches mechanisches Retentionselement zu schaffen, was klinisch wie beschrieben zumindest für Lithiumdisilikatversorgungen nicht erforderlich wäre. (3) Das die Proben umgebende Medium enthielt lediglich einen bakteriellen Stamm (*L. rhamnosus*), diesem wurde in hoher Frequenz Glukose zugefügt, um eine Kariesbildung zu begünstigen. In vivo liegen unterschiedliche Bakterienstämme vor, die Nährstoffzufuhr ist in der Regel geringer und Maßnahmen der häuslichen Mundhygiene (Putzen, Fluoridzufuhr) ermöglichen Phasen der Remineralisation. (4) Die gewählte Kombination von Material und Zementierungsstrategie orientierte sich an der klinischen Praxis. Hier erfolgt die Eingliederung von Lithiumdisilikatkeramikrestaurationen überwiegend adhäsiv, wohingegen Goldeinlage-

füllungen mit konventionellen Zementen (wie beispielsweise Glasionomerezement Typ I) befestigt werden. In der vorliegenden Studie wurde darauf verzichtet, Gold-einlagefüllungen adhäsiv zu zementieren bzw. Keramikeinlagefüllungen mit Glasionomerezement einzugliedern; für eine faktorielle statistische Analyse wäre dies notwendig gewesen [6].

6 Schlussfolgerungen

Innerhalb der Limitationen dieser Studie hatte weder die Wahl des Restaurationsmaterials, noch die Befestigungsstrategie einen signifikanten Einfluss auf die Entstehung von Sekundärkariesläsionen im Randbereich indirekter Restaurationen. Bei Vorliegen eines Spalts zwischen Restauration und Zahn zeigte sich ein signifikant erhöhter Mineralverlust. In der klinischen Anwendung sollte darauf geachtet werden, dass indirekte Restaurationen möglichst spaltfrei eingegliedert werden. Die Wahl des Einlagefüllungsmaterials und Befestigungszements unterliegt weiterhin Überlegungen bezüglich Anwendbarkeit, Ästhetik, Kosten und Biokompatibilität [6].

7 Literaturverzeichnis

[1] KZBV. KZBV Jahrbuch 2017. Berlin: KZBV, 2018; 92, 104

(accessed Nov 28, 2018, at https://www.kzbv.de/static/flips/jahrbuch2017_flip/)

[2] Kunzelmann KH. Entscheidungsweg: Befestigungstechniken für vollkeramische Systeme. ZWR, 2014; 123:220-23

[3] Pospiech P. Vollkeramik – Ein Kompendium für die keramikgerechte Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin. 3M ESPE AG, 2004

(accessed Nov 16, 2018, at http://multimedia.3m.com/mws/media/5987970/lava-keramik-vollkeramik-kompendium.pdf?fn=Lava_Vollkeramik_Kompend_D.pdf)

[4] de Backer H, Van Maele G, De Moor N, Van den Berghe L, De Boever J. A 20-year retrospective survival study of fixed partial dentures. International Journal of Prosthodontics, 2006; 19:143-153

[5] Morimoto S, Rebello de Sampaio FB, Braga MM, Sesma N, Ozcan M. Survival rate of resin and ceramic inlays, onlays, and overlays: a systematic review and meta-analysis. Journal of Dent Research, 2016; 95:985-94

[6] Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro. Dental Materials, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

[7] Bandlish LK, Mariatos G. Long-term survivals of 'direct wax' cast gold inlays: a retrospective study in a general dental practice. British Dental Journal, 2009; 207:111-5

- [8] Manhart J, Chen H, Hamm G, Hickel R. Buonocore memorial lecture. Review of the clinical survival of direct and indirect restorations in posterior teeth of the permanent dentition. *Operative Dentistry*, 2004; 29:481-508
- [9] Federlin M, Hiller KA, Schmalz G. Controlled, prospective clinical split-mouth study of cast gold vs. ceramic partial crowns: 5.5 year results. *American Journal of Dentistry*, 2010; 23:161-7
- [10] Federlin M, Wagner J, Manner T, Hiller KA, Schmalz G. Three-year clinical performance of cast gold vs. ceramic partial crowns. *Clinical Oral Investigations*, 2007; 11:345-52
- [11] Cenci MS, Pereira-Cenci T, Cury JA, ten Cate JM. Relationship between gap size and dentine secondary caries formation assessed in a microcosm biofilm model. *Caries Research*, 2009; 43:97-102
- [12] Khvostenko D, Salehi H, Naleway SE, Hilton TJ, Ferracane JL, Mitchell JC, Kruzic JJ. Cyclic mechanical loading promotes bacterial penetration along composite restoration marginal gaps. *Dental Materials*, 2015; 31:702-10
- [13] Wong L, Sissons C. A comparison of human dental plaque microcosm biofilms grown in an undefined medium and a chemically defined artificial saliva. *Archives of Oral Biology*, 2001; 46:477-86.
- [14] Kuper NK, Opdam NJ, Bronkhorst EM, Ruben JL, Huysmans MC. Hydrodynamic flow through loading and in vitro secondary caries development. *Journal of Dental Research*, 2013; 92:383-7
- [15] Askar H, Brouwer F, Lehmsiek M, Paris S, Schwendicke F. The association between loading of restorations and secondary caries lesions is moderated by the restoration material elasticity. *Journal of Dentistry*, 2017; 58:74-9

[16] Schwendicke F, Kern M, Blunck U, Dorfer C, Drenck J, Paris S. marginal integrity and secondary caries of selectively excavated teeth in vitro. *Journal of Dentistry*, 2014; 42:1261-8

[17] Dérand T, Birkhed D, Edwardsson S. Secondary caries related to various marginal gaps around amalgam restorations in vitro. *Swedish Dental Journal*, 1991; 15:133-8

[18] Thomas RZ, Ruben JL, ten Bosch JJ, Fidler V, Huysmans MCDNJM. Approximal secondary caries lesion progression, a 20-week in situ study. *Caries Research*, 2007; 41:399-405

8 Eidesstattliche Versicherung

Ich, Michel Lehmensiek, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE - www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Grafiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Mein Anteil an der ausgewählten Publikation entspricht dem, der in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem Betreuer, angegeben ist. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o.) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§§ 156, 161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.

11.03.2019

Unterschrift

9 Ausführliche Anteilserklärung an der erfolgten Publikation

Publikation 1: Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, Dental Materials, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Beitrag im Einzelnen:

- Mitgestaltung und Planung des Versuchsaufbaus
- Durchführung und Auswertung der Vorversuche
- Präparation der Restaurationen und Probekörper
- Durchführung der Versuche
- Mineralverlustanalyse mittels Transversaler Mikroradiografie (TMR)
- Manuskriptentwurf
- Fertigstellung des Manuskriptes nach Korrektur aller beteiligten Autoren

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers

Unterschrift des Doktoranden

10 Auszug aus der Journal Summary List (ISI Web of KnowledgeSM)

Journal Data Filtered By: **Selected JCR Year: 2017** Selected Editions: SCIE,SSCI
 Selected Categories: **"DENTISTRY, ORAL SURGERY and MEDICINE"**
 Selected Category Scheme: WoS
Gesamtanzahl: 91 Journale

Rank	Full Journal Title	Total Cites	Journal Impact Factor	Eigenfactor Score
1	PERIODONTOLOGY 2000	4,308	6.220	0.004430
2	JOURNAL OF DENTAL RESEARCH	19,305	5.380	0.020950
3	ORAL ONCOLOGY	8,949	4.636	0.013760
4	CLINICAL ORAL IMPLANTS RESEARCH	14,065	4.305	0.016880
5	International Journal of Oral Science	918	4.138	0.002240
6	JOURNAL OF CLINICAL PERIODONTOLOGY	13,300	4.046	0.011660
7	DENTAL MATERIALS	12,466	4.039	0.012560
8	JOURNAL OF DENTISTRY	8,247	3.770	0.012020
9	JOURNAL OF PERIODONTOLOGY	15,619	3.392	0.011420
10	Journal of Prosthodontic Research	686	3.306	0.001650
11	Clinical Implant Dentistry and Related Research	3,633	3.097	0.008520
12	INTERNATIONAL ENDODONTIC JOURNAL	7,002	3.015	0.007330
13	JOURNAL OF ENDODONTICS	16,585	2.886	0.013050
14	JOURNAL OF PERIODONTAL RESEARCH	4,100	2.878	0.004100
15	Molecular Oral Microbiology	919	2.853	0.002150
16	European Journal of Oral Implantology	960	2.809	0.002220
17	JOURNAL OF THE AMERICAN DENTAL ASSOCIATION	6,654	2.486	0.004610
18	Journal of Evidence-Based Dental Practice	478	2.400	0.001140
19	Clinical Oral Investigations	4,868	2.386	0.011460
20	JOURNAL OF PROSTHETIC DENTISTRY	10,690	2.347	0.006160
21	ORAL DISEASES	3,869	2.310	0.004930
22	JOURNAL OF ORAL PATHOLOGY & MEDICINE	4,539	2.237	0.003700
23	CARIES RESEARCH	4,173	2.188	0.003120
24	INTERNATIONAL JOURNAL OF ORAL AND MAXILLOFACIAL SURGERY	7,796	2.164	0.009660

11 Druckexemplar der ausgewählten Publikation

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, Dental Materials, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, *Dental Materials*, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, *Dental Materials*, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, *Dental Materials*, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, *Dental Materials*, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, *Dental Materials*, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, *Dental Materials*, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

12 Lebenslauf

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

13 Publikationsliste

Publikation 1:

Lehmensiek M, Askar H, Brouwer F, Blunck U, Paris S, Schwendicke F:

„Restoration integrity, but not material or cementation strategy determined secondary caries next to indirect restorations in vitro“, Dental Materials, 2018; 34:e317-323

<https://doi.org/10.1016/j.dental.2018.09.004>

Impact Factor: 4,039

Publikation 2:

Askar H, Brouwer F, Lehmensiek M, Paris S, Schwendicke F:

„The association between loading of restorations and secondary caries lesions is moderated by the restoration material elasticity“, Journal of Dentistry, Volume 58, March 2017.

Impact Factor: 3,770

14 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Sebastian Paris und meinem Doktorvater Herrn PD Dr. Falk Schwendicke danke ich für die Überlassung des Themas und die hervorragende und schnelle Kommunikation.

Ich danke Dr. Haitham Askar für seine stete Unterstützung und seinen Einsatz auch außerhalb seiner Dienstzeiten.

Vielen Dank an Dr. Uwe Blunck und Dr. Fredrik Brouwer für die Ideengebung, das Korrekturlesen und die Verbesserungsvorschläge.

Ebenso gilt mein herzlicher Dank Frau Carola Schweynoch und insbesondere Herrn Rainer Toll, sie standen mir bei allen Laborarbeiten mit gutem Rat zur Seite.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei Sina Böhmann und meiner Familie bedanken.