

Sven Timo Schreiber<sup>1</sup>, Mozhgan Bizhang<sup>1</sup>, Stefan Zimmer<sup>1</sup>

# In-vitro-Studie zum Über-/Unterschussverhalten von chairside hergestellten Versorgungen

*In vitro study of material excess and underfilled margin behavior of chairside manufactured restorations*



Dr. Sven Timo Schreiber (Foto: privat)

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

Langlebige Versorgungen erfordern eine gute Randqualität. Die vorliegende Arbeit untersuchte die marginale Randintegrität chairside gefertigter Versorgungen mithilfe einer visuell-taktilen Methodik.

*Durable restorations require good marginal quality. The present study evaluated the marginal integrity of chairside manufactured restorations according to a visual and tactile assessment.*

**Einleitung:** Der Patientenwunsch nach einer langlebigen, naturidentischen und möglichst kostengünstigen Wiederherstellung verloren gegangener Zahnhartsubstanz hat in der heutigen Zeit stark an Bedeutung gewonnen. Um diesem Wunsch gerecht zu werden, bedarf es neben zahnfarbenen hochfesten Materialien einer möglichst harmonischen, spalt- und überschussfreien Randintegrität zwischen Restauration und Zahn. In einer In-vitro-Studie wurden verschiedene im Chairside-Verfahren hergestellte Versorgungen nach Eingliederung bezüglich ihres Über-/Unterschussverhaltens mittels einer visuell-taktilen Methode untersucht.

**Material und Methoden:** In 60 extrahierte kariesfreie menschliche Molaren wurden standardisierte Klasse-II MOD-Kavitäten mit approximalen Kästen jeweils 1,5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze präpariert. Diese wurden in modifizierte Phantommodelle (KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) platziert und mit menschlichen, unversehrten Nachbarzähnen versehen. Die Proben wurden randomisiert 3 Gruppen (n = 20/Gruppe) zugeordnet. Die Kavitäten in Gruppe I wurden mit indirekten Kompositinlays (GrandioSO, VOCO, Cuxhaven, Deutschland), welche extraoral auf einem Silikon-Modell (Die silicone, VOCO, Cuxhaven, Deutschland) hergestellt wurden, restauriert. Die Kavitäten in Gruppe II wurden mit CAD/CAM (CEREC 3D, Sirona, Wals, Österreich) Keramikinlays (IPS Empress CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) und die Kavitäten der Gruppe III mit inkrementell geschichteten direkten Kompositfüllungen (GrandioSO) versorgt. Die Inlays wurden mit einem dualhärtenden Befestigungskomposit (BiFix QM, VOCO, Cuxhaven, Deutschland) ein-

**Introduction:** Nowadays the demand for a durable, nature-identical and cheap restoration of lost dental hard tissue has considerably increased. To meet this requirement, in addition to tooth-colored and high-strength materials it is necessary to ensure the best possible marginal integrity between restoration and tooth. In an in-vitro study, various manufactured chairside restorations were evaluated after cementation regarding marginal excess and underfilling behavior according to a visual and tactile method.

**Material and Methods:** 60 standardized class II MOD-cavities with 2 proximal boxes extending 1.5 mm below the cemento enamel junction were prepared in extracted human molars which were placed in modified phantom models (KaVo, Biberach an der Riß, Germany). The cavities were randomly assigned to 3 groups (n = 20 each). Cavities in group I were restored with indirect composite inlays (GrandioSO, VOCO, Cuxhaven, Germany) extraorally fabricated on a silicone model (Die silicone, VOCO, Cuxhaven, Germany). Cavities in group II were restored with CAD/CAM (CEREC 3D, Sirona, Wals, Austria) ceramic inlays (IPS Empress CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) and in group III with incrementally layered direct resin composite (GrandioSO). All Inlays were luted with a dual-curing resin cement (BiFix QM, VOCO, Cuxhaven, Germany). After finishing and polishing, the cervical margins were evaluated visually and tactilely using a

<sup>1</sup> Zahnklinik, Abteilung für Zahnerhaltung und Präventive Zahnmedizin, Universität Witten/Herdecke

Peer-reviewed article: eingereicht: 06.07.2015, revidierte Fassung akzeptiert: 07.12.2015

DOI 10.3238/dzz.2017.4764

gesetzt. Nach Ausarbeitung und Politur wurde der zervikale Rand visuell-taktil mithilfe einer zahnärztlichen Sonde (DA458R, Aesculap, Tuttlingen, Deutschland) untersucht und nach folgendem Schema bewertet: Marginal Quality 1 (MQ1): perfekter Rand (Score 0), MQ2: Über-/Unterschuss < 1/3 der Randlänge (Score 1), MQ3: Über-/Unterschuss < 2/3 der Randlänge (Score 2), MQ4: Über-/Unterschuss > 2/3 der Randlänge (Score 3), MQ5: kompletter Über-/Unterschuss (Score 4). Die statistische Analyse erfolgte mit dem Mann-Whitney-U-Test ( $p \leq 0,05$ ).

**Ergebnisse:** Der Gesamt-Score (MQ1 bis MQ5; Median, 1. und 3. Quartil) für alle Auswertungsbereiche in Gruppe I betrug 19,5 (14,5–24,0) in Gruppe II 11,5 (8,3–16,0) und in Gruppe III 12,0 (6,3–16,0). Die Ergebnisse für Gruppe I waren statistisch signifikant schlechter als für Gruppe II und III ( $p \leq 0,05$ ), zwischen Gruppe II und III bestand kein signifikanter Unterschied.

**Schlussfolgerung:** Unter Berücksichtigung der Limitationen dieser Studie deuten die Ergebnisse auf eine bessere zervikale Randbeschaffenheit der CAD/CAM Inlays und der direkten Kompositfüllungen im Vergleich zu den indirekten Kompositinlays nach Eingliederung hin. Die aus der vorliegenden Studie gewonnenen Erkenntnisse können für Hersteller hilfreich sein, ihre Systeme zur Anfertigung von indirekten Kompositrestaurationen zu verbessern. Gleichzeitig wird der Praktiker auf mögliche Schwachstellen solcher Systeme aufmerksam gemacht und kann diese bei zukünftiger Indikationsstellung stärker berücksichtigen. (Dtsch Zahnärztl Z 2017; 72: 24–33)

*Schlüsselwörter.* Komposit; Kompositinlay; Keramikinlay; CAD/CAM; CEREC-3D; Randqualität; Sondierung; Über-/Unterschuss

dental probe (DA458R, Aesculap, Tuttlingen, Deutschland) as follows: Marginal Quality 1 (MQ1): perfect margin (Score 0), MQ2: excess/underfilled margin < 1/3 margin length (Score 1), MQ3: excess/underfilled margin < 2/3 margin length (score 2), MQ4: excess/underfilled margin > 2/3 margin length (Score 3), MQ5: complete marginal excess/underfilled margin (Score 4). Mann-Whitney-U-Test served for statistical analysis ( $p \leq 0.05$ ).

**Results:** The sum score (MQ1 to MQ5; median, 1st and 3rd quartile) for all evaluation areas was 19.5 (14.5–24.0) in group I, 11.5 (8.3–16.0) in group II, and 12.0 (6.3–16.0) in group III. Results were statistically significantly inferior for group I when compared to group II and group III ( $p \leq 0.05$ ). No significant difference was found between group II and III.

**Discussion:** Within the limitations of this study, the results show that CAD/CAM inlays and direct resin composite restorations provide better cervical marginal integrity than the indirect composite inlay system after cementation. The findings from the present study can be helpful for manufacturers to improve their systems for the fabrication of indirect composite restorations. Furthermore, the study can provide information about possible weaknesses of such systems to the dental practitioner.

*Keywords:* composite; composite inlay; ceramic inlay; marginal quality; probing; excess/underfilled margin

## Einleitung

Keramikinlays werden bereits seit vielen Jahrzehnten zur Restauration von Zahndefekten eingesetzt. Auch die Versorgung mit einfachen Kompositinlays liegt bereits fast 80 Jahre zurück. Der recht schwache Verbund zum Zahn, ungenügende Stabilität sowie, im Falle der ersten Kompositinlays, eine erhebliche Polymerisations-schrumpfung mit daraus resultierenden großen Zementfugen, stellten zur damaligen Zeit ein großes Problem dar.

Erst die Ära moderner Verbundwerkstoffe in Form von Kompositen und besonders die Erfolge der Adhäsivtechnik befreiten sowohl Keramik als auch Kompositinlays aus ihrem Nischendasein. Ende der 1980er Jahre konnten Kompositinlays als gute Alternative zu den direkten Füllungs-techniken angesehen werden. Der größte Nachteil, die hohe Polymerisations-schrumpfung von Kompositen der ersten Generation, konnte zumin-

dest zu einem Großteil umgangen und damit der Spannungsstress am Zahn erheblich verringert werden [2, 16]. Mit der Entwicklung moderner Feinpartikelhybridkomposite mit immer geringeren Schrumpfungswerten stellte sich jedoch zunehmend die Frage nach der Indikation indirekt gefertigter Kompositinlays.

Geht es um die ästhetische Restauration ausgedehnter Kavitäten, so stellen Keramiken heute den Standard in der zahnmedizinischen Versorgung dar. Klinische Langzeitstudien bestätigen die hohen Überlebensraten keramischer Versorgungen. So ermittelten Frankenberger et al. eine 94%ige Erfolgsrate nach 6 Jahren [7]. Auch eine Studie über einen Zeitraum von 10 Jahren kam zu ähnlichen Ergebnissen. Hier wurden sogar Erfolgsraten von bis zu 97 % ermittelt [8]. Als vorteilhaft kann auch die relativ gute Passgenauigkeit dieser Werkstoffe mit einem Randspalt von durchschnittlich 95  $\mu\text{m}$  angesehen werden [25].

Moderne Silikatkeramiken müssen jedoch aufwendig im zahntechnischen Labor im Gieß- oder Pressverfahren hergestellt werden. Eine direkte Herstellung am Patienten in einer einzigen Sitzung ist mit diesen Verfahren nicht möglich.

Einen anderen Weg des Herstellungsprozesses beschritten verschiedene Firmen bereits in den frühen 1980er Jahren mit der Entwicklung computer-gestützter Abform- und Anfertigungsmethoden. Die Formgebung der Restauration erfolgt dabei aus industriell vorgefertigten Keramikblöcken. Der Begriff der „Chairside-Herstellung“ zahnmedizinischer Restaurationen wurde geprägt. Fortan war es möglich, keramische Inlays, Onlays und Teilkronen in einer Sitzung am Patienten herzustellen und einzugliedern. Die computergestützte keramische Rekonstruktion (CEramic REConstruction > CEREC) der Firma Sirona (Wals, Österreich) war das erste weltweit kommerziell erhältliche CAD/CAM-Verfahren. Die mittlerweile 4. Entwicklungsstufe



**Abbildung 1** Modifiziertes Phantommodell zur Aufnahme von menschlichen Molaren

**Figure 1** Modified phantom model for adding human molars



**Abbildung 2** Phantommodell mit eingegliederten menschlichen Molaren

**Figure 2** Phantom model with incorporated human molars

gilt heutzutage als echte Alternative zur Laboranfertigung keramischer Restaurationen. Die Genauigkeit des hergestellten Zahnersatzes wurde mit jeder Version des CEREC-Systems besser. So wurden bereits mit dem CEREC-II-System Fugenbreiten von im Mittel nur noch 50–75  $\mu\text{m}$  erreicht [21]. Es ist daher auch nicht verwunderlich, dass in Langzeitstudien Überlebensraten zwischen 80 % und 90 % beschrieben werden [26, 27]. Es kann durchaus festgestellt werden, dass die heutzutage erreichte Präzision den laborgefertigten Restaurationen in nichts mehr nachsteht. So kommt auch eine Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) zu dem Schluss, dass „CEREC-Keramikinlays eine hochwertige und klinisch bewährte Art der zahnfarbenen Seitenzahnversorgung und eine Alternative zu laborgefertigten Keramikinlays darstellen.“ [10].

Ein Nachteil beider Verfahren bleibt jedoch der für den Patienten relativ hohe Kostenaufwand durch das zwischengeschaltete Labor bzw. den hohen Investitionsaufwand entsprechender computergestützter Systeme. Daher wird häufig in der Zahnarztpraxis, trotz entsprechender Indikation, auf eine Versorgung mit Einlagefüllungen zugunsten herkömmlicher Kompositversorgungen verzichtet.

Im Rahmen der 2012 neu verabschiedeten Gebührenordnung für Zahnärzte (GOZ) und den damit ver-

bundenen schlechteren Liquidationsmöglichkeiten für Kompositfüllungen interessieren sich viele Zahnärzte sowie Hersteller dentaler Materialien verstärkt für die Möglichkeiten der indirekten Versorgung. Dukic et al. untersuchten in einer klinischen 3-Jahres-Studie das Komposit GrandioSO (VOCO, Cuxhaven, Deutschland) in Verwendung als indirekt hergestelltes Inlay und kamen dabei zu guten Ergebnissen. Nach 3 Jahren waren noch 100 % der eingesetzten Inlays intakt. Die Randintegrität zeigte bei 71 % der Inlays exzellente Ergebnisse. Die restlichen Versorgungen wurden mit „gut“ bewertet [5]. Allerdings ist die Variationsbreite der Zementfuge von 54–150  $\mu\text{m}$  bei indirekt hergestellten Kompositinlays als sehr groß anzusehen [23]. Dies könnte auf einen nicht einheitlichen Herstellungsprozess dieser Versorgungen hindeuten.

Um den Herstellungsprozess der Einlagefüllungen zu erleichtern, entwickelte die Firma VOCO ein semi-direktes Verfahren, um eine „Chairside-Behandlung“ von extraoral hergestellten Kompositinlays zu ermöglichen. Die Datenlage zu direkt gelegten Kompositfüllungen ist sehr umfassend. Die heutigen modernen Hybridkomposite weisen nur noch geringe Schrumpfungswerte und verbesserte mechanische Eigenschaften auf.

So gibt die Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) in einer gemeinsamen

Stellungnahme mit der DGZ bekannt: „Die Lebensdauer von Kompositrestaurationen liegt heute [...] in einer ähnlichen Größenordnung wie die von Amalgamfüllungen, wenn die Verarbeitungshinweise eingehalten [...] werden.“ [11].

Im Rahmen einer In-vitro-Studie wurde die Randintegrität von chairside gefertigten Kompositinlays, CEREC-3D-Keramikinlays und Kompositfüllungen an tief extendierten Kavitäten in Bezug auf das Über- und Unterschussverhalten des Befestigungskomposits mithilfe einer visuell-taktilen Methodik verglichen und bewertet.

## Material und Methoden

### Vorbereitung

Für die vorliegende Studie wurden 60 frisch extrahierte kariesfreie menschliche Molaren untersucht, welche randomisiert auf 3 Gruppen ( $n = 20/\text{Gruppe}$ ) verteilt wurden. Die Zähne wurden für die Dauer der Studie in einer Thymollösung (0,1 % Thymol in physiologischer Kochsalzlösung) gelagert. Vor Beginn der Präparation wurden die Zähne mit Küretten (Hu-Friedy, Chicago, USA) von Gewebsresten und Konkrementen befreit und mit rotierenden Nylonbürsten (Busch & CO., Engelskirchen, Deutschland) sowie einer fluoridfreien Polierpaste (Kerr, Rastatt, Deutschland) gesäubert.





**Abbildung 3** Klasse-II (MOD) Kavitätenpräparation (Sicht von approximal)

**Figure 3** Class II (MOD) cavity preparation (proximal view)



**Abbildung 4** Klasse-II (MOD) Kavitätenpräparation (Sicht von okklusal)

**Figure 4** Class II (MOD) cavity preparation (occlusal view)

Marginal Quality (MQ)	
MQ 1 – Score 0	kein Über- oder Unterschuss
MQ 2 – Score 1	Über- oder Unterschuss < 1/3
MQ 3 – Score 2	Über- oder Unterschuss < 2/3
MQ 4 – Score 3	Über- oder Unterschuss > 2/3
MQ 5 – Score 4	kompletter Über- oder Unterschuss

**Tabelle 1** Qualitätskriterien für die visuell-taktile Randbeurteilung

**Table 1** Criteria for visual-tactile assessment of the margin

Um möglichst klinische Bedingungen zu simulieren, wurden für den Versuchsaufbau speziell modifizierte Phantommodelle (KaVo, Biberach an der Riß, Deutschland) verwendet. Die Modelle wurden zur Aufnahme der Probenzähne im Bereich der Molaren mit einer Fräse erweitert. Zur Fixierung der Proben wurde ein additionsvernetzendes, schnell härtendes Silikon (Silagum Putty fast, DMG, Hamburg, Deutschland) verwendet. Die Proben konnten so entsprechend ihrer ursprünglichen Lage im Ober- oder Unterkiefer arretiert und mit menschlichen Nachbarzähnen versehen werden (Abb. 1, 2).

Die Präparation der MOD-Kavitäten erfolgte nach standardisierten Vorgaben mit einem speziellen Inlay-Präparations-Set (Inlay-Präparations-Set 4261,

Komet Dental, Lemgo, Deutschland). Alle zu untersuchenden Zähne wurden mit einer ausgedehnten Präparation versehen (Abb. 3, 4) und im Anschluss vermessen (Tab. 1–3). Die Isthmusbreite betrug  $\frac{2}{3}$  (3,5–5,5 mm) des bukkolingualen Höckerabstandes; die Höhe der Kavität im Mittel 4,5 mm (3,5–5,5 mm). Die approximalen Kästen befanden sich 1,5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze. Die Breite der Kästen betrug 1,5 mm; die Höhe bis zum Boden des okklusalen Durchzugs im Mittel 3 mm (2,5–4 mm).

#### Herstellung der Restaurationen

Die Herstellung der Kompositinlays erfolgte mithilfe des GrandioSO Inlay-Systems (VOCO, Cuxhaven, Deutsch-

land). Dabei wird über ein neu entwickeltes additionsvernetzendes Silikon (Die silicone, VOCO, Cuxhaven, Deutschland) ein Modell zur extraoralen Herstellung von Kompositinlays erstellt. Hierfür war es zunächst erforderlich, die Versuchs- und Nachbarzähne mit Alginat abzuformen. Nach Auffüllung der Abformung mit dem entsprechenden Silikon und Härtung des Modells konnten die Inlays modelliert werden (Abb. 5–8). Das Silikonmodell musste hierzu nicht zusätzlich isoliert werden. Die Modellation der Kompositinlays erfolgte nach Herstellerangaben schichtweise mit jeweils 40 sec Lichthärtung und ohne zusätzliche Ausformungshilfen wie Matrizen oder Keile mit dem Komposit GrandioSO (VOCO, Cuxhaven, Deutschland). Nach der Entnahme der Inlays aus dem Modell wurden diese im Lichtofen (Individuo Light Box, VOCO, Cuxhaven, Deutschland) nachvergütet.

Die Herstellung der CAD/CAM-Inlays erfolgte über eine optische Abformung der Versuchszähne mit der CEREC-Bluecam (Sirona, Wals, Österreich) und anschließender Fertigung der Restaurationen mit dem CEREC-3D-System (Sirona, Wals, Österreich) und der Schleifeinheit CEREC MC XL (Sirona, Wals, Österreich). Versuchs- und Nachbarzähne wurden vor der optischen Abtastung dünn mit einer Titandioxidsuspension (Cerec Optispray, Sirona, Wals, Österreich) benetzt. Die Konstruktion der Inlays erfolgte im Automatikmodus und mit voreingestellten Standardwerten. Die Inlays wurden anschließend aus einem leuzitverstärkten Glaskeramik-Block (IPS Empress CAD, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein) gefräst.

Die Füllungen wurden mit dem Komposit GrandioSO und nach den Prinzipien der Inkrementschichttechnik [20] direkt am Phantomkopf angefertigt. Nach gründlicher Reinigung der Kavitäten mit rotierenden Nylon-Bürstchen erfolgte die Konditionierung mit 37%iger Orthophosphorsäure. Hierbei wurde zunächst der Schmelz zirkulär für 30 sec konditioniert, bevor eine zusätzliche Ätzung des Dentins im Sinne einer Total-Etch-Technik für 15 sec erfolgte. Nach 20 sec Absprayszeit mit Wasser und sanfter Lufttrocknung wurde das All-in-One-Adhäsiv Futurabond U (VOCO, Cuxhaven,

Gruppe	Proben mit Über-/Unterschuss mesial		Proben mit Über-/Unterschuss distal	
	ja	nein	ja	nein
1 – Komposit-Inlay	18	2	20	0
2 – Cerec-Inlay	13	7	20	0
3 – Komposit-Füllung	17	3	20	0

**Tabelle 2** Anzahl der Proben mit zervikalem Über- und Unterschuss für die Auswertungsbereiche mesial und distal

**Table 2** Number of samples with cervical excess composite resin and gap formation for the evaluation areas mesial and distal

Deutschland) gleichmäßig auf alle Kavitätenflächen aufgetragen und für 20 sec sanft einmassiert. Nach kurzem gleichmäßigen Verblasen der Adhäsivschicht erfolgte die Aushärtung mit einer Polymerisationslampe (Translux Blue, Heraeus Kulzer, Hanau, Deutschland). Die Modellation der Kompositrestaurationen erfolgte schichtweise (< 2 mm) und unter Zuhilfenahme von Teilmatrizen (Palodent Plus, Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland), die durch teils individualisierte Holzkeile an die approximalen Kavitätenränder adaptiert wurden. Der schichtweisen Lichthärtung des Komposits für jeweils 40 sec folgte nach Entfernung der Matrizen eine weitere Härtung der approximalen Bereiche für 40 sec.

#### Einpassen und Einsetzen der Inlays

Die Komposit- und Keramikinlays wurden nach ihrer Herstellung visuell auf etwaige Fehler (Inhomogenitäten/Unterschüsse) überprüft. Ihr einwandfreier Sitz wurde mithilfe eines dünnfließenden Silikons kontrolliert. Hierdurch sichtbar gemachte Störstellen wurden mit einem kleinen kugelförmigen Diamanten entfernt. Überschüsse, die im Falle der Kompositinlays in Form von dünn auslaufenden Fahnen auftraten, wurden mit einem feinen flammenförmigen Diamanten entfernt (Abb. 9, 10).

Nach der Überprüfung und ggf. Einpassung der indirekt hergestellten Restaurationen folgte die Eingliederung am Phantomkopf. Zur Oberflächenvergrößerung wurden die Restaurationsbasen zunächst mit Aluminiumoxid sandgestrahlt. Es folgte die

Gruppe	Proben mit Überschuss	Proben mit Unterschuss
1 – Komposit-Inlay	13	18
2 – Cerec-Inlay	8	18
3 – Komposit-Füllung	20	2

**Tabelle 3** Anzahl der Proben mit zervikalem Überschuss bzw. Unterschuss

**Table 3** Number of samples with cervical excess composite resin respectively gap formations

(Abb. 1–12, Tab. 1–3: S.T. Schreiber)

gründliche Reinigung mit 70%igem Alkohol und die Konditionierung mit 5%iger Flusssäure (IPS Ceramic Etching Gel, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) für 60 sec (Keramikinlay) bzw. 15 sec (Kompositinlay). Nach der Säuberung mit Wasserspray und anschließender Lufttrocknung für 10 sec, folgte die Silanisierung der Inlaybasen mit einem Universal-Primer (Monobond Plus, Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) mit einer Einwirkzeit von 60 sec.

Die Vorbehandlung der Versuchszähne in Form von Reinigung, Konditionierung und Auftragen einer Adhäsivschicht erfolgte analog dem Vorgehen der Proben mit den direkten Kompositrestaurationen.

Im Anschluss wurden die Kavitäten gleichmäßig und dünn mit einem dualhärtenden Befestigungskomposit (BiFix QM, VOCO, Cuxhaven, Deutschland) beschickt und die Inlays leicht rüttelnd eingebracht. Grobe okklusale Überschüsse wurden direkt mit einem Schaumstoffpellet entfernt und die approximalen Bereiche mit einer

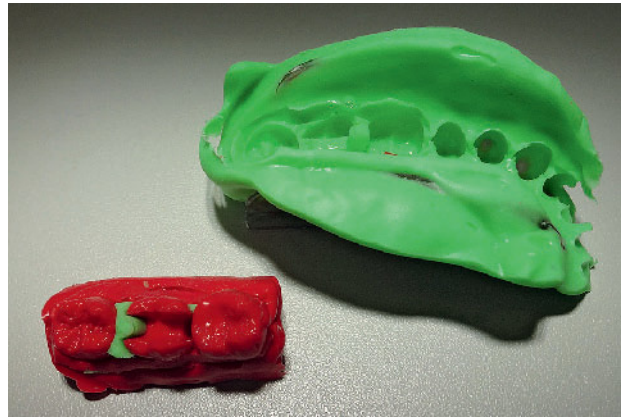
zuvor eingebrachten Zahnseide (Super-Floss, Oral-B, Schwalbach, Deutschland) gesäubert. Es folgte die Abdeckung der Kompositfuge mit einem Glycingel (Airblock, Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) und die Aushärtung von okklusal und beiden approximalen Seiten für jeweils 40 sec (Abb. 11, 12).

#### Ausarbeitung

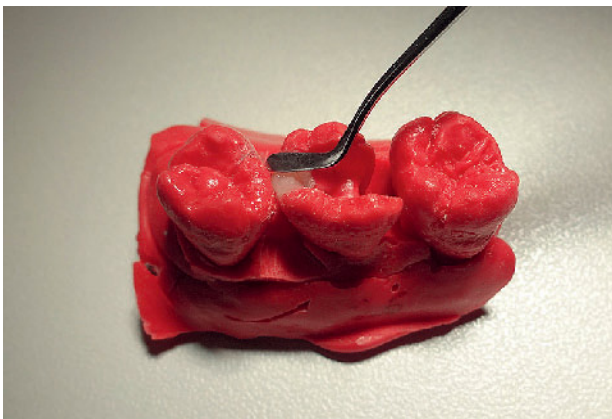
Die Ausarbeitung erfolgte mit Finierdiamanten (8862.314.012, Komet Dental, Lemgo, Deutschland) sowie im Approximalbereich mit Polierscheiben (Sof-Lex 198C/1958M, 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) und Finierstreifen (Sof-Lex Finierstreifen, 3M ESPE, Seefeld, Deutschland) grober und mittlerer Körnung. Zur Politur wurden Scheibchen und Streifen mit der Körnung „fine“ und „superfine“ verwendet sowie spezielle Gummipolierer für Komposite (Polieret Composite REF 4312A, Komet, Lemgo, Deutschland) und Keramiken (Keramikpolitur REF 4313B, Komet, Lemgo, Deutschland).



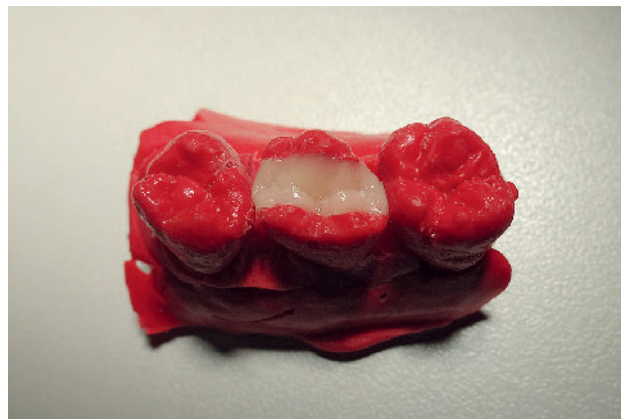
**Abbildung 5** Alginatabformung mit eingebrachter Silikonmasse  
**Figure 5** Alginate impression filled with silicone material



**Abbildung 6** Gehärtetes und ausgegliedertes Silikonmodell  
**Figure 6** Hardened and removed silicone model



**Abbildung 7** Modellation eines Kompositinlays  
**Figure 7** Modeling of a composite inlay



**Abbildung 8** Individuell gefertigtes Kompositinlay  
**Figure 8** Ready modeled and custom-made composite inlay

## Sondierung

Im Anschluss wurden die Zähne dem Phantommodell entnommen und unter einem Dentalmikroskop (OPMI pico, Carl Zeiss, Oberkochen, Deutschland) auf Über- bzw. Unterschüsse im zervikalen Bereich mithilfe einer Häkchensonde (DA458R, Aesculap, Tuttlingen, Deutschland) untersucht. Der zervikale Bereich wurde hierzu in einen horizontalen Anteil (Kastenboden) sowie 2 vom Kastenboden aus aufsteigende Anteile (Wölbung bukkal/oral) bis zur Schmelz-Dentin-Grenze hin eingeteilt. Dabei wurden die in Tabelle 4 dargestellten Qualitätskriterien verwendet.

## Auswertung

Die statistische Analyse wurde mit dem Programm SPSS (Version 22, IBM) und

dem Mann-Whitney-U-Test zum Vergleich von 2 unabhängigen, nicht normalverteilten Stichproben durchgeführt.

Die Messreihen der vorliegenden Untersuchung waren nicht normalverteilt (Kolmogorov-Smirnov-Test). Das Signifikanzniveau lag bei  $p \leq 0,05$  mit Alpha-Adjustierung.

## Resultate

Der Gesamtscore (Über-/Unterschuss) lag im Median (1. und 3. Quartil) bei der Gruppe der Kompositinlays bei 19,5 (14,5–24,0). Die CEREC-Gruppe zeigte einen Median von 11,5 (8,3–16,0) und die Kompositfüllungen von 12,0 (6,3–16,0).

Die Gruppen der CEREC-Inlays und Kompositfüllungen lagen damit

im Median annähernd gleich, während die Gruppe der Kompositinlays im Vergleich zu beiden anderen Gruppen deutlich schlechter bewertet wurde. Der Unterschied zu den beiden anderen Gruppen war höchst signifikant ( $p < 0,001$ ). Zwischen der CEREC- und der Kompositfüllungs-Gruppe bestand keine Signifikanz ( $p = 0,883$ ). Die Betrachtung der einzelnen Auswertungsbereiche zeigte keine signifikanten Unterschiede von Über- und Unterschüssen nach Anfertigung und Eingliederung der einzelnen Restaurationen (Abb. 13).

Bei der Betrachtung der Zahnflächen (mesial/distal) in Bezug auf den primären Endpunkt der Studie (kein Überschuss/Unterschuss in allen Auswertungsbereichen) war in allen 3 Versuchsgruppen ein besseres Ergebnis im mesialen Bereich festzustellen.





**Abbildung 9** CEREC-Inlay (oben) und Kompositinlay vor der Eingliederung

**Figure 9** CEREC-Inlay (above) and composite inlay prior to insertion

Zwei Kompositinlay-Proben zeigten keinen Über-/Unterschuss im mesialen Bereich. Bei den CEREC-Inlays und Kompositfüllungen waren es 7 bzw. 3. Im distalen Bereich zeigte jede Probe zumindest in einem Auswertungsbereich einen Über- oder Unterschuss (Tab. 5).

Die isolierte Betrachtung von Überschuss und Unterschuss ergab die in Tabelle 6 dargestellten Ergebnisse. Während in der vorliegenden Studie bei beiden indirekten Restaurationstechniken mit 18 von 20 Proben häufiger ein Unterschuss diagnostiziert wurde, zeigte sich bei der direkten Restaurationstechnik mit Komposit ein vermehrtes Auftreten von Überschüssen im zervikalen Bereich. Dies war bei allen 20 untersuchten Proben der Fall. Bei 2 Proben zeigte sich zusätzlich ein Unterschuss (Tab. 6).

## Diskussion

In der vorliegenden Studie wurde die Randintegrität chairside gefertigter Restaurationen in Bezug auf das Über-/Unterschussverhalten des Befestigungskomposits mithilfe einer visuell-taktilen Methodik untersucht. Ziel war es, das Ausmaß möglicher Über- und Unterschüsse bei der Anfertigung und Insertion verschiedenartiger res-



**Abbildung 10** Anprobe eines CEREC-Inlays (links) und eines Kompositinlays in der Zahnkavität

**Figure 10** Try-in of CEREC-Inlay (left) and composite inlay into the tooth cavity

taurativer Versorgungen zu ermitteln sowie Rückschlüsse auf die Techniksensitivität der unterschiedlichen Verfahren in tiefen Kavitäten zu ziehen. Verglichen wurden herkömmliche Kompositfüllungen mit indirekt inserierten CEREC-3D-Keramik- und Kompositinlays. Die durchgeführte Methodik erlaubt keine Rückschlüsse auf den adhäsiven Verbund zwischen Restauration und Zahnhartsubstanz und ebenso wenig auf das Langzeitverhalten unter klinischen Bedingungen.

Der Übergang zwischen Zahnhartsubstanz und Restauration sollte möglichst homogen verlaufen. Über- bzw. unterextendierte Füllungs-ränder können eine vermehrte Ansammlung von Plaque hervorrufen, die unter Umständen die Entstehung von Sekundärkaries und insbesondere von Parodontopathien begünstigen kann [9, 19, 24]. Randspalten und Zementunterschüsse können zudem das Auftreten von Hypersensibilitäten begünstigen [12]. Aber auch verstärkte Randverfärbungen durch Pigmenteinlagerungen begrenzen die Lebensdauer einer Versorgung beträchtlich, da durch die Fehlinterpretationen von Sekundärkaries ein Großteil dieser Füllungen entfernt wird [19, 24]. Vor diesem Hintergrund ist es sinnvoll, die gängigsten Applikations- bzw. Insertionstechniken verschiedenartiger res-

taurativer Verfahren miteinander zu vergleichen.

Üblicherweise werden Füllungs-ränder mit einer zahnärztlichen Sonde klinisch untersucht. Man versucht die Übergänge zu tasten und Spalten sowie Konturfehler in Form von Überschüssen, Unterschüssen oder Stufenbildungen zwischen Zahn und Restorationsmaterial auszuschließen. Es ist jedoch anzumerken, dass jede klinische Messung ausschließlich subjektiv erfolgt und Ergebnisse verschiedener Untersucher durchaus sehr unterschiedlich ausfallen können [3, 13]. So fanden Kerschbaum et al. in einer Studie zur Qualitätskontrolle mit der zahnärztlichen Sonde heraus, dass nur 50 % der ermittelten Werte auch den tatsächlichen Befunden entsprachen [13]. Zudem zeigt sich vor allem in nicht einsehbaren Bereichen wie dem Approximalraum eine nur unzuverlässige Diagnostik durch Sondierung [3]. Dies wurde auch in der vorliegenden Studie deutlich. Trotz gewissenhafter Säuberung, Ausarbeitung und Politur der marginalen Füllungs-ränder zeigten bei Betrachtung unter dem Dentalmikroskop 65 % der Kompositinlays und sogar 100 % der Kompositfüllungen zumindest in einem Auswertungsbereich einen Überschuss. Bei den CEREC-Inlays zeigte sich bei 44 % der Proben ein Überschuss und damit



**Abbildung 11** Adhäsiv befestigtes Inlay mit Kompositüberschuss an den Restaurationsrändern

**Figure 11** Adhesively cemented inlay with excess composite resin covering restoration margins



**Abbildung 12** Kompositinlay nach definitiver Eingliederung

**Figure 12** Finish inserted composite inlay

im Vergleich zu den anderen restaurativen Verfahren ein zumindest befriedigenderes Ergebnis. Das bessere Abschneiden der computergefertigten CEREC-Inlays im Überschussverhalten kann zum großen Teil auf die bessere Passung dieser Werkstoffe mit durchschnittlichen Abweichungen zwischen 56  $\mu\text{m}$  [17] und 85  $\mu\text{m}$  [4] zurückgeführt werden. Eine primäre Passung war in der vorliegenden Studie nur bei 2 CEREC-Inlays nicht gegeben. Bei den Kompositinlays konnte in 12 Fällen erst durch gezielte Einschleifmaßnahmen eine Passung erzielt werden. Der Grund hierfür könnte in dem leicht elastischen Zustand des Modellsilikons bestehen, der gerade bei sehr schmalen Kavitätenwänden und einer dadurch bedingten erhöhten Flexibilität zu Ungenauigkeiten bei der Inlaymodellation führen kann. Die matrixfreie Modellation hat zwar den Vorteil der Übersichtlichkeit und der dadurch bedingten guten approximalen Kontur- und Kontaktpunktgestaltung, gleichzeitig ist hierdurch aber kein dichter Abschluss zur Kavitätenbegrenzung gegeben. Die Modellation außerhalb der Kavität kann feine Kompositüberschüsse hervorrufen, die auch mit einer zahnärztlichen Sonde und einem Heidemannspatel im Approximalraum nur schwierig zu entfernen sind. Die notwendige Ausarbeitung, besonders im Randbereich der Restauration, führte zu Ungenauigkeiten. Die in der Literatur beschriebenen Passgenau-

igkeiten von Kompositinlays variieren sehr stark. Price und Gerrow untersuchten die Passgenauigkeit von indirekt modellierten Kompositinlays in Abhängigkeit verschiedener Abform- und Modellmaterialien und ermittelten Abweichungen von 54–150  $\mu\text{m}$  [23]. In einer kürzlich veröffentlichten Studie wurde das Inlay-System des Herstellers VOCO bezüglich der Passgenauigkeit der indirekt modellierten Kompositinlays mit denen von CAD/CAM-gefertigten CEREC-Inlays verglichen. Die Autoren ermittelten Werte von 97,6  $\mu\text{m}$  ( $\pm 73 \mu\text{m}$ ) bezogen auf die Längsachse und 71,8  $\mu\text{m}$  ( $\pm 46,4 \mu\text{m}$ ) in Bezug auf die Querachse [22]. Es bleibt festzuhalten, dass die zu erzielende Passung sehr stark von den Modellierfähigkeiten des Behandlers sowie der Kavitätengeometrie abhängt. Je größer die Kavität ausfällt, desto instabiler wird das Silikonmodell und desto ungenauer fällt das Ergebnis aus. In der vorliegenden Studie wurden tief extendierte Kavitäten mit nur geringer Restwandstärke verwendet (Tab. 1). Dies könnte ursächlich für die nur unzureichende Primärpassung und die damit erforderliche Nachbearbeitung der angefertigten Kompositinlays sein.

Die Versuchsproben mit direkten Kompositfüllungen zeigten die meisten Überschüsse (Tab. 6). Ausschlaggebend für eine überschussfreie Füllung ist die suffiziente Adaptation von Matrize und Kavitätenbegrenzung. Dies stellte in der vorliegenden Studie sehr

häufig ein Problem dar. Durch die tiefe, oftmals im Bereich der Furkation verlaufende Kastenpräparation, konnte in diesem Bereich sehr oft kein guter Randschluss erzielt werden. Die verwendeten, teils vorgebogenen und mit individualisierten Holzkeilen versehenen Teilmatrizen konnten die mitunter stark gewölbt verlaufenden marginalen Kavitätenbegrenzungen nicht randdicht abschließen. Dies war im Phantomkopf nicht immer eindeutig diagnostizierbar. Bei ungenügender Verkeilung kann Komposit zwischen Matrize und Zahnschmelze gepresst werden, was sich klinisch ebenfalls als Überschuss darstellt. Einige Autoren empfehlen eine Lining-Technik mit einem fließfähigen Komposit [6, 15]. Durch diese „Versiegelung“ von Matrize und Kavität mit einem niedrigviskosen Komposit ist ein Überpressen ausgeschlossen und es entsteht ein optimaler Übergang zwischen Matrize und Schmelzanschrägung sowie weiteren schwer zugänglichen Arealen [6]. Nachteilig ist das dünnfließende Material jedoch selbst, da es bei nicht exakt adaptierter Matrize zwischen diese und die Zahnhartsubstanz fließt und ebenfalls einen Überschuss hervorrufen kann. Porositäten und Lufteinschlüsse sind ebenfalls beobachtet worden [15]. Ein verbessertes Randverhalten bei Verwendung dieser Technik ist in klinischen Studien zudem umstritten [6].

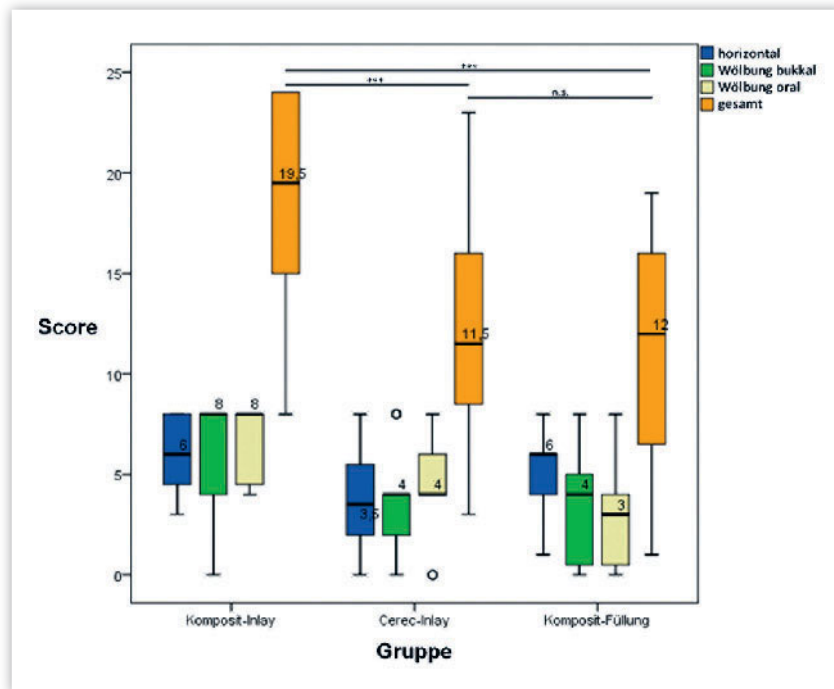
Bei den vorliegenden Ergebnissen muss berücksichtigt werden, dass



auch Überschüsse aufgenommen wurden, die mit der verwendeten zahnärztlichen Sonde unter dem Mikroskop kaum oder gar nicht sondierbar waren. Inwiefern ein Überschuss, und in welcher Größenordnung, klinisch relevant ist, muss in weiteren Studien noch untersucht werden. Die Literatur gibt hier bislang keine eindeutige Auskunft. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass auch sehr fein auslaufende Kompositfahnen, die zunächst klinisch kaum sondierbar sind und daher irrelevant erscheinen, durch Abplatzungen, besonders auf unkontrollierter Zahnhartsubstanz, klinische Folgen haben können. Eine vermehrte Anlagerung von Mikroorganismen und Toxinen und entstehende Randverfärbungen an der nun sondierbaren Stufe wären die Folgen.

Demgegenüber stehen Unterschüsse in Form von Fugen und Spalten. Angaben zur kritischen Randspaltbreite variieren unter den Autoren sehr stark. Schon Spalten ab 2 µm ermöglichen eine Penetration von Bakterien und Toxinen [1]. Spaltbreiten ab 100 µm führen zu einer deutlichen Verschleißzunahme [18]. Fugen ab einer Größe zwischen 250 µm und 400 µm können als klinisch relevante Plaqueretentionsstellen mit erhöhter Gefahr von Sekundärkaries gesehen werden [19].

Bei der Auswertung der visuell-taktil ermittelten Werte für Unterschüsse schnitten die indirekt inserierten Restaurationen schlechter ab. Der Grund hierfür kann zum einen an der Insertionstechnik liegen, zum anderen an der Methodik zum Entfernen der Überschüsse. Trotz sorgfältiger Applikation des Befestigungsmaterials an allen Kavitätenwänden können sich beim Inserieren der Restauration feine Luftbläschen im fließfähigen Komposit bilden, die dann, trotz rüttelnder Bewegungen, nicht gänzlich herausgepresst werden und sich teilweise im Bereich der Fuge niederlassen. Einige Autoren empfehlen eine Ultraschall-Insertions-Technik (USI) mit hochviskosen Zementen [14]. Anhand spezieller Aufsätze werden die Schwingungen über die Restauration an das Einsetzmaterial weitergegeben. Aufgrund der thixotropen Eigenschaften dieser Materialien, also der Fähigkeit bei anhaltender mechanischer Beanspru-



**Abbildung 13** Score der zervikalen Über- und Unterschüsse für die horizontalen Bereiche, die beiden aufsteigenden Anteile oral und bukkal sowie den gesamten Randbereich bis zur Schmelz-Zement-Grenze, bezogen auf den zusammengefassten Auswertungsbereich mesial u. distal (\*\*\*:  $p \leq 0,001$ ; n.s.: statistisch nicht signifikant)

**Figure 13** Score of the cervical excess composite resin and gap formation for the horizontal areas, the buccal and oral ascending areas and the total margin up to the cemento-enamel junction (sum up of mesial and distal) (\*\*\*:  $p \leq 0.001$ ; n.s.: not significant)

chung in einen fließfähigen Zustand überzugehen, lassen sich auch weniger fluide Komposite zur Insertion verwenden. Eine weitere Problematik stellt die Entfernung der Überschüsse im approximalen Raum dar. In der Regel erfolgt die Säuberung vor der Aushärtung mit Zahnseide und Schwämmchen. Es besteht allerdings die Gefahr, mit der hierfür verwendeten Zahnseide Kompositmaterial aus der Fuge zu ziehen, besonders wenn die Fugenbreiten 100 µm überschreiten [14]. Unterschüsse in diesem Bereich können die Folge sein. Dies dürfte auch in der vorliegenden Studie ein Grund für die beobachteten sondierbaren, teils muldenförmigen Aussparungen gewesen sein. Eine weitere Möglichkeit besteht in der kurzzeitigen Anhärtung der Zemente und anschließender Entfernung des noch leicht plastischen Materials. Dieses Vorgehen erfordert jedoch ein hohes Maß an Techniksensibilität, da ein zu langes Härten die Gefahr birgt, Kompositüberschüsse im Approximalraum

nicht mehr entfernen zu können. In der vorliegenden Studie wurde daher auf diese Methodik der Überschussentfernung verzichtet.

### Schlussfolgerungen

Bei Betrachtung aller Auswertungsbereiche und unter Zusammenfassung der Parameter Überschuss und Unterschuss zeigte sich ein besseres Randverhalten bei den CAD/CAM-gefertigten CEREC-Inlays sowie den direkten Kompositversorgungen in tief extendierten Kavitäten. Aus klinischer Sicht muss bei der Erstellung und Eingliederung der Kompositinlays besonderes Augenmerk auf die Ausarbeitung im zervikalen Bereich gelegt werden. Die Kompositinlays wiesen nach dem Einsetzen die meisten sondierbaren Über- und Unterschüsse auf. Als Ursache ist hier oftmals die Restauration selbst zu sehen. Die freie Modellation auf dem Silikonmodell sorgte häufig für Ungenauigkeiten, die nur in 40 % der Fälle eine Primärpassung in der

Zahnkavität erlaubten. Die weitere Ausarbeitung führte zudem zu Materialunterschüssen. Das niedrigvisköse Befestigungskomposit vermochte diese Bereiche häufig nicht vollständig aufzufüllen. Die Ungenauigkeiten und dadurch bedingten notwendigen Schritte der Nachbearbeitung führten zu einem zeitlichen Mehraufwand. Möglicherweise können durch Anwendung geeigneter Matrizesysteme, analog zu den direkt hergestellten Kompositfüllungen, bessere Ergebnisse erzielt werden.

Die durchgeführte visuell-taktile Diagnostik von Restaurationsrändern in tiefen Kavitäten stellte sich nur be-

dingt als geeignete Methodik dar, da nur grobe Ungenauigkeiten sicher und reproduzierbar diagnostiziert werden konnten. Gleichzeitig handelt es sich um eine stark subjektive Auswertungsmethodik. Zur Erhöhung der Reliabilität sollten in zukünftigen Studienplanungen mehr Untersucher hinzugezogen werden. **DZZ**

**Interessenkonflikt:** Das für diese Studie verwendete Material sowie die Durchführung und Auswertung der Arbeit wurden von der Firma VOCO GmbH finanziert. Die Planung, Durchführung und Auswertung der

Veröffentlichung wurde ohne Einflussnahme durch die VOCO GmbH ausgeführt. Es bestehen keinerlei finanzielle Beziehungen oder Abhängigkeiten zwischen den Autoren und der VOCO GmbH.

#### Korrespondenzadresse

Dr. Sven Timo Schreiber  
Zahnklinik, Abteilung für Zahnerhaltung  
und Präventive Zahnmedizin  
Universität Witten/Herdecke  
Alfred-Herrhausen-Str. 50  
58448 Witten  
sven.schreiber@uni-wh.de;  
s-t-schreiber@gmx.de

## Literatur

- Brännström M, Mattsson B, Torstenson B: Materials techniques for lining composite resin restorations: a critical approach. *J Dent* 1991; 19: 71–79
- Cassin AM, Pearson GJ: Microleakage studies comparing a one-visit indirect composite inlay system and a direct composite restorative technique. *J Oral Rehabil* 1992; 19: 265–270
- Christensen GJ: Marginal fit of gold inlay castings. *J Prosthet Dent* 1966; 16: 297–305
- Denissen H, Dozić A, van der Zel J, van Waas M: Marginal fit and short-term clinical performance of porcelain-veneered CICERO, CEREC, and Procera onlays. *J Prosthet Dent* 2000; 84: 506–513
- Dukic W, Dukic O, Milardovic S, Delija B: Clinical evaluation of indirect composite restorations at baseline and 36 months after placement. *Oper Dent* 2010; 35: 156–164
- Ernst C: Update Komposite Teil 1 – Eine Einteilung der Kompositmaterialien. *ZMK* 2010; 26: 198–206
- Frankenberger R, Sindel J, Kramer N, Petschelt A: Dentinhaftung von Keramikinlays in simulierten Kavitäten. *Dtsch Zahnärztl Z* 1998; 53: 507–512
- Fuzzi M, Rappelli G: Survival rate of ceramic inlays. *J Dent* 1998; 26: 623–626
- Geurtsen W: Crown and restoration margins. *Dtsch Zahnärztl Z* 1990; 45: 380–386
- Haller B, Ernst C, Hugo B et al.: Bewertung von Keramikrestorationen nach der CEREC-Methode – Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) und der Deutschen Gesellschaft für Computergestützte Zahnheilkunde (DGCZ). 2005
- Hickel R, Ernst H, Haller B et al.: Direkte Kompositrestaurationen im Seitenzahnbereich – Indikation und Lebensdauer. Stellungnahme – Gemeinsame Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK). *Dtsch Zahnärztl Z* 2005; 60: 543–545
- Ilie N, Hickel R: Resin composite restorative materials. *Aust Dent J* 2011; 56: 59–66
- Kerschbaum T, Mentler-Koesser M, Stender E: Qualitätskontrolle mit der zahnärztlichen Sonde. *Zahnärztl Mitt* 1990; 80: 2200–2210
- Krämer N, Lohbauer U, Frankenberger R: Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent* 2000; 13: 60D–76D
- Leevailoj C, Cochran M, Matis B, Moore B, Platt J: Microleakage of posterior packable resin composites with and without flowable liners. *Oper Dent* 2001; 26: 302–307
- Mörmann WH, Ameye C, Lutz F: Komposit-Inlays: Marginale Adaptation, Randdichtigkeit, Porosität und okklusaler Verschleiß. *Dtsch Zahnärztl Z* 1982; 37: 438–441
- Mörmann WH, Schug J: Grinding precision and accuracy of fit of CEREC 2 CAD-CIM inlays. *J Am Dent Assoc* 1997; 128: 47–53
- Noack M: Die Passgenauigkeit von Komposit-, Glaskeramik- und Keramikinlays. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49: 873–878
- Noack M, Haak R, Wicht J: Sekundärkarie – Prävention und Therapie. *Quintessenz* 2004; 10: 1073–1081
- Park J, Chang J, Ferracane J, Lee IB: How should composite be layered to reduce shrinkage stress: incremental or bulk filling? *Dent Mat* 2008; 24: 1501–1505
- Peters R, Rinke S, Schäfers F: Passungsqualität CAD/CAM-gefertigter Inlays in Abhängigkeit von der Kavitätenpräparation. *Dtsch Zahnärztl Z* 1996; 51: 587
- Pott PC, Rzasa A, Stiesch M, Eisenburger M: Internal and marginal fit of modern indirect class II composite inlays. *JDMT* 2014; 3: 99–105
- Price RB, Gerrow JD: Margin adaptation of indirect composite inlays fabricated on flexible dies. *J Prosthet Dent* 2000; 83: 306–313
- Sarrett DC: Prediction of clinical outcomes of a restoration based on in vivo marginal quality evaluation. *J Adhesive Dent* 2006; 9: 117–120
- Schmalz G, Federlin M, Geurtsen W: Sind Keramik-Inlays wissenschaftlich anerkannt? *Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49: 197–208
- Sjögren G, Molin M, Van Dijken J: A 10-year prospective evaluation of CAD/CAM-manufactured (Cerec) ceramic inlays cemented with a chemically cured or dual-cured resin composite. *IJP* 2003; 17: 241–246
- Zimmer S, Gohlich O, Ruttermann S, Lang H, Raab WH, Barthel CR: Long-term survival of Cerec restorations: a 10-year study. *Oper Dent* 2008; 33: 484–487