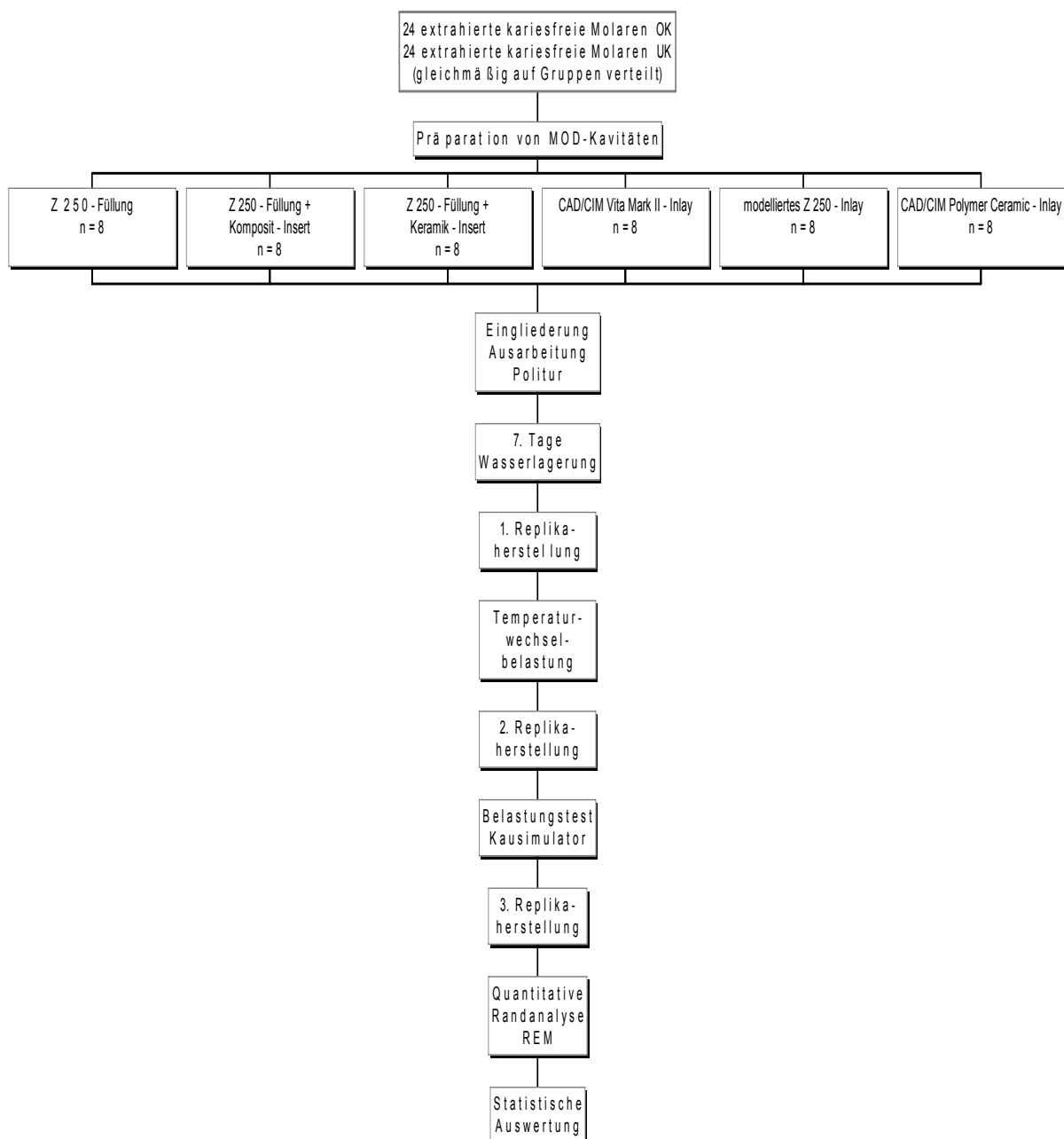


4 Material und Methode

Um die Frage zu klären, ob es unterschiedliche Randqualitätsmerkmale bei verschiedenen zahnfarbenen Restaurationssystemen gibt, wurden 48 MOD-Versorgungen untersucht. Bei allen Systemen, direkte Kompositfüllung, Kompositfüllung mit Inserts und Inlayversorgung wurde das Dentinhaftmittel Scotchbond One bzw. zusätzlich das Befestigungskomposit RelyX ARC verwendet.

4.1 Übersicht Methodik



4.2 Die Versuchsgruppen

Als Basis für die Untersuchung dienten 48 humane Molaren der zweiten Dentition, die nach der Extraktion in 20 %igem Alkohol gelagert worden waren. Die Auswahl setzte sich gleichmäßig aus unversorgten, möglichst kariesfreien und in ihrer Größe und Form einander entsprechenden Oberkiefer- und Unterkiefermolaren (6er, 7er) zusammen. Kariöse Läsionen wurden nur akzeptiert, wenn sie mit der Kavitätenpräparation vollständig entfernt werden konnten.

Skalpell¹, Scaler² und Kürette³ dienten zur Entfernung von Zahnstein und Geweberesten. Vor der Präparation erfolgte eine schonende Politur mit rotierender Bürste⁴ und Bimssteinpaste. Eine Markierung zur Identifikation der Proben wurde im Bereich der bukkalen Zahnfläche mit einem Kugeldiamanten⁵ angebracht. Zwischen den einzelnen Arbeitsschritten wurden die Zähne bei Raumtemperatur in Leitungswasser gelagert.

4.3 Präparation der MOD-Kavitäten

Vor der Präparation wurden die Zähne auf 6 Gruppen zu je 8 Zähnen verteilt. Dies erfolgte randomisiert unter Berücksichtigung, dass sich in jeder Gruppe jeweils 4 OK-Molaren und 4 UK-Molaren befanden. In die vorbereiteten Molaren wurden mit einem roten Winkelstück⁶ und speziellen konischen Inlaypräparierdiamanten⁷ bei ca. 160.000 Umdrehungen pro Minute unter ständiger Wasserkühlung MOD-Kavitäten präpariert. Unter direkter Sicht wurden standardisierte Kavitäten hergestellt (Abb.: 4.1.). Von okklusaler Aufsicht betrug die bucco-orale Ausdehnung zwischen den Höckern 4 mm, approximal wurde die Kavität auf 5 mm eröffnet. Ein Maß von 3,0 - 3,5 mm wurde in der Tiefenausdehnung zwischen Höckerspitze und Kavitätenboden angestrebt. Die Tiefe der zervikale Stufe betrug 1,0 - 1,5 mm. Die approximalen Kästen der MOD-Kavitäten wurden entweder mit einer Schmelz- oder Dentinstufe angelegt, wobei die Zuordnung mesial/distal zufällig gewählt wurde. Eine Stufe lag hierbei mit einem Abstand 1,0 - 1,5 mm von der Schmelz-Dentin-Grenze im Schmelz, die andere Stufe mit gleichem Abstand im Dentin. Unter Sicht einer Lupenbrille⁸ wurden alle Kavitäten im Anschluss mit konischen Finierdiamanten⁹ geglättet und auf

perfekte Ausarbeitung kontrolliert.

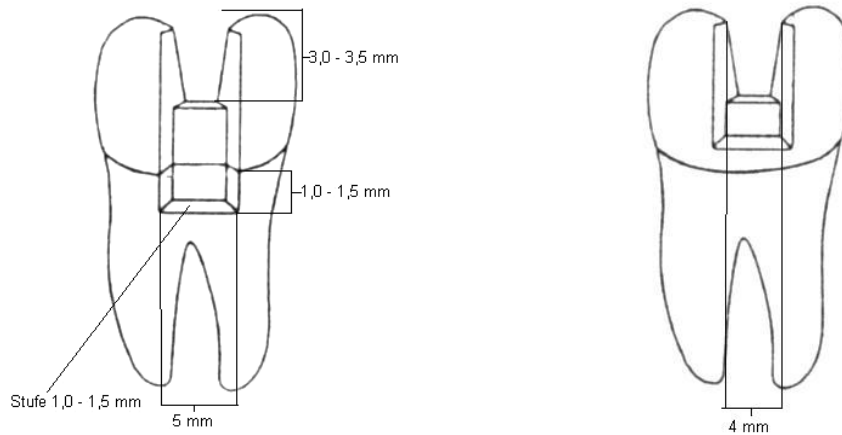


Abb. 4.1. Dentinbegrenzte (links) und schmelzbegrenzte (rechts) Kavitätenformen

4.4 Probenherstellung

Bei der Herstellung der Restaurationen wurden die vom Hersteller vorgegebenen Richtlinien befolgt.

4.4.1 Herstellung der Kompositinserts und Konditionierung der Inserts

Vorgefertigte Keramik-Inserts¹⁰, der Größe D₃/D₄ dienten als Ausgangsbasis für die Formgebung der Komposit-Inserts. Mit Hilfe von Silikon-Putty Masse¹¹ wurden die Keramikinserts abgeformt. Die ausgehärteten Silikonförmchen wurden mit 70 %igem Alkohol gereinigt und im Luftstrom getrocknet. In drei Schritten wurden die Negativ-Formen schichtweise mit Kompositmaterial¹² gefüllt und jeweils für 40 s mit einer Polymerisationslampe¹³ gehärtet, die Komposit-Inserts entsprachen dann der Form der Keramik-Inserts. Vor dem Einsetzen der Kompositinserts wurde eine Konditionierung vorgenommen. Mit Finierdiamanten⁹ wurden die Inserts angeraut. Nach gründlicher Reinigung mit Wasserspray für weitere 60 s und absoluter Trocknung im Luftstrom wurden die Inserts mit Silan¹⁴ für 60 s mit Kunststoffpinseln¹⁵ benetzt. Ein weiteres Trocknen für 5 s beendete den Vorgang des Silanisierens.

Obwohl die Keramikinserts schon vom Hersteller vorbehandelt worden waren, wurden sie für 60 s mit Flusssäure-Ätzel¹⁶ geätzt und wie die Kompositinserts silanisiert. Abschließend wurden alle Inserts mit einer dünnen Schicht Scotchbond One¹⁷ versehen. Die Applikation erfolgte mit Kunststoffpinselchen¹⁵. Diese Schicht wurde für 1-2 s leicht verblasen. So vorbereitet konnten die Inserts in das Kompositmaterial eingebracht werden.

4.4.2 Herstellung der Z 250 Inlays

Zur Herstellung der Kompositinlays wurde ein bleitotes Matrizenband¹⁸ im Tofflemire-Spanner¹⁹ um die Kavität gelegt. Die Kavität wurde mit Glyceringel²⁰ isoliert. Danach wurde das Komposit¹² mittels Spatel²¹ sowie Kugelstopfer²² schichtweise appliziert. Die erste Schicht der plastischen Kompositmasse Z 250 bedeckte alle Bereiche des Kavitätenbodens (zervikale Stufe im Schmelz und Dentin, pulpoaxiale Wände und okklusaler Boden), in der Menge entsprach dies 1/3 der Gesamtschichtdicke. Eine zweite und dritte Schicht füllten die Kavität in ihrer Gesamtheit, ggf. wurde eine vierte Schicht appliziert, um die okklusalen Verhältnisse zu optimieren. Zum Härten der einzelnen Schichten wurde eine Polymerisationslampe¹³ benutzt. Jede Schicht wurde 40 s belichtet. Nach der Entnahme erfolgte ein weiterer Polymerisationsprozess von der Unterseite des Inlays für 40 s und gewährleistete die adäquate Härtung aller Schichten.

Inlay und Kavität wurden anschließend mit Reinigungspaste²⁴ von Glycerinresten (Isolation) befreit. Die Kompositinlayunterseite wurde mit Finierdiamanten⁹ angeraut und mit Wasserspray (60 s) gründlich gereinigt. Nach absoluter Trocknung im Luftstrom wurde mit Kunststoffpinselchen¹⁵ für 60 s eine Silanschicht¹⁴ appliziert, die 5 s im Luftstrom getrocknet wurde.

4.4.3 Herstellung der CAD/CIM-Inlays

Das Vorgehen zur Aufnahme eines optischen Abdrucks umfasste folgende Schritte. Zuerst wurde die Kavität mit einem Luftbläser getrocknet, danach erfolgte die Benetzung der Zahn- und Kavitätenoberfläche mittels Kunststoffpinselchen¹⁵ mit CEREC-Liquid²⁵. Erneut gründliche Trocknung bereitete die Proben zur Bestäubung

mit CEREC-Powder²⁶ vor.

Zur Videoaufnahme wurde die CEREC-2-Kamera²⁷ benutzt. Ein verwacklungsfreies und scharfes Bild der kompletten Kavität war Voraussetzung für die weitere Konstruktion am Bildschirm des CEREC-2-Gerätes²⁷ mittels der Software Crown 1.1.²⁸, welche es ermöglichte ein okklusales Relief zu berechnen und zu fertigen. In der Schleifkammer kamen Diamantscheibe²⁹ und Fingerschleifer³⁰ zum Einsatz.

Aus vorgefertigten Keramikblocks Vita Mark II³¹ bzw. Polymer Ceramic Mill Blocks³² der Größen I 12 und I 14 wurden die Inlays gefräst. Kühlflüssigkeit für den Schleifvorgang war Wasser und CEREC-Schleifmittel³³.

Auf Anrauen der gefrästen Inlays wurde verzichtet. Die keramischen Inlays wurden für 60 s mit Flusssäure-Ätzel¹⁶ geätzt. Beide Inlaymaterialien wurden nach gründlicher Reinigung mit Wasserspray (60 s) und absoluter Trocknung im Luftstrom mit einem Silan¹⁴ auf Kunststoffpinselchen¹⁵ für 60 s benetzt und 5 s im Luftstrom getrocknet.

4.4.4 Ätzung und Konditionierung

Nach Trocknung der Kavität für 5 s im Luftstrom, folgte das Aufbringen von Phosphorsäureätzgel³⁴, das bei den Schmelzrändern beginnend auf Schmelz und Dentin aufgetragen wurde. Eine Einwirkzeit von 15 s wurde eingehalten, danach wurde das Gel mittels Wasserspray 10 s lang entfernt (Herstellerangaben).

Nächster Schritt war eine weitere Trocknung für 1-2 s, bevor die zweimalige Applikation von Scotchbond One¹⁷ mit Kunststoffpinselchen¹⁵ auf die noch feuchte Kavität erfolgen konnte (wet bonding). Das Auftragen der zweiten Schicht schloss sich im Abstand von 5 s an die Erstbenetzung an. Das Adhäsiv wurde nach der zweiten Applikation direkt für 5 s im Luftstrom verblasen. Die anschließende Belichtung mittels Polymerisationslampe¹³ dauerte 10 s. Die Kavität war nun bereit zur Aufnahme des Inlaybefestigungsmaterials³⁵ bzw. des Kompositmaterials¹².

4.4.5 Die direkte Kompositfüllung

Die konditionierte Kavität (siehe 4.4.4.) wurde mit einem bleitoten Matrizenband¹⁷ im Tofflemire-Spanner¹⁸ umgeben. Das Einbringen der Inkremente in den approximalen Kasten mit Schmelzstufe umfasste drei Schritte, der Kasten mit Dentinstufe wurde in fünf Schritten gefüllt (Abb. 4.2.). Die diagonale Schichttechnik wurde angewandt, dabei wurde eine erste kleine Kompositmenge am approximal zervikalen Kavitätenboden aufgebracht und mit einem Zementstopfer³⁶ adaptiert. Das Einbringen der weiteren Kompositsschichten erfolgte diagonal zur Längsachse des Zahnes an der Kavitätenwand mittels Spatel²⁰, ein Kugelstopfer²¹ half bei der Adaptation, wobei die Schichten abwechselnd an den gegenüberliegenden Kavitätenwänden des approximalen Kastens appliziert wurden. Die Restauration des mesialen und distalen Kastens (einer mit drei Applikationsschichten, der andere mit fünf Schichten) wurden getrennt vorgenommen. Nach dem Einbringen des Kompositmaterials in die approximalen Kästen wurde die verbliebene okklusale Fläche mit zwei diagonalen Schichten rekonstruiert. Jede Schicht wurde für 40 s von okkusal polymerisiert. Pro Zahn wurden somit 10 Belichtungsvorgänge durchgeführt.

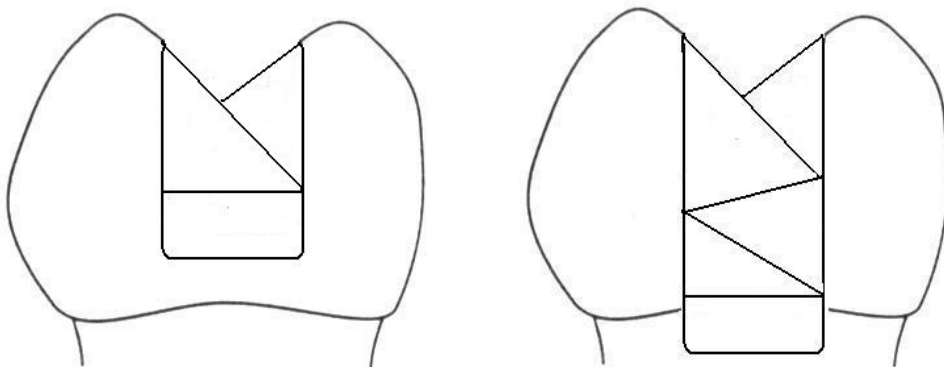


Abb. 4.2. Schema der Schichttechnik für Schmelz- (links) und Dentinstufe (rechts)

4.4.6 Kompositfüllung mit Inserts

Die konditionierten Kavitäten wurden mit einem bleitoten Matrizenband¹⁷ im Tofflemire-Spanner¹⁸ umgeben. Approximal wurde Z 250-Komposit mit einem Spatel²⁰ eingebracht und am Kavitätenboden mit einem Zementstopfer³⁶ adaptiert. Die vorgefertigten Keramikinserts¹⁰, respektive die hergestellten Kompositinserts aus Z 250¹² wurden nach Konditionierung (4.4.1.) mit einer Pinzette³⁷ in den, der Größe entsprechenden approximalen Kasten (Schmelzstufe/Dentinstufe) eingebracht und unter Druck mit einem Zementstopfer³⁶ nach zervikal versenkt. Die Kompositüberschüsse wurden entfernt und eine okklusale Lichthärtung für 40 s folgte. Die Kästen wurden getrennt restauriert. Dabei wurde der Kasten mit Schmelzstufe dreimal 40 s belichtet, der Kasten mit Dentinstufe fünfmal 40 s. Zum Auffüllen der Okklusalfäche dienten zwei diagonale Schichten, so dass pro Zahn 10 Belichtungsvorgänge ausgeführt wurden.

4.4.7 Einbringen der Inlays

Nach Konditionierung der Kavitäten (4.4.4.) und Herstellung der Inlays (4.4.2. und 4.4.3.) wurde eine ausreichende Menge Befestigungskomposit³⁶ 10 s lang angemischt. Mit einem Spatel²⁰ wurde diese Masse auf die Unterseite des Inlays aufgebracht. Die Inlays wurden unter leichtem Druck langsam in die Kavität eingesetzt. Die überschüssigen Befestigungskompositreste wurden unter Lupensicht vorsichtig mit Kunststoffpinselchen entfernt. Zur Verhinderung einer Polymerisationsinhibitionsschicht wurde abschließend Glyceringel¹⁹ auf die Fuge appliziert.

Unter stetig bleibendem Druck mit einem Kugelstopfer²¹ wurden dann die Kavität von okklusal dreimal (distal, zentral, mesial) belichtet. Weiterer Polymerisationsprozesse von mesio-bukkal, disto-bukkal, mesio-oral, disto-oral folgten. Die Polymerisation dauerte jeweils 40 s. Pro Zahn wurden damit 7 Belichtungsvorgängen durchgeführt.

4.5 Ausarbeitung und Politur

Zum Ausarbeiten der fertigen Restaurationen wurden Fein- und Feinstkorndiamanten³⁸ unter ständiger Wasserkühlung eingesetzt. Die abschließende Politur erfolgte bei ständigem Einsatz von Wasserspray mit flexiblen aluminiumoxidbeschichteten Scheiben³⁹. Falls bei taktile Überprüfung der Ränder mit einer Doppellendsonde⁴⁰ und optischer Kontrolle mittels Lupenbrille⁸ Überschüsse festgestellt wurden, schloss sich ein erneuter Poliervorgang an.

4.6 Wasserlagerung

Die restaurierten Molaren wurden für 7 Tage bei Raumtemperatur in Leitungswasser gelagert.

4.7 Replikaherstellung

Im Anschluss an die Wasserlagerung wurden die Molaren mit Zahnbürste⁴¹ und Zahnpaste gereinigt. Nach Trocknung der Zähne folgte die Abformung im Sinne der Doppelmischtechnik mit additionsvernetzender, dünnfließender sowie knetbarer kondensationsvernetzender Silikonabformmasse^{22,42}.

Die Zähne wurden für 8 min im Abformmaterial belassen. Frühestens 24 h nach Abformung konnten die Abformungen mit Chloroform entfettet und mit 70 %igem Alkohol getrocknet werden. Im Anschluss erfolgte das Ausgießen mit Epoxydharz⁴³ und Aufkleben eines Objektträgers.

Wiederum 24 h später konnten die Replikas gesputtert werden. Der Vorgang im Sputter-Coater⁴⁴ erfolgte 2 min bei 40 mA und erzeugte eine 20 nm starke Goldschicht über den Replikas. Die Replikaherstellung erfolgte nach thermischer Belastung und okklusaler Belastung in gleicher Reihenfolge.

4.8 Temperaturwechselbelastung

Im Anschluß an die Wasserlagerung wurden die 48 Molaren in einem Umsetzgerät⁴⁵

2000x abwechselnd für 30 s einer Temperatur von + 5 °C sowie + 55 °C ausgesetzt. Die Umsetzzeit betrug 12 s.

4.9 Belastung im Kausimulator

Die okklusale Belastung wurde von der Münchener Universität ausgeführt. Im Kausimulator⁴⁶ wurden die Proben in 50.000 Zyklen im Wasserbad einer okklusal-vertikalen Druckbelastung ausgesetzt. Der Druck wurde für jeweils 0,5 s mit einer Kraft von 49 N in die zentralen Fossa der okklusalen Füllungsfläche ausgeübt. Eine 5 mm große Aluminiumoxidkugel diente dabei als Antagonist. Die Zeiteinheit von 0,5 s simuliert dabei den natürlichen Kauzyklus mit einer Belastungsphase von 0,36 s und einer Entlastungsphase von 0,24 s.

4.10 Auswertung

4.10.1 Quantitative Randanalyse

Die gewonnenen Replikas der Phasen vor Temperaturwechselbelastung, nach Temperaturwechselbelastung und nach okklusaler Belastung wurden im Rasterelektronenmikroskop⁴⁷ mit Hilfe der von ROULET 1989 beschrieben computergestützten quantitativen Randanalyse bei 200facher Vergrößerung untersucht.

Die WIN-MES Software⁴⁸ diente der Datenerfassung. Der Füllungsrand des Apoximalbereichs wurde segmentweise analysiert und in die vertikalen sowie zervikalen Abschnitte im Schmelz und Dentin unterteilt. Bei der Randanalyse wurde die Grenzfläche zwischen Komposit bzw. Befestigungskomposit und Zahnhartsubstanz, sowie zwischen Befestigungskomposit und Inlay bewertet. Der zu analysierenden Randmorphologie wurden die Kriterien

- Perfekter Rand
- Randunregelmäßigkeit
- Zahnhartsubstanzfraktur

- Füllungsrandfraktur
- Überschuss
- Unterschuss
- Randspalt
- Artefakt

zugrunde gelegt.

Abb. 4.3. bis 4.10. zeigen Beispiele für die verschiedenen Randqualitäten. In das Kriterium „Artefakte“ wurden Auflagerungen und Bläschen einbezogen, die offensichtlich mit die Replikaherstellung einhergingen. Die Replikas wurden unabhängig von ihrer Gruppenzugehörigkeit im Rasterelektronenmikroskop beurteilt.

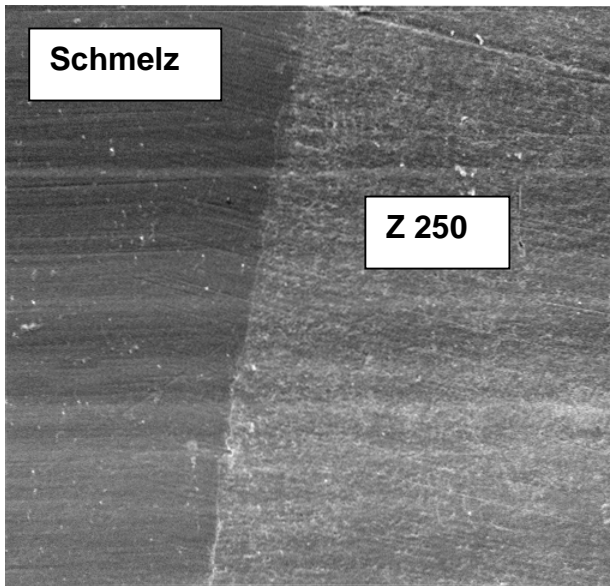


Abb. 4.3. Perfekter Rand (Originalvergrößerung 200fach). Grenzfläche Komposit-Schmelz.

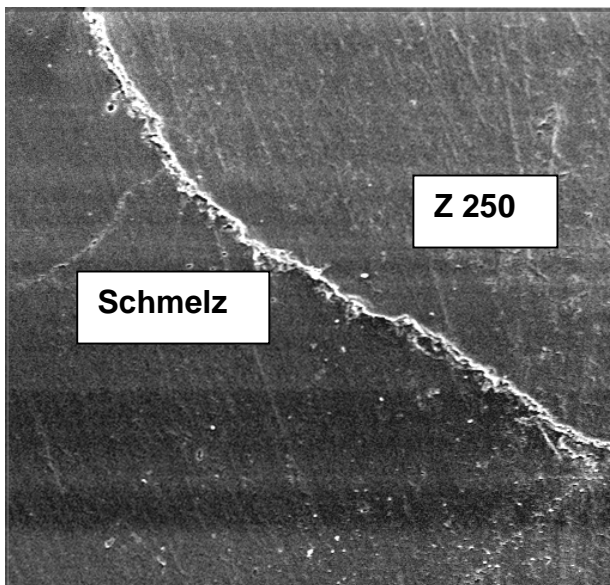


Abb. 4.4. Randunregelmäßigkeit (Originalvergrößerung 200fach). Grenzfläche Komposit-Schmelz.

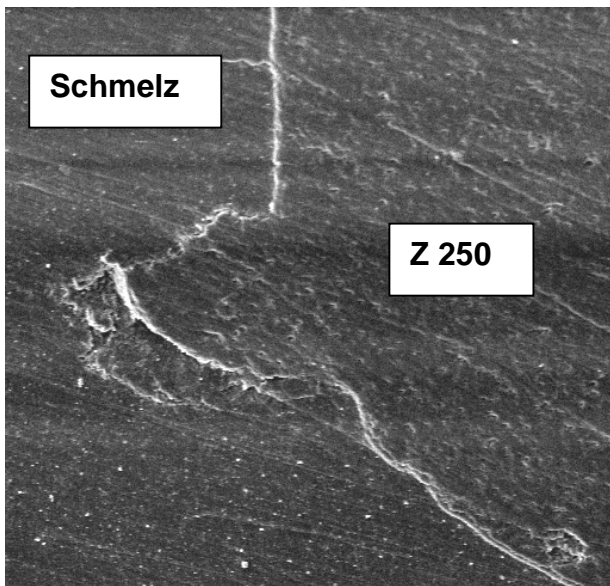


Abb. 4.5. Überschuss (Originalvergrößerung 200fach). Grenzfläche Komposit-Schmelz.

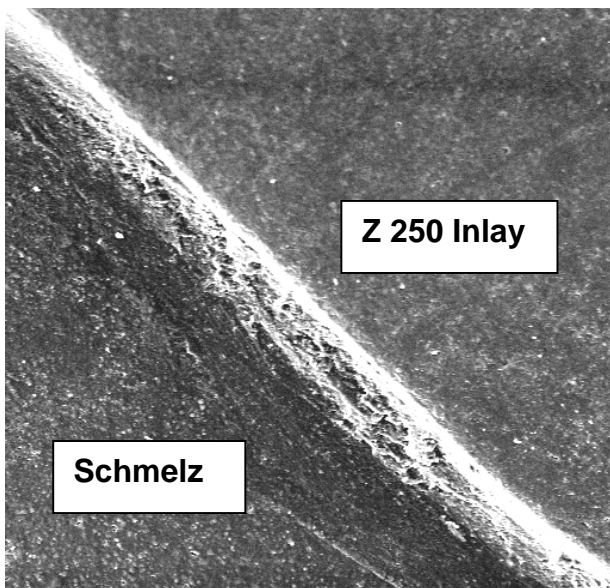


Abb. 4.6. Unterschuss (Originalvergrößerung 200fach). Befestigungsfuge Inlay-Schmelz.

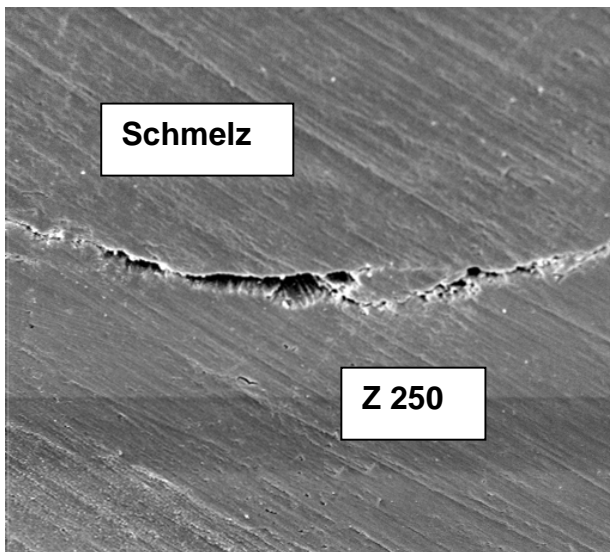


Abb. 4.7. Zahnhartsubstanzfraktur (Originalvergrößerung 200fach). Grenzfläche Komposit-Schmelz.

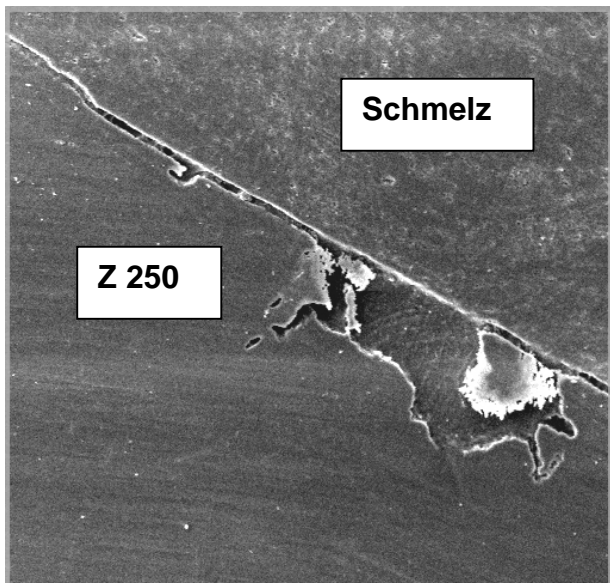


Abb. 4.8. Füllungsrandfraktur (Originalvergrößerung 200fach). Grenzfläche Komposit-Schmelz.

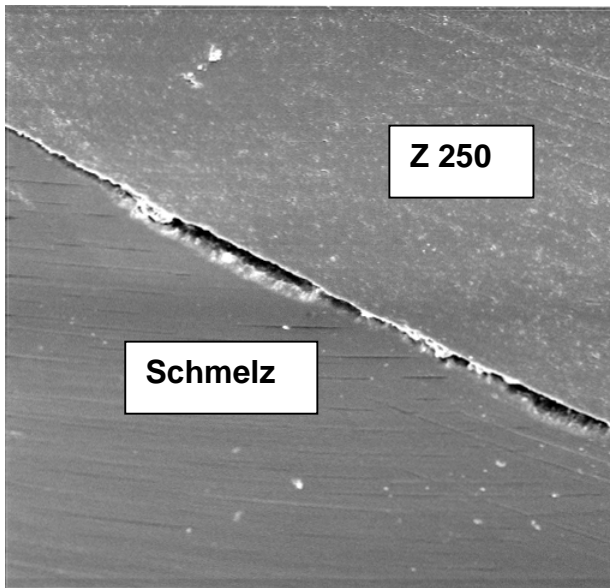


Abb. 4.9. Randspaltbildung (Originalvergrößerung 200fach). Grenzfläche Komposit-Schmelz.

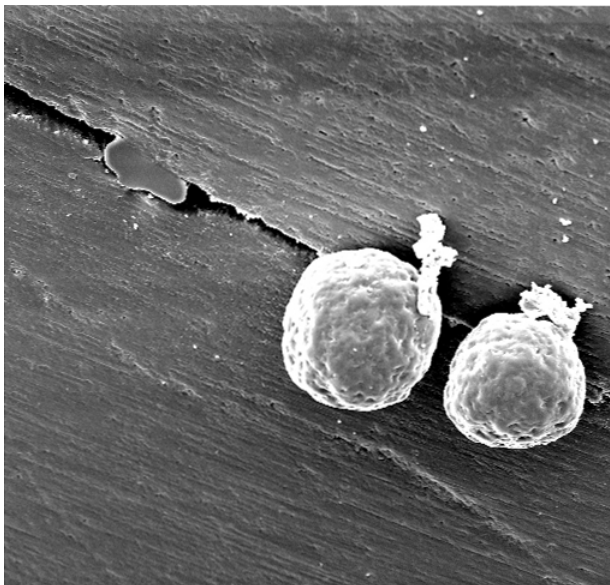


Abb. 4.10. Artefakt (Originalvergrößerung 200fach).

4.10.2 Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung wurde das Statistikprogramm SPSS (Version 11.5)⁴⁹ hinzugezogen. Neben der deskriptiven Statistik, welche arithmetische Mittelwerte,

Mediane, Maxima, Minima und als Maß der Streuung das 95%- Konfidenzintervall beschreibt, wurden die Daten auch mit dem non parametrischen Kruskal Wallis Test analysiert. Der Bonferroni Dunn Test wurde zur Post-Hoc Testung angesetzt. Das Signifikanzniveau wurde beim Vergleich der Gruppen bei 5 % ($p < 0,05$) angelegt.