

4 Material und Methode

4.1 Übersicht der Methodik

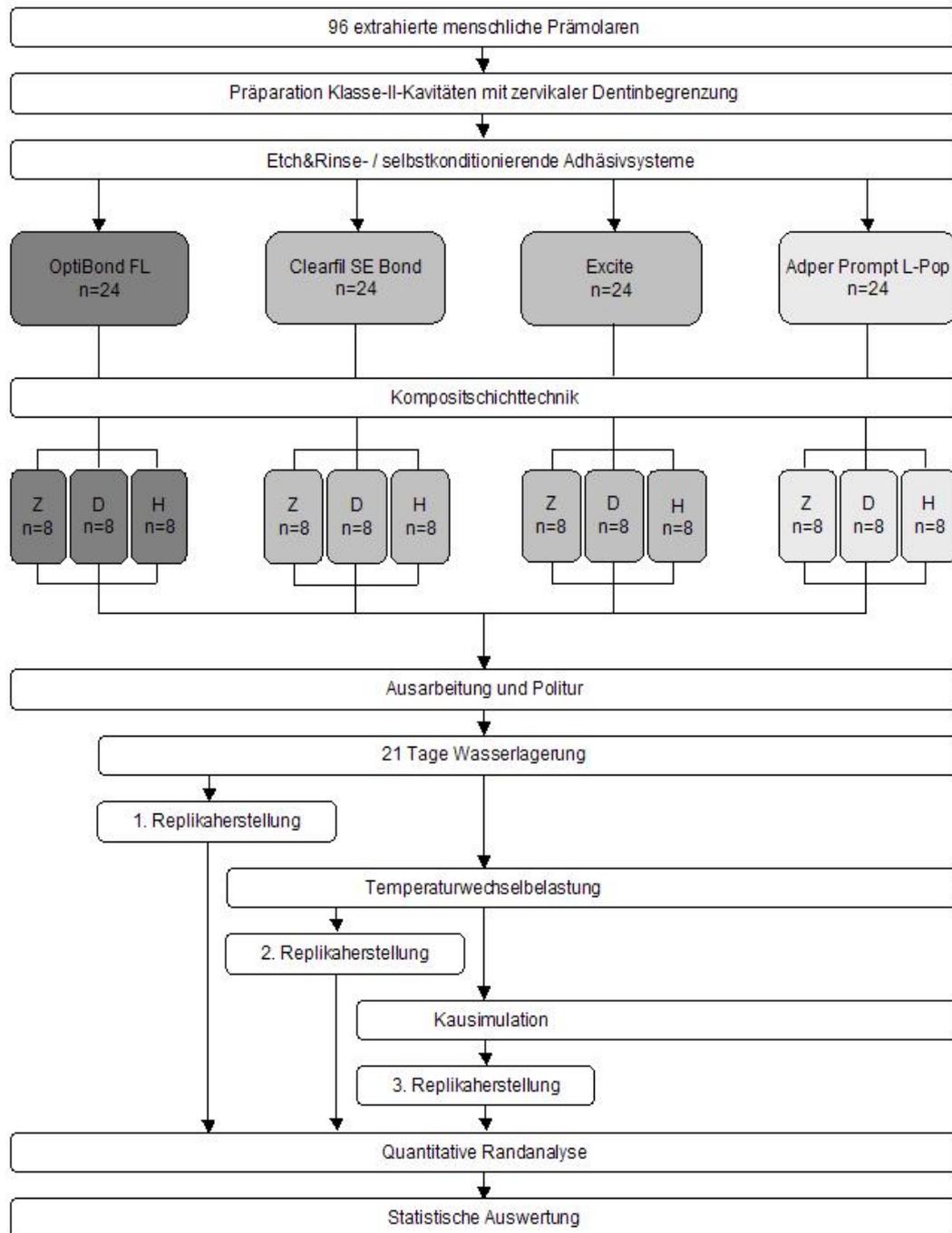


Abb. 4.1 Ablaufdiagramm der Methodik
 Z= Zentripetalschichttechnik
 D= Diagonalschichttechnik
 H= Horizontalschichttechnik

4.2 Herstellung der Probenkörper

4.2.1 Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Für die Versuchsreihe wurden 96 extrahierte kariesfreie menschliche Prämolaren der zweiten Dentition ausgewählt, die nach der Extraktion in 0,1 %iger Thymol-Lösung lagerten.

Die Zähne wurden zunächst mit Skalpell¹, Scaler² und Kürette³ von Zahnstein und desmodontalen Gewebsresten befreit und folgend mit einer rotierenden Bürste⁴ und Bimsteinpaste schonend poliert. Anschließend wurden die gesäuberten Prämolaren im Bereich der oralen oder vestibulären Kronenfläche mit einem kugelförmigen Diamantschleifer fortlaufend durchnummeriert.

Während der gesamten Versuchphase und zwischen den jeweiligen Arbeitsschritten lagerten die Zähne in Wasser, um eine Austrocknung zu vermeiden.

4.2.2 Präparation der Kavitäten

In Anlehnung an ein klinisches Vorgehen wurden die Zähne vor Beginn der Kavitätenpräparation mit einer fluoridfreien Polierpaste⁷ und einem Okklubrush-Bürstchen⁸ poliert, um letzte Verunreinigungen zu entfernen. Anschließend wurden die Zähne auf 12 Gruppen von je 8 Zähnen verteilt. Die Zuordnung erfolgte dabei randomisiert.

In jeden Zahn wurde nach dem Zufallsprinzip eine mesial oder distal liegende, standardisierte Klasse-II-Kavität mit zervikaler Dentinbegrenzung präpariert. Die Ausdehnung der Kavitäten gestaltete sich wie folgt:

- oral-vestibulär 4,0 mm
- peripher-zentral 1,5-2,0 mm
- coronal-apikal 6,0 mm

Die Präparation wurde hochtourig bei ca. 80 000 U/min mit einem abgerundeten zylindrischen Diamanten⁹ in einem roten Winkelstück unter maximaler Wasserkühlung vorgenommen. Die Kavitäten wurden mit einem Diamantfinierer¹⁰ derselben Form geglättet und die schmelzbegrenzten Kavitätenränder mit einem flammenförmigen Finierdiamanten¹¹ angeschrägt. Abschließend erfolgte die

Überprüfung der Extensionen bei jeder angelegten Kavität mit einer Parodontalsonde¹².

4.3 Herstellung der Kompositrestaurationen

Um die klinische Situation der Füllungslegung möglichst genau zu simulieren, wurden die Zähne ca. 5 mm unterhalb der Schmelz-Zement-Grenze in einen Silikonsockel⁵ eingebettet und anschließend in einem Nachbarzahnsimulationsgerät⁶ NASI (Abb. 4.2) fixiert. Das Gerät simuliert das Vorhandensein eines anterioren und posterioren Nachbarzahn. Mit Hilfe des NASI kann bei der Füllungslegung durch die Verwendung einer Stahlbandmatrize^{13, 14} und eines Holzkeils¹⁵ eine gute Adaptation des Matrizenbandes am zervikalen Kavitätenrand gewährleistet werden.



Abb. 4.2 Nachbarzahnsimulationsgerät nach Kostka

In der vorliegenden Studie erfolgte die Füllungslegung im Sinne der Mehrfachapplikation durch eine entsprechende Schichtung der Inkremente. Folgende Schichttechniken kamen zur Anwendung:

- Zentripetalschichttechnik (Schalentechnik)
- Diagonalschichttechnik
- Horizontalschichttechnik

Des Weiteren wurden zur Schmelz- und Dentinkonditionierung vier unterschiedliche Adhäsivsysteme verschiedener Hersteller und Systemkategorien verwendet. Durch die Kombination der Schichttechniken und der Adhäsivsysteme ergaben sich insgesamt 12 Versuchsgruppen (Abb. 4.3).

Schichttechnik Adhäsivsystem	Zentripetal- Schichttechnik	Diagonal- Schichttechnik	Horizontal- Schichttechnik
OptiBond® FL (Kerr)	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3
Excite® (Ivoclar Vivadent)	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6
Clearfil SE™SE Bond (Kuraray)	Gruppe 7	Gruppe 8	Gruppe 9
Adper™Prompt L-Pop™ (3M ESPE)	Gruppe 10	Gruppe 11	Gruppe 12

Abb. 4.3 Versuchsgruppen

4.3.1 Schmelz- und Dentinkonditionierung

Gruppe 1, 2 und 3:

Die Anwendung des Adhäsivsystems *OptiBond FL*^{16,17,18} erfolgte nach den Richtlinien des Herstellers. Die Kavitäten der Versuchsgruppen wurden zunächst unter leichtem Luftstrom getrocknet. Anschließend wurde die Schmelz- und Dentinkonditionierung mit 37 %igem Phosphorsäure-Gel¹⁶, beginnend an den Schmelzarealen für 30 s und nachfolgend im Dentinbereich für 15 s durchgeführt. Nach einer Gesamteinwirkzeit von 45 s wurde der Vorgang der Säurekonditionierung durch sorgfältiges Absprühen mit Wasserspray beendet. Im Anschluss erfolgte eine erneute Trocknung der Zahnoberfläche im Luftstrom. Im Sinne der "wet-bonding"-Technik wurde darauf geachtet, eine Austrocknung des durch die Konditionierung freigelegten Kollagennetzwerks zu vermeiden. Nach erfolgreicher Durchführung war das retentive Ätzmuster der beteiligten Schmelzareale durch eine milchig-weiße Trübung erkennbar, die Dentinbereiche wiesen hingegen eine feucht glänzende Oberfläche auf. Im nächsten Schritt wurde die Primerlösung¹⁷ mit einem Applikator¹⁸ und kreisenden Bewegungen 30 s einmassiert. Die Verdunstung des Lösungsmittels wurde durch vorsichtiges Trocknen der Kavität im Luftstrom gewährleistet. Das Dentin zeigte nach Beendigung des Vorgangs eine leicht glänzende Oberfläche. Darauf folgend wurde das *OptiBond FL Adhäsiv*¹⁹ mit einem neuen Applikator¹⁸ auf Schmelz und

Dentin aufgetragen und zu einer gleichmäßig dünnen Schicht verblasen. Die Lichthärtung erfolgte mit einer Polymerisationslampe²⁰ für 30 s.

Gruppe 4, 5 und 6:

Das Total Etch-Gel²¹ (37 %ige Orthophosphorsäure) wurde auf den Schmelz und das Dentin appliziert. Die Vorgehensweise stimmte mit der für die Gruppen 1, 2 und 3 bereits beschriebenen überein. Unter Wasserspray wurden das Ätzgel und die entstandenen Präzipitate entfernt. Die Kavität wurde vorsichtig getrocknet bis das Schmelz- Ätzmuster sichtbar war. Mit einem feuchten, auf einer Papierserviette abgetupften Applikator²² wurde das Dentin im Sinne der "Rewetting"-Technik wiederbefeuchtet. Im Anschluss wurde das Adhäsiv *Excite*²³ mit einem neuen Applikator²² in der gesamten Kavität verteilt und für 10 s gleichmäßig einmassiert. Dabei wurden eventuelle Materialüberschüsse vorsichtig entfernt. Es folgte die Lichthärtung mit einer Polymerisationslampe²⁰ für 20 s.

Gruppe 7, 8 und 9:

In diesen Gruppen wurde das selbstkonditionierende Adhäsivsystem *Clearfil SE Bond*^{24, 25} verwendet. Zunächst wurde die Kavität unter einem leichten Luftstrom getrocknet, so dass eine feucht glänzende Dentinoberfläche zurückblieb. Der *Clearfil SE Bond Primer*²⁴ wurde nach Herstellerangaben mit einem Applikator²² für 20 s in die Kavität eingebracht, gleichmäßig verteilt und anschließend im sanften Luftstrom getrocknet. Mit einem neuen Applikator²² folgte der Auftrag der zweiten Systemkomponente *Clearfil SE Bond*²⁵. Durch einen leichten Luftstrom wurde diese vorsichtig verblasen und für 10 s mit einer Polymerisationslampe²⁰ polymerisiert.

Gruppe 10, 11 und 12:

Das „All-in-one“-Adhäsiv *Adper Prompt L-Pop*²⁶ erforderte zunächst die sorgfältige Durchmischung der Komponenten durch eine Art Kissenaktivierung. Bei diesem Vorgang wurde zeitgleich ein Applikator angefeuchtet. Der flüssige Haftvermittler wurde in die zuvor vorsichtig getrocknete Kavität eingebracht und für 15 s einmassiert. Durch einen sanften Luftstrom wurde das Adhäsiv für 10 s verblasen, so dass ein glänzender Feuchtigkeitsfilm auf der Oberfläche zurückblieb. Anschließend erfolgte die Lichthärtung mit einer Polymerisationslampe²⁰ für 20 s.

4.3.2 Applikation des Kompositmaterials

Im Anschluss an die Schmelz- und Dentinkonditionierung erfolgte die Füllungslegung mit dem Kompositmaterial *Filtek Z250*²⁷. Die Art der Applikation – Zentripetal-, Diagonal- bzw. Horizontalschichttechnik – richtete sich nach der Gruppenzugehörigkeit der Probe. Bei jeder Schichttechnik wurden insgesamt vier Inkremente appliziert.

Die Verarbeitung des Kompositmaterials erfolgte nach Herstellerangaben. Um ein standardisiertes Volumen der einzelnen Inkremente zu gewährleisten, wurde das von der Firma *3M ESPE* angebotene Kapselsystem verwendet. Mit Hilfe eines Dosierspenders²⁸ kann ein gleichmäßig starker Kompositstrang aus der Kapsel entnommen werden. Die Stranglänge jedes Inkrements wurde mit einem Stahllineal abgemessen und betrug 5 mm.

Gruppe 1, 4, 7 und 10:

Bei der Zentripetalschichttechnik (Abb. 4.4) wurde das Material des ersten Inkrements zunächst mit einem Spatel²⁹ in die Kavität eingebracht und mit einem Kugelstopfer³⁰ komprimiert. Folgend wurde es in vertikaler Richtung sorgfältig an die lateralen Ränder der Kavität und entlang des Matrizenbands adaptiert. Diese Technik erlaubt die Umwandlung einer ursprünglichen Klasse-II-Kavität in eine Klasse-I-Kavität. Das zweite, dritte und vierte Kompositinkrement wurde im Sinne der Diagonalschichttechnik appliziert. Die einzelnen Portionen wurden in die Kavität eingebracht und anschließend mit einem Spatel²⁹ an die bukkale oder orale Wand der Kavität adaptiert. Das Arbeitsende des Instruments wurde entsprechend der Schicht abwechselnd nach bukkokaudal oder orokaudal gerichtet, um in der Kavität gegensätzlich verlaufende diagonale Inkremente zu modellieren. Jedes Inkrement wurde separat nach seiner Applikation und Modellierung mit einer Polymerisationslampe²⁰ aus okklusaler Richtung für 30 s polymerisiert.

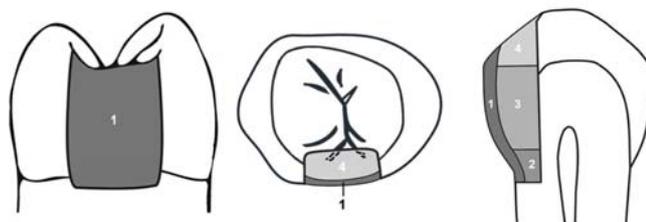


Abb. 4.4 Zentripetalschichttechnik (Schalentechnik)

Gruppe 2, 5, 8 und 11:

Innerhalb dieser Gruppen wurden die Inkremente diagonal geschichtet (Abb. 4.5), dabei wiesen die einzelnen Schichten eine gegensätzliche Ausrichtung auf. Die Verfahrensweise ähnelt im gewissen Umfang der zentripetalen Schichttechnik. Der Unterschied zeigt sich im Verzicht auf die spezielle Adaptation des ersten Inkrements. Bei der Diagonalschichttechnik wurde jedes der vier Inkremente einzeln mit einem Spatel²⁹ in die Kavität eingebracht und mit einem Kugelstopfer³⁰ verdichtet. Anschließend wurden sie an die bukkale oder orale Wand adaptiert, so dass eine diagonale Ausrichtung resultierte. Die Lichthärtung jedes einzelnen Segments wurde aus okklusaler Richtung für 30 s mit einer Polymerisationslampe²⁰ durchgeführt.

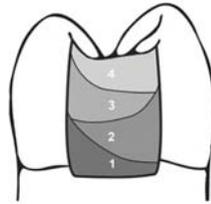


Abb. 4.5 Diagonalschichttechnik

Gruppe 3, 6, 9 und 12:

In diesen Gruppen wurde die Horizontalschichttechnik (Abb. 4.6) angewandt. Das erste Kompositinkrement wurde auf den Boden der Kavität appliziert, mit einem Kugelstopfer³¹ komprimiert und zeitgleich an die Ränder der Kavität angedrückt. Erst nach einer kurzen Wartezeit wurde die Schicht für 30 s polymerisiert. So konnte das Ausfließen des noch ungehärteten Materials zu einer gleichmäßigen Schichtstärke erfolgen. Gleichzeitig wurde die Bildung einer zentralen Wanne durch das Stopfinstrument verhindert. Das folgende zweite Inkrement wurde auf eben diese Weise appliziert und lag der ersten oben auf. Anschließend wurde das Material an die umgebenden Bereiche adaptiert und polymerisiert. Die Schichten drei und vier wurden auf die gleiche Art in die Kavität eingebracht und ebenfalls für je 30 s polymerisiert. Die Lichtzufuhr erfolgte ausschließlich aus okklusaler Richtung.

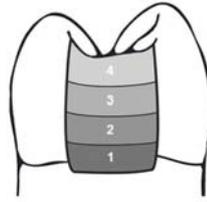


Abb. 4.6 Horizontalschichttechnik

4.3.3 Ausarbeitung und Politur

Die grobe Ausarbeitung der Restaurationen erfolgte mit einem Scaler². Überstehende Fahnen des Bondingmaterials oder Überschüsse des Kompositmaterials wurden hierbei entfernt. Anschließend wurden alle Proben niedrigtourig mit Aluminiumoxid beschichteten flexiblen Polierscheiben³² absteigender Körnung (S, M, SF) unter stetiger Wasserkühlung poliert. Angestrebt wurde ein kontinuierlicher, mit einer Tastsonde³³ EXD 11/12 nicht tastbarer Übergang zwischen Komposit und Zahnhartsubstanz. Abschließend wurde jeder Übergang mit einer Lupenbrille bei 2,3-facher Vergrößerung nochmals kontrolliert.

4.4 Wasserlagerung

Nach erfolgter Politur wurden die Zähne für 21 Tage in Wasser gelagert.

4.5 Replikaherstellung nach Wasserlagerung

Im Anschluss an die dreiwöchige Wasserlagerung wurden zur späteren Beurteilung der Füllungsänderungen Repliken angefertigt. Um mögliche Verunreinigungen von der Zahn- und Füllungsfläche zu entfernen, erfolgte zunächst die sorgfältige Reinigung der Probenkörper mit einer weichen Zahnbürste³⁴ und Zahnpasta³⁵. Nachfolgend wurden die Zähne mit Wasser abgespült und vorsichtig getrocknet. Um eine Haftung der Proben auf der Tischoberfläche zu erzielen und um sie gegen ein Verrutschen während der Abformung zu sichern, wurden sie mit ihrer Wurzelspitze in einem aus Silikonmasse⁵ bestehenden Strang fixiert. Dabei zeigte die restorationstragende mesiale oder distale Zahnoberfläche nach oben. Folgend wurde eine kleine Menge dünnfließender additionsvernetzender Silikonabformmasse³⁶ auf die Restaurationsoberfläche aufgetragen und dünn verblasen, so dass die gesamte Füllung und die sie umgebende Zahnhartsubstanz von dem Silikon benetzt

wurden. Zur Stabilisierung wurde direkt im Anschluss eine zweite, etwas dickere Schicht des gleichen Abformmaterials appliziert.

Nach einer Frist von 24 Stunden wurden die Abformungen zu ihrer Fixierung in ein wiederum kondensationsvernetzendes Silikon⁵ eingebettet. Anschließend wurden sie mit 70 %igem Alkohol gereinigt und mit Chloroform entfettet. Nach ihrer Trocknung wurden sie mit Epoxidharz³⁷ möglichst blasenfrei ausgegossen. In das noch flüssige Harz wurde ein Objektträger eingebracht. Dieser ermöglichte die spätere Montage der Repliken in die Haltevorrichtung des Rasterelektronenmikroskops.

Nachdem die Proben für weitere 24 Stunden an einem ruhigen und geschützten Ort lagerten, konnten sie aus der Abformmasse entnommen werden. In einer Sputteranlage³⁸ wurden ihre Oberflächen in einer Argon-Atmosphäre bei einer Stromstärke von 40 mA und einem Druck von 0,05 mbar für 2 min mit einer Goldschicht von 20 nm bedampft.

4.6 Thermische Wechselbelastung

Nach der Replikaherstellung wurden die Probenkörper einem thermischen Ermüdungsprozess durch zyklische Temperaturwechselbelastung (TWB) unterzogen. Während dieser tauchte ein Thermocycling-Gerät³⁹ die restaurierten Prämolaren abwechselnd in ein Warmwasserbad von +55°C bzw. in ein Kühlbad von +5°C. Der gesamte Prozess erstreckte sich über 2000 Zyklen. Die Proben verweilten für je 30 s in den Bädern. Die Transferzeit zwischen diesen betrug 12 s.

4.7 Replikaherstellung nach thermischer Wechselbelastung

Im Anschluss an die Temperaturwechselbelastung wurden erneut Repliken der Probenkörper hergestellt. Dabei stimmte die Vorgehensweise mit der unter 4.5 bereits beschriebenen überein.

4.8 Kausimulation

Zur Simulation einer funktionellen klinischen Situation wurden alle Probenkörper einer mechanischen Kaubelastung unterzogen. Zu diesem Zweck wurden sie in den computergesteuerten Münchener Kausimulator⁴⁰ montiert. Um die Probenkörper paarweise in das Gerät einsetzen zu können, war es notwendig, spezielle Probenträger im medizin-technischen Labor der Zahnklinik der Charité

(CVK) anfertigen zu lassen. Die paarweise Anordnung im Kausimulator ermöglicht entsprechend der intraoralen Situation bei maximaler Interkuspitation einen antagonistischen Kontakt auf zwei Kompositrandleisten. In einem Wasserbad wurden die restaurierten Prämolaren einer okklusal-vertikalen Druckbelastung von 50 N ausgesetzt. Sie durchliefen insgesamt 125 000 Zyklen. Die Kaufrequenz betrug 1,7 Hz. Dies entspricht 100 Kauzyklen pro Minute.

4.8.1 Herstellung der Antagonisten

Als Antagonisten wurden geometrisch definierte, kugelförmige Degussitkeramikörper⁴¹ mit einem Durchmesser von 5 mm verwendet, die zu 99,9 % aus Al_2O_3 bestehen (FRIATEC 2006). Die Keramikantagonisten wurden mit einem lichthärtenden Komposit auf speziellen Probestellern⁴² fixiert, um sie anschließend in den Kausimulator einbringen zu können.

Vorbereitung der Probesteller:

Die Oberfläche der Probesteller wurde mit einem Sandstrahlgerät⁴³ angeraut und anschließend mit 70 %igem Alkohol gereinigt. Nach ihrer Trocknung wurden sie mit Alloy-Primer⁴⁴ beschichtet. Folgend wurde ein Adhäsiv¹⁹ aufgetragen und mit einem Polymerisationsgerät⁴⁵ für 20 s polymerisiert. Die vorbereiteten Probesteller wurden für kurze Zeit an einem geschützten Ort aufbewahrt.

Vorbereitung der Keramikantagonisten:

Zunächst erfolgte die Reinigung der Keramikantagonisten mit 70 %igem Alkohol. Anschließend wurde eine Seite der trockenen Keramikoberfläche markiert und mit Flußsäure⁴⁵ angeätzt. Nach einer Einwirkzeit von 60 s wurde die Säure gründlich mit Wasserspray 60 s lang entfernt. Es folgte die Trocknung der Antagonisten, um sie im Anschluss für 3 min in einer Silanlösung⁴⁶ zu schwenken. Sie wurden entnommen und erneut getrocknet.

Verbund beider Bestandteile:

Auf die bereits vorbereiteten Probesteller wurde ein lichthärtendes Komposit⁴⁷ appliziert, in welches die konditionierten Enden der Keramikantagonisten eingebettet wurden. Mit einer Polymerisationslampe⁴⁸ erfolgte die Aushärtung des

Komposits für 60 s. Es wurde darauf geachtet, dass die Antagonisten aufrecht und zentral auf dem Probenteller positioniert wurden.

4.8.2 Zementierung der Probenkörper

Um die spätere Position der Antagonisten auf den Randleisten der Restaurationen schon vor ihrer Montage in den Kausimulator festlegen zu können, wurde im medizin-technischen Labor der Charité (CVK) eine Montagehilfe (Abb. 4.7) angefertigt. In dieser konnten die Probenkörper zu ihrem Antagonisten ausgerichtet werden, so dass der antagonistische Kontakt gleichmäßig auf die Randleisten beider Restaurationen traf. Die festgelegte Position konnte später exakt auf den Münchener Kausimulator übertragen werden.



Abb. 4.7 Montagehilfe

Vorbereitung der Probenträger:

Die Vorbereitung der im medizin-technischen Labor hergestellten Probenträger erfolgte nach demselben Prinzip wie es bereits unter 4.8.1 dargestellt wurde.

Vorbereitung der Probenkörper:

Die Wurzeln aller Prämolaren wurden ca. 8 mm unterhalb ihrer Schmelz-Zement-Grenze hochtourig mit einem zylindrischen Diamanten⁴⁹ unter Wasserkühlung abgetrennt. Um einen besseren Verbund der Zähne mit dem zur Einbettung verwendeten Kompositmaterial zu gewährleisten, wurde ca. 1 mm oberhalb der

Trennstelle mit einem kugelförmigen Diamanten⁵⁰ eine Querrille angelegt. Anschließend erfolgte die Konditionierung der Wurzelenden mit einem 37 %igen Phosphorsäure-Gel¹⁵. Unter Wasserspray wurde dieser Vorgang nach 20 s beendet und die Wurzeloberfläche in einem Luftstrom getrocknet. Mit einem Applikator¹⁸ wurde der Primer¹⁷ des Adhäsivsystems für 30 s in die Zahnhartsubstanz einmassiert und in einem sanften Luftstrom getrocknet. Nachfolgend wurde das Adhäsiv¹⁹ aufgetragen und für 20 s polymerisiert.

Verbund beider Bestandteile:

In der Montagehilfe wurden die vorbereiteten Probenkörper auf den ebenfalls vorbereiteten Probenträgern mit einem lichthärtenden Kompositmaterial⁴⁸ zementiert. Die Lichthärtung erfolgte aus vier Richtungen für je 30 s mit einer Polymerisationlampe⁴⁸.

4.8.3 Durchführung der Kausimulation

Die Probenzähne wurden in den Prüfkammern des Kausimulators fest montiert, so dass eine stabile okklusale-vertikale Krafteinwirkung durch die antagonistische Degussitkugel gewährleistet war. Vor Beginn der Kausimulation wurden die Kontaktpunkte der Antagonisten auf den Randleisten der Restaurationen mit Shimstockfolie⁵¹ überprüft. Im Anschluss wurden die Proben im Münchener Kausimulator mit einer Gesamtzyklenzahl von 125 000 belastet.

4.9 Replikaherstellung nach Kausimulation

Nach der Kausimulation wurden erneut Repliken angefertigt. Dazu wurden die Probenkörper ihrem Probenteller entnommen. Die Vorgehensweise stimmte mit der unter Kapitel 4.5 bereits beschriebenen überein.

Insgesamt wurden vom Beginn bis zum Ende des Versuchszeitraums drei Repliken je Probenkörper angefertigt. Die Reihenfolge entspricht dabei den Versuchsphasen: nach Wasserlagerung, nach thermischer Wechselbelastung und nach Kausimulation. Sie dienten der anschließenden Auswertung und des Vergleichs.

4.10 Auswertung

4.10.1 Quantitative Randanalyse

Die quantitative Auswertung der Randqualitäten erfolgte mit der von ROULET et al. beschriebenen Methode der computergestützten quantitativen Randanalyse unter dem Rasterelektronenmikroskop⁵² (Roulet et al. 1989).

Zunächst wurden entlang des approximal-zervikalen Restaurationsrandes folgende zwei Auswertungsbereiche definiert und entsprechend markiert:

- “Rand” (horizontal verlaufender Randabschnitt)
- “Ecke” (Übergang vom horizontal zum vertikal verlaufenden Randabschnitt)

Anschließend wurde die Füllungsrandstruktur mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) entsprechend ihrer Zuordnung “Rand” oder “Ecke” segmentär bei 200facher Vergrößerung abgefahren und bewertet. Die Einteilung der Randqualität erfolgte nach dem in Tabelle 4.1 dargestellten Kriterienkatalog von BLUNCK (Blunck 1987, Blunck 1988). Beispiele der einzelnen Randqualitäten sind in den Abbildungen 4.8 bis 4.13 dargestellt.

Der angeschlossene Computer speicherte die Messdaten der zugehörigen Teilabschnitte und berechnete längenbezogen für jeden Zahn den prozentuellen Anteil der einzelnen Randqualitäten.

Tab. 4.1 Definition der Randqualitäten nach Blunck (1987, 1988)

Randqualität	Definition
Randqualität 1 "perfekter Rand"	Rand nicht oder kaum erkennbar kein Randspalt keine Randunregelmäßigkeiten
Randqualität 2	Rand erkennbar kein Randspalt geringe Randunregelmäßigkeiten
Randqualität 3	kein Randspalt massive Randunregelmäßigkeiten
Randqualität 4	Randspalt erkennbar ("Haarriss", bis 2 mm) keine Randunregelmäßigkeiten
Randqualität 5	Randspalt deutlich erkennbar Randspalt unter 5 μm keine bis geringe Randunregelmäßigkeiten
Randqualität 6	Randspalt unter 5 μm massive Randunregelmäßigkeiten
Randqualität 7	Spalt über 5 μm mit und ohne Randunregelmäßigkeiten
Der Begriff Randunregelmäßigkeiten umfasst: <ul style="list-style-type: none"> • Porositäten • Aufwölbungen des Füllungsmaterials 	

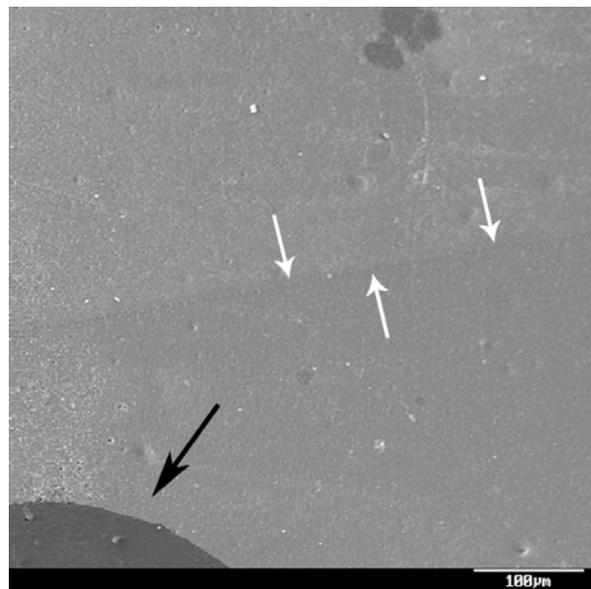


Abb. 4.8 Beispiel der Randqualität 1
REM - Aufnahme (200x) eines Füllungsrandes (weiße Pfeile); der schwarze Pfeil zeigt auf die Markierung zur Unterscheidung der Randbereiche

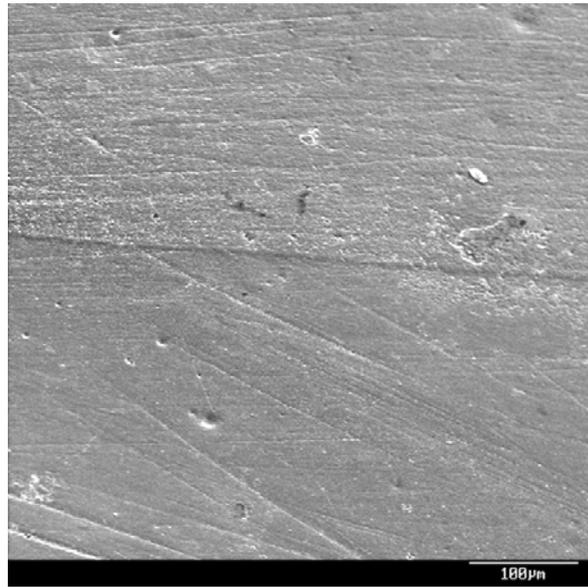


Abb. 4.9 Beispiel der Randqualität 2
REM - Aufnahme (200x) eines Füllungsrandes

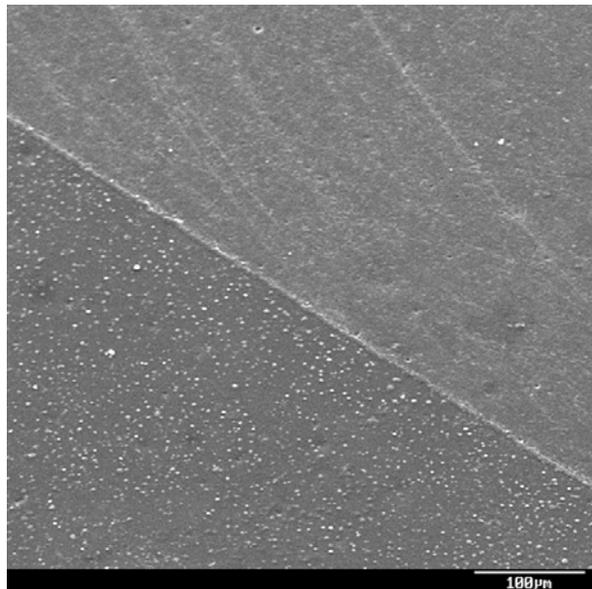


Abb. 4.10 Beispiel der Randqualität 3
REM - Aufnahme (200x) eines Füllungsrandes

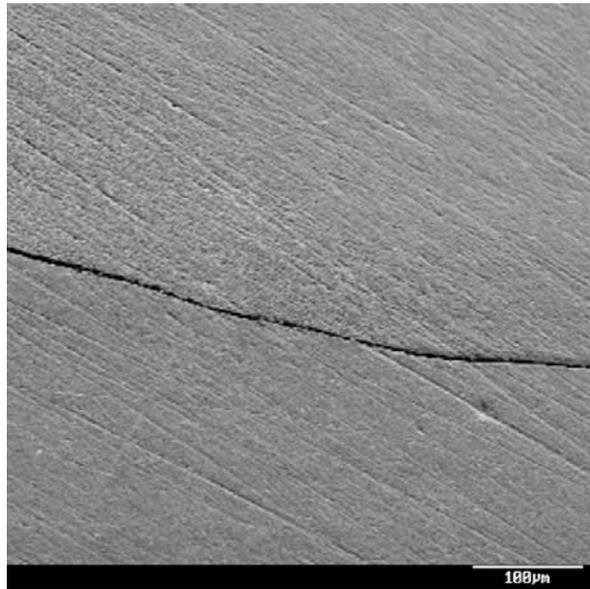


Abb. 4.11 Beispiel der Randqualität 4
REM - Aufnahme (200x) eines Füllungsrandes

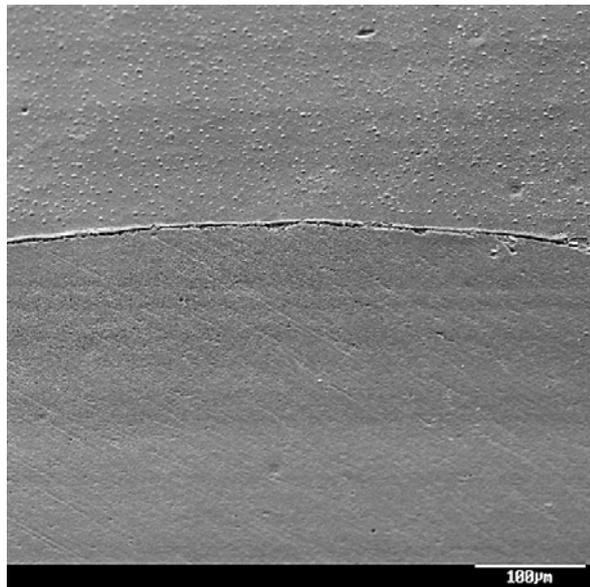


Abb. 4.12 Beispiel der Randqualität 5
REM - Aufnahme (200x) eines Füllungsrandes

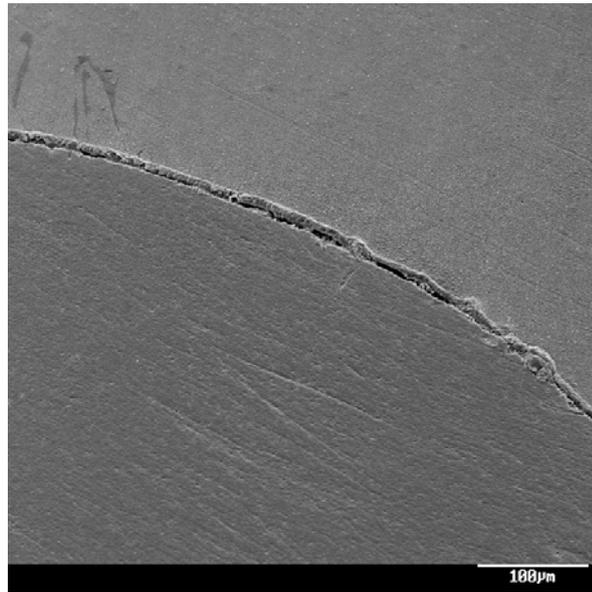


Abb. 4.13 Beispiel der Randqualität 6
REM - Aufnahme (200x) eines Füllungsrandes

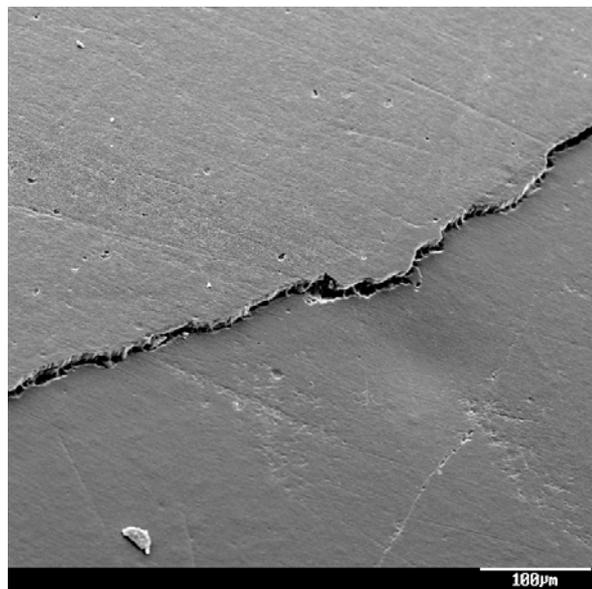


Abb. 4.14 Beispiel der Randqualität 7
REM - Aufnahme (200x) eines Füllungsrandes

4.11 Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden die Randqualitäten 1 und 2 als kontinuierlicher Rand "Note 1" zusammengefasst. Die Qualitäten 4, 5, 6 und 7 wurden dem Oberbegriff "Spalt" zugeordnet. Die Randqualität 3 wurde entsprechend der Tabelle 4.10.1 separat beurteilt. Die Auswertung der Daten erfolgte mit Hilfe der SPSS – PC 12.0 Software⁵³. Mit dem nicht-parametrischen Test nach Kruskal-Wallis wurden die Randqualitäten der "Note 1" für die Schichttechniken und die Adhäsivsysteme verglichen. Bei signifikanten Unterschieden wurde die Nachtestung mit Adjustierung nach Bonferroni durchgeführt. Dabei wurde in den verschiedenen Gruppen aufgeschlüsselt, für welche Materialien sich ein signifikanter Unterschied ergab. Zusätzlich erfolgte mit dem nicht-parametrischen Test nach Wilcoxon ein Vergleich der Adhäsivsysteme in Abhängigkeit vom Zeitpunkt der Randanalyse.