

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie
der Klinik und Polikliniken für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Universität Würzburg

Direktor: Professor Dr. med. dent. B. Klaiber

Fragmentbefestigung bei zervikalen Wurzelfrakturen
- Eine In-vitro Untersuchung zur Verbundfestigkeit verschiedener
Dentinadhäsivsysteme -

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Bayerischen Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Elmar Heuchemer

aus Neuwied/Engers

Würzburg, Oktober 2007

Referent: Prof. Dr. med. dent. B. Klaiber

Korreferent: Prof. Dr. med. dent. A. Renk

Dekan: Prof. Dr. med. M. Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 29. Januar 2008

Der Promovend ist Zahnarzt.

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	1
1.1.	Ätiologie und Häufigkeit von Wurzelfrakturen	1
1.2.	Einteilung der Wurzelfrakturen.....	2
1.3.	Die adhäsive Wiederbefestigung von Kronenfragmenten	4
1.3.1.	Indikation der adhäsiven Wiederbefestigung	4
1.3.2.	Kontraindikation der adhäsiven Wiederbefestigung.....	5
1.3.3.	Fragmentlagerung	6
1.4.	Die Verletzung der biologischen Breite	7
1.4.1.	Die biologische Breite	7
1.4.2.	Fragmentbefestigung bei Erhalt der biologischen Breite	9
1.4.3.	Behandlungsmethoden bei Verletzung der biologischen Breite.....	10
1.5.	Historische Entwicklung des Schmelz-Dentin-Komposit-Verbundes ...	11
1.6.	Wertung adhäsiver Befestigungen.....	13
2.	Problem und Fragestellung	16
3.	Material und Methode	17
3.1.	Zahnmaterial.....	17
3.2.	Vorbereitung der Versuchszähne	17
3.3.	Bruchversuch am intakten Zahn	19
3.3.1.	Messung der Bruchkraft.....	19
3.3.2.	Wertung der Bruchfragmente.....	21
3.3.3.	Vermessung der Bruchfläche.....	22
3.4.	Einteilung in Versuchsgruppen	22
3.5.	Fragmentbefestigung.....	23
3.5.1.	Verwendete Dentinadhäsive	23

3.5.2.	Anwendung der Dentinadhäsive.....	27
3.6.	Bruchversuch am restaurierten Zahn.....	27
3.7.	Errechnung des Bruchkraftquotienten	29
3.8.	Statistische Auswertung	29
4.	Ergebnisse	30
4.1.	Bruchverhältnisse der einzelnen Zähne.....	30
4.2.	Medianwerte der prozentualen Bruchverhältnisse der einzelnen Gruppen.....	31
4.3.	Untersuchung der Bruchverhältnisse zwischen den einzelnen Gruppen	34
4.4.	SPEARMAN-RHO-Test zum Vergleich von Bruchfläche und Bruchkraft	36
5.	Diskussion.....	37
5.1.	Diskussion der Zahnauswahl	37
5.2.	Diskussion der Zahnlagerung	38
5.3.	Diskussion des Bruchversuchs.....	38
5.4.	Diskussion der Ergebnisse	39
6.	Zusammenfassung	42
7.	Literaturverzeichnis.....	44
8.	Anhang	55
8.1.	Materialliste.....	55
8.2.	Ergebnisübersicht der Versuche.....	57
8.3.	Verwendete Dentinadhäsivsysteme und deren Inhaltsstoffe	59

Danksagung

Lebenslauf

1. Einleitung

1.1. Ätiologie und Häufigkeit von Wurzelfrakturen

Im Gegensatz zu unkomplizierten Kronenfrakturen, die den größten Anteil an traumatischen Verletzungen in der Zahnmedizin darstellen ⁽²³⁾, ist die Wurzelfraktur ein seltenes Ereignis.

Die Häufigkeit von Wurzelfrakturen innerhalb der Zahntraumata für bleibende Zähne beträgt 0,5 bis 7% und für Milchzähne 2 bis 4% ⁽⁴⁾. VON ARX et al. (1998) publizieren in einer retrospektiven Studie über Zahntraumata bei Kindern und Jugendlichen einem Anteil von 3% an Wurzelfrakturen ⁽⁷⁰⁾. Andere Untersuchungen zeigen, dass Wurzelfrakturen Traumata sind, die mit einer Häufigkeit von ca. 1% der traumatisierten bleibenden Zähne auftreten ^(15, 35, 36, 55).

Laut KASTE et al. (1996) haben 25 % der amerikanischen Bevölkerung im Alter zwischen sechs und 50 Jahren eine Verletzung der unteren oder oberen Frontzähne erlitten ⁽³⁹⁾. Frakturen der Frontzähne treten besonders im Alter von acht bis elf Jahren auf ^(2, 9). Jungen sind dabei häufiger betroffen als Mädchen ⁽⁶⁾. Insbesondere Patienten mit einer Zahnfehlstellung, die man in der Kieferorthopädie der Angle Klasse II/I zuordnet, sind besonders gefährdet ⁽⁵⁴⁾.

Die Zunahme von Frontzahnverletzungen hauptsächlich bei jungen Patienten lässt sich mit dem sprunghaften Anstieg von Trendsportarten, wie zum Beispiel Inlineskating oder Mountainbiking, erklären ⁽³¹⁾. Als weitere Ursachen für diese Art von Verletzungen werden das Fallen beim Spielen, Schlag-, Stoß- sowie Verkehrsunfälle genannt ^(31, 37, 52). Am häufigsten werden mit bis zu 88% mittlere, obere Schneidezähne beschädigt ⁽⁶⁴⁾.

Von Wurzelfrakturen sind hauptsächlich die zentralen (68%) und lateralen (27%) Oberkiefer-Inzisiven betroffen. Mit 5% sind die Unterkiefer-Inzisiven deutlich seltener betroffen ⁽¹⁸⁾.

MAJORANA et al. (2002) beziffern die Häufigkeit der Wurzelfrakturen von permanenten Oberkiefer-Inzisiven auf 75% ⁽⁴⁵⁾.

Vertikale Wurzelfrakturen treten besonders häufig bei endodontisch vorbehandelten Zähnen auf. Ein Grund hierfür kann eine übermäßige Kondensation der Wurzelfüllung oder das Einsetzen oder Entfernen eines Stift-Stumpf-Aufbaus sein ⁽⁴⁴⁾.

1.2. Einteilung der Wurzelfrakturen

Wurzelfrakturen sind komplexe dentale Traumata, die sowohl die Zahnhartsubstanz (Dentin und Zement), als auch die parodontalen und pulpalen Gewebe betreffen ⁽⁶⁹⁾.

Zunächst lassen sich die Wurzelfrakturen sowohl in horizontale und in vertikale Frakturen als auch in Kronen-Wurzelfrakturen, sogenannte Wurzelschrägfrakturen, einteilen. Bei dieser Art der Fraktur ist die Zahnkrone mitbeteiligt. Diese lässt sich wiederum in eine komplizierte und eine unkomplizierte Kronen-Wurzelfraktur unterteilen (WHO 1995). Bei der unkomplizierten Form der Kronen-Wurzelfraktur ist nicht nur der Zahnschmelz und das Kronendentin, sondern auch das radikuläre Dentin und das Wurzelzement betroffen ⁽¹¹⁾.

Im Unterschied dazu ist bei einer komplizierten Kronen-Wurzelfraktur zusätzlich die Pulpa betroffen.

Bei der reinen Wurzelfraktur ist nur das radikuläre Dentin, das Wurzelzement und die Pulpa beteiligt ⁽¹¹⁾.

Da Zähne mit vertikaler oder stark diagonal verlaufender Fraktur in der Regel nicht zu erhalten sind und extrahiert werden müssen ⁽⁶⁹⁾, betrachtet diese Arbeit hauptsächlich die horizontalen Frakturen.

Die Differenzierung der horizontalen Wurzelfrakturen erfolgt einerseits in Bezug auf das Frakturniveau, das heißt, die Fraktur verläuft im apikalen, im mittleren oder im zervikalen Drittel (siehe Abbildung 1) und andererseits auf den Dislokationsgrad (siehe Abbildung 2) des koronalen Fragments ⁽⁶⁹⁾.

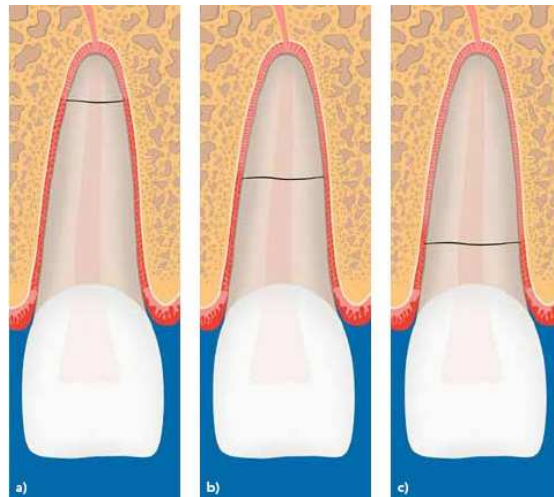


Abb. 1: Schematische Darstellung nach VON ARX (2007) der Wurzelfrakturen ohne Fragmentdislokation mit Frakturverlauf im apikalen (a), im mittleren (b) und im zervikalen Wurzelf Drittel (c) ⁽⁶⁹⁾.

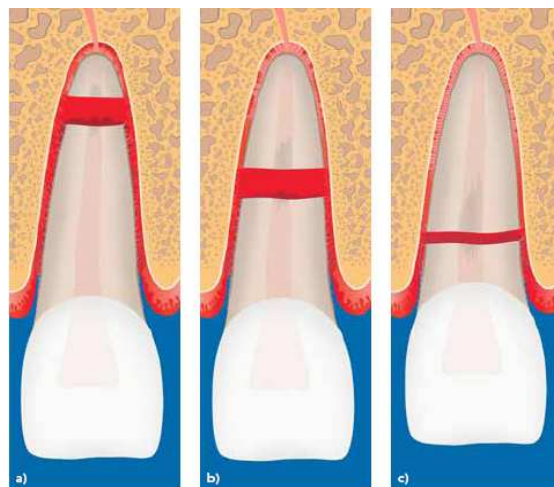


Abb. 2: Schematische Darstellung nach VON ARX (2007) der Wurzelfrakturen mit Fragmentdislokation bei Frakturverlauf im apikalen (a), im mittleren (b) und im zervikalen Wurzelf Drittel (c) ⁽⁶⁹⁾.

Nach EBELESEDER (2005) ist eine Unterscheidung durch die Lage der Fraktur nicht sachgerecht, da diese keinen Einfluss auf die Heilung hat. Er unterscheidet die Wurzelfraktur aufgrund ihrer Infektionsgefahr. So entsteht bei einer Konkussion keine Infektion ⁽²⁴⁾.

VON ARX (2007) bestätigt, dass das Verletzungsmuster einer nicht dislozierten Wurzelfraktur einer Konkussion entspricht. Eine Behandlungsbedürftigkeit liegt hier selten vor ⁽⁶⁹⁾.

Die Prognose von Wurzelfrakturen ohne primäre Fragmentdislokation ist nach OEZTAN und SONAT (2001) günstig ⁽⁵¹⁾. Auch andere Autoren sehen eine günstige parodontale und pulpale Heilung der Zahnfraktur bei fehlender Dislokation ^(7, 21, 27, 73, 75).

Bei einer reponierten lateralen Luxation entsteht lediglich eine kurzfristige Infektion. Bei Kontakt des Bruchspalts mit einer parodontalen Tasche entsteht hingegen eine dauerhafte Infektion ⁽²⁴⁾.

Nach ANDREASEN (1967) gibt es vier verschiedenen Heilungsmöglichkeiten von apikalen Wurzelfrakturen. Entweder kommt es zu einer Hartgewebsverbindung der Fragmente durch einen Kallus, oder es kommt zu Zwischenlagerung von Bindegewebe. Auch die Zwischenlagerung von Bindegewebe und Knochen ist möglich. Kommt es durch eine Pulpanekrose nicht zur Heilung, wächst Granulationsgewebe in den verbreiterten Frakturspalt ein. Hier kann von keiner Heilung gesprochen werden. Obwohl ANDREASEN früher hoffte, die Heilung durch eine starre Schienung positiv zu beeinflussen ⁽⁸⁾, empfiehlt man heute eine flexible Schienung ^(7, 69).

Zusammenfassend kann man sagen, dass je weiter apikal die Fraktur verläuft und je weniger disloziert das koronale Fragment ist, desto günstiger ist die Prognose für die Heilung der Fraktur.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit der Wiederbefestigung von koronalen Wurzelfrakturen, da bei diesen eine selbständige Heilung nicht zu erwarten ist.

1.3. Die adhäsive Wiederbefestigung von Kronenfragmenten

1.3.1. Indikation der adhäsiven Wiederbefestigung

Neben dem Aufbewahren des Fragments für die Wiederbefestigung müssen nach BARATIERI et al. (1998) weitere Voraussetzungen erfüllt werden ⁽¹³⁾.

Das Fragment muss auf dem in der Alveole verbliebenen Rest des Zahnes eindeutig repositionierbar sein. Der zu behandelte Zahn sollte karies- und füllungsfrei sein um genug Zahnhartsubstanz für eine Befestigung zu bieten.

Eine Fragmentbefestigung ist auch bei noch nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum indiziert, da hier eine prothetische Lösung nicht durchführbar ist.

Auch Frakturen, bei welchen der Frakturspalt isoossär oder knapp subossär verläuft, können wiederbefestigt werden ⁽¹³⁾.

Der Frakturspalt muss hierfür mit Hilfe eines Retraktionsfadens oder einer Ostektomie dargestellt werden ⁽¹⁾. Aus ästhetischen Gründen sollte die Ostektomie ausschließlich im nicht sichtbaren Bereich durchgeführt werden.

Im ästhetischen Bereich sollte auf eine kieferorthopädische oder chirurgische Extrusion zurückgegriffen werden ^(40, 41, 68).

1.3.2. Kontraindikation der adhäsiven Wiederbefestigung

Obwohl Adhäsive aus der modernen Zahnmedizin nicht mehr wegzudenken sind, gibt es jedoch einige Kontraindikationen für die adhäsive Wiederbefestigung.

Bei großen kariösen Läsionen im Bereich des Bruchspaltes ist eine sichere Reposition und somit eine adhäsive Wiederbefestigung nicht möglich.

Entscheidend ist außerdem die Art der Fraktur. Bei Trümmerfrakturen können durch den großen Verlust von Zahnschubstanz und der Vielzahl der Fragmente Probleme bei der Fixierung auftreten.

Auch eine vertikale Fraktur stellt eine Kontraindikation für eine adhäsive Wiederbefestigung dar und erfordert eine Extraktion des Zahnes ^(13, 69) oder eine nach extraossärer Reparatur folgende Replantation ⁽⁴⁶⁾.

Ebenso stellen Frakturen im mittleren oder apikalen Drittel der Wurzel eine Kontraindikation für eine adhäsive Befestigung dar.

Eine ausgeprägte parodontale Vorerkrankung oder eine große apikale Entzündung eines frakturierten Zahnes zwingen hier zu einer Extraktion.

1.3.3. Fragmentlagerung

Ein vielfach untersuchter Themenkomplex in der Traumatologie ist die fachgerechte extraorale Aufbewahrung von Zahnfragmenten bei Frakturen.

Bei totalluxierten Zähnen spielt die fachgerechte Aufbewahrung eine wichtige Rolle. Höchstes Ziel hierbei ist, die desmodontalen Zellen so lang wie möglich am Leben zu erhalten.

Zahnhartgewebe kann ergänzt und die Pulpa endodontisch versorgt werden. Das verlorengegangene Parodont ist dagegen nicht zu ersetzen. Dies hat zur Folge, dass sich die moderne Traumatologie der Zähne auf die Heilungsvorgänge im Parodont fokussiert ⁽²⁸⁾.

Wasser und Speichel werden als Aufbewahrungsmedium von FILIPPI (2005) für avulsierte Zähne neben der trockenen Lagerung als unphysiologisch abgelehnt. Kühlschranksalte (8°C) ultrahoherhitzte Milch ist seiner Meinung nach für die Aufbewahrung besser geeignet ⁽²⁸⁾. Ein Zahn ist hier bis zu vier Stunden sicher aufbewahrt und das Überleben der empfindlichen Zementoblasten gewährleistet ⁽²⁹⁾.

Die Zahnrettungsbox Dentosafe[®] bietet die höchste Sicherheit. Diese ermöglicht es, die Zellvitalität für mindestens 24-48 Stunden zu garantieren. Erreicht wird dies unter anderem durch ein Gewebekulturmedium, ein Vitamin B12-Komplex und ein Puffersystem, das ein Absinken des pH- Wertes in einen zelltoxischen Bereich (< pH 6) verhindert ⁽²⁸⁾.

Bei Kronenfragmenten kommt der Lagerung weniger Bedeutung zu. Hier reicht nach FILIPPI (2007) auch eine Wasserlagerung aus ⁽²⁹⁾. ANDREASEN (1993) hält eine 37°C warme physiologische Kochsalzlösung für das beste Aufbewahrungsmedium für Zahnfragmente ⁽⁴⁾. Laut FARIK et al. (1999) ist selbst eine trockene Lagerung problemlos, solange eine Zeitspanne von einer Stunde nicht überschritten wird. Eine trockene Lagerung über eine Stunde hinaus, wirkt sich aber negativ auf die Verbundfestigkeit aus. Eine Wiederbefeuchtung der Zahnfragmente ist aber selbst nach 24 Stunden trockener Lagerung durch eine 24stündige Wasserlagerung möglich ⁽²⁵⁾.

1.4. Die Verletzung der biologischen Breite

1.4.1. Die biologische Breite

Einen entscheidenden Faktor bei der adhäsiven Wiederbefestigung stellt die biologische Breite dar (Abb.3).

Die biologische Breite ist der Bereich im dentogingivalen Komplex, der die physiologische Balance von epithelialen und bindegewebigen Attachment erhält ⁽¹³⁾. Sie umgibt die Zahnstruktur mit dem epithelialen und dem bindegewebigen Attachment und reicht von der Knochenoberkante bis zum Boden des gingivalen Sulkus und beträgt ca. 2mm ⁽³⁸⁾. Solange sich keine strukturelle Veränderung ereignet, bleibt der Abstand lebenslang konstant ⁽³⁴⁾.

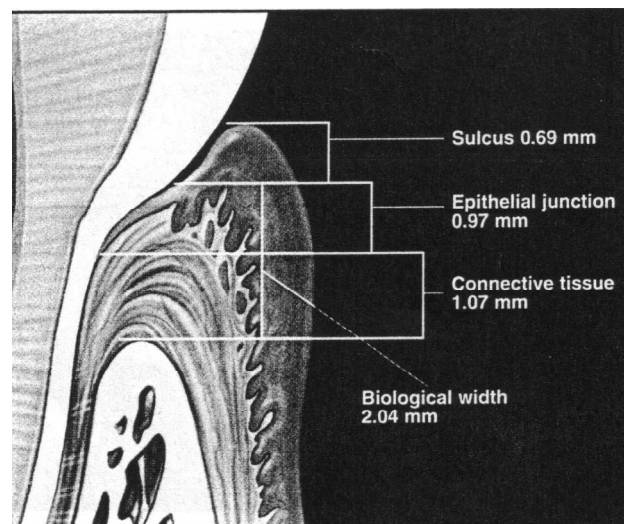


Abb. 3: Die biologische Breite nach BARATIERI et al. (1998) ⁽¹³⁾

Die klinische Bedeutung einer intakten biologischen Breite liegt in der Erhaltung der parodontalen Gesundheit ⁽¹³⁾.

Kommt es zu einer Verletzung dieses Bereiches, sei es durch eine kariöse Läsion, eine Kavitätenpräparation oder einer Zahnfraktur, so ist das biologische Gleichgewicht gestört. Nach BARATIERI et al. (1998) resultiert daraus eine parodontale Entzündung und eine irreguläre, progressive Resorption des Knochens ⁽¹³⁾. Laut BARATIERI et al. (1998) ist eine natürliche Heilungsmöglichkeit eines solchen Vorgangs nicht möglich. Hier hilft nur noch

eine chirurgische Korrektur, die den physiologischen / biologischen Abstand zwischen der Restauration und dem Alveolarfortsatz wiederherstellt ⁽¹³⁾.

Auch STRUB (1999) empfiehlt, sowohl bei tief subgingival verlaufenden Füllungs- oder Kronenrändern, als auch bei subgingivalen Schmelz-Dentin-Frakturen, eine chirurgische Knochenverlängerung durchzuführen. Dafür müsste zahntragender Knochen und die in ihn inserierenden Fasern abgetragen werden. Dabei muss darauf geachtet werden, dass ca. ein Millimeter Breite für die Neubildung des bindegewebigen Attachments und ein weiterer Millimeter für das epitheliale Attachment (Saumepithel) zur Verfügung steht. Ist demnach eine chirurgische Kronenverlängerung notwendig, muss der Abstand des prospektiven Kronenrandes oder des Restaurationsrandes zum Alveolarknochen 2,5 bis 3mm betragen ⁽⁶⁵⁾. Laut ANDING (2007) soll der Alveolarknochen im nicht sichtbaren Bereich soweit reduziert werden, dass bei einer subgingivalen Fragmentbefestigung zur guten, suffizienten Darstellung und Trockenlegung im Idealfall zwischen Alveolarknochen und Frakturverlauf eine Distanz von einem halben Millimeter vorhanden ist ⁽¹⁾.

Wird die biologische Breite im Frontzahnbereich durch eine Fraktur verletzt, muss der Zustand genau diagnostiziert und die Behandlung präzise gewählt werden ⁽¹³⁾. In diesem Fall muss überlegt werden, ob anstelle der chirurgischen Kronenverlängerung eine kieferorthopädische oder chirurgische Extrusion ästhetisch günstiger ist.

Schmelz-Dentin-Frakturen mit oder ohne Pulpabeteiligung, sowie Wurzelfrakturen mit Verletzung der biologischen Breite, stellen eine außergewöhnliche Herausforderung dar. Ihre Behandlung gestaltet sich sehr schwierig und erfordert eine interdisziplinäre Zusammenarbeit um eine ästhetisch und funktionell zufriedenstellende Restauration zu erzielen.

So ist eine weiter apikal liegende Verletzung schwieriger zu behandeln als eine zervikale ⁽¹³⁾.

Einige Behandlungsoptionen von BARATIERI et al. (1998) und ANDREASEN (1992) zur Behandlung einer Fraktur im Bereich der biologischen Breite werden im Abschnitt 1.4.3. gesondert besprochen ^(5, 13).

1.4.2. Fragmentbefestigung bei Erhalt der biologischen Breite

Nicht jede Fraktur bedeutet gleichzeitig eine Verletzung der biologischen Breite. Andreasen schlägt in diesem Fall folgende Lösungsansätze vor.

Sein erster Behandlungsvorschlag sieht vor, dass das koronale Fragment erhalten wird. Dies kann durch das Ankleben des ursprünglichen Zahnfragments mit einem Dentinhaftvermittler geschehen. Weitere Möglichkeiten stellen ein Aufbau aus Kompositmaterialien nach Ätzen und Bonden mit einem Dentin- und Schmelzhaftvermittler oder eine Kronenversorgung dar ⁽⁵⁾.

Da aber eine Fraktur im Kronen-Wurzelbereich oder Wurzelbereich anatomisch bedingt zumeist mit einer Eröffnung der Pulpa verbunden ist, müssen auch für diese Fälle Behandlungsmöglichkeiten gefunden werden.

Bei kleineren Eröffnungen der Pulpa, die aber auf Grund des großen Pulpencavums jüngerer Patienten hauptsächlich bei älteren Patienten vorkommen dürfte, schlägt ANDREASEN (1992) unter den unten erwähnten Voraussetzungen eine direkte Überkappung oder bei größeren Eröffnungen eine partielle oder vollständige Amputation vor ⁽⁵⁾.

Die Voraussetzungen hierfür sind, dass die Pulpa auch vor dem Unfall entzündungsfrei gewesen ist und eine zusätzliche Verletzung des Parodontiums nicht zu einer Beeinträchtigung der Gefäßversorgung der Pulpa geführt hat.

Für die direkte Überkappung soll die Zeit zwischen Unfall und Versorgung nicht länger als 24 Stunden betragen und eine dichte Abdeckung gegen eine bakterielle Invasion möglich sein. Dabei wird die freiliegende Pulpa mit einer Kalziumhydroxidpaste oder mit Kalziumhydroxidzement abgedeckt ⁽⁵⁾. Das restliche freiliegende Dentin wird heutzutage als Klebefläche genutzt. Das Fragment muss anschließend leicht ausgeschliffen werden, um die direkte Überkappung zu ermöglichen. Dieses Vorgehen ist vor allem dann durchzuführen, wenn sich der Zahn noch in der Entwicklungsphase befindet, und die Wurzel noch nicht vollständig ausgebildet ist ^(2, 11).

Nach ANDREASEN (2004) wird eine partielle Amputation bei größeren Eröffnungen und einem länger als 24 Stunden dauernden posttraumatischen

Intervall empfohlen. Hierbei wird die Pulpa bis zu einer Tiefe von ca. 2 mm entfernt. Die Amputationsfläche wird danach mit einem aushärtenden Kalziumhydroxidzement abgedeckt. Dann kann das Fragment mit Hilfe eines Dentin-Haftvermittlers befestigt werden ⁽⁷⁾.

Auch ein Vorgehen mit oder ohne Hilfe einer Stiftverankerung ist denkbar. In diesem Fall muss die Zahnwurzel erfolgreich endodontisch versorgt und mit dem Kronenfragment verbunden werden.

In dem Fall der Behandlung ohne Glasfaserstift wird die Wurzelfüllung ca. 3mm entfernt und gleichzeitig das Fragment entsprechend 3mm zapfenförmig ausgeschliffen. Nach Konditionierung mit Phosphorsäure wird ein Dentinadhäsiv mit einem dünnfließenden Komposit aufgetragen und das Fragment wiederbefestigt ⁽¹⁾.

In dem Fall der Behandlung mit Glasfaserstift muss hierzu nach der Stiftbohrung der passende Stift eingeklebt werden. Das Kronenfragment muss jedoch vor der Befestigung ausgeschliffen werden, um Platz für den Stift zu schaffen. Anschließend kann das Kronenfragment über den Stift auf der Zahnwurzel adhäsiv befestigt werden.

1.4.3. Behandlungsmethoden bei Verletzung der biologischen Breite

Die Folgen einer Verletzung der biologischen Breite wurden in Abschnitt 1.4.1. beschrieben. Nunmehr ist zu erläutern, wie der Fall einer Fraktur nach Verletzung der biologischen Breite zu behandeln ist. BARATIERI et al. (1998) führen aus, dass zunächst der Behandler entscheiden muss, ob er die Pulpa nach frakturbedingter Eröffnung erhalten will oder ob diese geopfert und eine endodontische Behandlung eingeleitet werden muss ⁽¹³⁾.

BARATIERI et al. (1998) schlagen eine Lösung vor, in der sie eine kleine Lappenoperation mit oder ohne Ostektomie verbinden. Im Folgenden soll das Fragment wiederbefestigt oder der fehlende Anteil des Zahnes mit Hilfe einer Kompositrestauration ersetzt werden ⁽¹³⁾. Darunter versteht man die Schaffung einer physiologischen Knochenform und die Beseitigung von scharfen Knochenkanten durch Konturieren bzw. Entfernen von marginalem Knochen.

Die Wiederbefestigung des Fragments ist die Behandlungsart, die in dieser Arbeit näher untersucht wird.

Eine ähnliche Behandlungsoption beschreibt ANDREASEN (1992), indem er eine subgingivale Fraktur in eine supragingivale Fraktur unter Zuhilfenahme einer Gingivektomie und Ostektomie umwandelt. Als Indikation gibt er aber nur nicht sichtbare Regionen an, da dieses Vorgehen mit ästhetischen Nachteilen verbunden ist ⁽⁵⁾.

Ein Vorschlag von BARATIERI et al. (1998) ist die geringfügige Extrusion der Wurzel zur Wiederherstellung der biologischen Breite mit darauf folgender Restauration des Zahnes ⁽¹³⁾. Diese kann sowohl chirurgisch als auch kieferorthopädisch erfolgen.

Auch hier zeigen sich Ähnlichkeiten in der Behandlungsmethode von ANDREASEN (1992). Sowohl er als auch andere Autoren zeigen als Möglichkeit eine chirurgische oder kieferorthopädische Extrusion der Wurzel mit nachfolgender Versorgung auf ^(5, 40, 68). Die chirurgische Behandlung ist jedoch immer mit einer Wurzelbehandlung verbunden ⁽⁷¹⁾.

Bei einer Fraktur während des Zahndurchbruches in die Mundhöhle gehen BARATIERI et al. (1998) so vor, dass sie zum Schutz der Pulpa und des vitalen Dentins das Fragment wiederbefestigen oder einen Aufbau mit Komposit durchführen. Erst nach vollständigem Durchbruch planen sie eine definitive Restauration ⁽¹³⁾.

Ein radikaler, nicht zahnerhaltender Eingriff nach BARATIERI et al. (1998) wäre die Extraktion der Wurzel mit anschließender Versorgung durch eine Adhäsivbrücke oder eines Implantates ⁽¹³⁾.

1.5. Historische Entwicklung des Schmelz-Dentin-Komposit-Verbundes

Das Problem des Schmelz-Dentin-Komposit-Verbundes ist in dem ungünstigen Wärmeausdehnungskoeffizienten und vor allem in der Polymerisationsschrumpfung zu sehen. Diese bedingt eine klebende Verbindung, da Komposite grundsätzlich zunächst nicht an Schmelz oder

Dentin haften. So würden schon nach der Polymerisationsschrumpfung Spalten entstehen, wodurch der Sekundärkaries Vorschub geleistet werden würde ⁽³²⁾.

Den ersten Schritt einer adhäsiven Befestigung ging BUONOCORE (1955) mit der Entwicklung der Schmelz-Ätz-Technik ⁽¹⁶⁾. Er beobachtete, dass die mikromechanische Haftung von Kunststoff zum Schmelz aufgrund einer Schmelzätzung mit Phosphorsäure deutlich erhöht werden konnte ⁽¹⁶⁾. Dies ist dadurch zu erklären, dass die Schmelzprismen im Zentrum und der Peripherie eine unterschiedliche Säurelöslichkeit aufweisen. Durch die Ätzung entsteht eine raue Struktur, in die die Adhäsive einfließen und eine enge Verzahnung mit dem Schmelz ausbilden können ⁽³²⁾. Die Säure-Ätz-Technik revolutionierte die restaurative Zahnheilkunde durch das Erreichen eines mikromechanischen Verbundes zwischen Adhäsiv und Zahnschmelz.

Die adhäsive Verbindung zum Dentin stellte sich jedoch problematischer als zum Schmelz dar. Durch die tubuläre Mikrostruktur, die intrinsische Feuchtigkeit und den höheren Gehalt an organischem Material, liegen für den Verbund deutlich ungünstigere Voraussetzungen vor. Nach FRANKENBERGER (2001) ist dies der Grund, warum sich erst nach Jahrzehnten erste Erfolge eingestellt haben ⁽³²⁾.

Die Entwicklung der heutigen Dentinadhäsive vollzog sich stufenweise. FRANKENBERGER (2001) spricht hier von Generationen, die sich auf die Anzahl klinischer Arbeitsschritte und die Art der Interaktion des Adhäsivs mit dem Dentin beziehen ⁽³²⁾.

Die beiden ersten Generationen waren erfolglos. Der Grund dafür war die beim Präparieren entstehende Schmierschicht, dem sogenannten smear layer, einem Brei aus zermahlenden Dentinresten, Bakterien und Wasser. Erste Erfolge wurden im Rahmen der dritten Generation erzielt. Bei der Verarbeitung dieser Dentinadhäsive wurde nur der Schmelz der Kavität mit Phosphorsäure angeätzt. Das Dentin wurde mit einem selbstätzenden Primer bearbeitet. Diese Primer waren mit schwach konzentrierten Säuren (z.B. Maleinsäure) angereichert, welche die Schmierschicht auflösen und zugleich das darunter liegende Dentin oberflächlich demineralisieren sollten. Dadurch sollten die kollagenen Fasern freigelegt, imprägniert und für das Umfließen mit einem

Bonding vorbereitet werden ⁽³²⁾. Die für die Haftung wichtigste Zone war hierbei die sogenannte Hybridschicht. Diese entsteht durch den in die Zwischenräume der freigelegten Kollagenfasern eingedrungenen ungefüllten Kunststoff. Das Problem bei dieser Anwendung liegt in dem selektiven Ätzen der Schmelzränder, da ein versehentliches Auftragen der Säure auf das Dentin nicht immer zu vermeiden ist ⁽³³⁾.

Es folgte die Entwicklung einer vierten Generation von Dentinadhäsiven. Diese Entwicklungsstufe prägte den Begriff des „Total – Etching“. Hierbei wird die gesamte Kavität mit Phosphorsäure angeätzt.

Diese Vorgehensweise erleichtert die Handhabung der Säure erheblich. Bei dieser Anwendung hat der Primer nur noch die Aufgabe, mit Hilfe amphiphiler Moleküle eine Verbindung des hydrophilen Dentins zum hydrophoben Kunststoff herzustellen ⁽⁶⁷⁾.

In der fünften Generation wurden Adhäsivsysteme eingeführt, die auch eine vollständige Ätzung der Kavität erlauben. Hier wurden Primer und Bonding, bzw. später Ätzgel und Primer, in einer Flüssigkeit zusammengefasst. Die Behandlung konnte so um einen klinischen Arbeitsschritt reduziert werden.

Die neuesten Produkte beinhalten alle Komponenten in einer Verpackung, z.B. Adper[®]Prompt[®]L-Pop[®], und werden daher auch „All-In-One“ - Produkte genannt. Ein selektives Ätzen oder Primieren in einem Extraschritt ist nicht mehr notwendig.

1.6. Wertung adhäsiver Befestigungen

Es gibt eine große Zahl von Veröffentlichungen, die von der adhäsiven Wiederbefestigung eines frakturierten Zahnes handeln. Häufig werden aber nur die Wiederbefestigungen von Kronenfragmenten ^(26, 61) und nicht die Wiederbefestigung eines im Dentin frakturierten Zahnes behandelt. Dennoch lassen sich die Vorteile dieser Untersuchungen zum Teil auch auf diese Art von Zahnfrakturen übertragen.

Bei FARIK et al. (2002) als auch bei BARATIERI et al. (1998) ist die überlegene Ästhetik ein wichtiger Vorteil der Wiederbefestigung eines Zahnfragmentes im

Vergleich zu konventionellen Methoden ^(13, 26) und führen aus, dass die Adhäsivtechnik die optimale Methode ist, um die originale Form, Kontur, Oberflächenstruktur, Ausrichtung und Farbe wieder einzustellen ⁽¹³⁾. So können auch die Okklusal- und Approximalkontakte wieder optimal hergestellt werden. Einbußen können sich aber ergeben, wenn ein bereits ausgetrocknetes und somit farblich verändertes Fragment wiederbefestigt wird ⁽⁷⁴⁾.

Nach BARATIERI et al. (1998) ist besonders bei Kindern auch der positive emotionale und soziale Faktor ein wichtiger Vorteil für die Durchführung der Wiederbefestigung ⁽¹³⁾.

FARIK (2002) ist auch der Meinung, dass die Adhäsivtechnik für den verletzten Zahn weniger traumatisch sei, als eine Kronenpräparation und das Zementieren der Krone ⁽²⁶⁾. Dies gilt aber nur, wenn die biologische Breite nicht berührt wird. Wenn diese unterschritten wird, muss in einem traumatischen Eingriff ostektomiert werden ⁽¹³⁾.

Des Weiteren ist die Abrasionsrate des Antagonisten durch den natürlichen Zahn nicht erhöht. Dies wäre aber der Fall, wenn der frakturierte Zahn durch eine keramische Restauration wiederhergestellt würde ^(2, 3).

Die Methode der Wiederbefestigung ist laut SENGUN et al. (2003) ökonomischer ⁽⁶¹⁾. Dies ist leicht nachzuvollziehen, da bei dieser Art der Behandlung weder Abdrücke noch Modelle hergestellt werden müssen und der Weg über den Zahntechniker entfällt.

Die Behandlungszeit, die der Patient auf dem Zahnarztstuhl verbringt, ist ebenfalls geringer als bei einem Aufbau mit Komposit oder einer prothetischen Versorgung ^(17, 19).

Als Nachteile der Fragmentbefestigung werden von BARATIERI et al. (1998) die falsche Repositionierung des Fragments, die Möglichkeit einer erneuten Fraktur bei markanten horizontalem Überbiss oder mit Parafunktionen, und die Gefahr des nicht mehr Anpassens des Fragments an die natürliche Farbe genannt ⁽¹³⁾.

Die Gefahr der erneuten Fraktur ist laut einer skandinavischen Studie durch ANDREASEN et al. (1995) bestätigt. Im Rahmen dieser Studie gingen 50 % der adhäsiv befestigten Fragmente in den ersten zweieinhalb Jahren nach der

Wiederbefestigung verloren. In den meisten Fällen war die Ursache ein erneutes Trauma oder unphysiologischer Einsatz der restaurierten Zähne ⁽²⁾.

2. Problem und Fragestellung

Da im jugendlichen Gebiss die prothetische Versorgung eines zervikal frakturierten Zahnes aufgrund des nicht abgeschlossenen Kieferknochen- und Wurzelwachstums nicht möglich ist, stellt sich die Frage nach einer ästhetisch zufriedenstellenden, wenig zeitaufwendigen und zugleich günstigen Lösung.

Es ist also zu untersuchen, ob ein Kompositaufbau oder die Fragmentwiederbefestigung diese Forderungen, gegebenenfalls unter zu Hilfenahme parodontalchirurgischer oder kieferorthopädischer Eingriffe erfüllen kann.

Für den klinischen Fall einer zervikalen Wurzelfraktur sollen in dieser In-vitro Studie humane Oberkiefermolaren im Dentin frakturiert werden. Die Ausgangsbruchkraft wird gemessen. Die frakturierten Wurzeln werden mit Dentinadhäsivsystemen unterschiedlicher Generationen nach den entsprechenden Herstellerangaben wiederbefestigt. Die Bruchkraft der erneuten Fraktur an exakt gleicher Stelle wird ebenfalls gemessen. Die Bruchkraft des zweiten Bruches wird zur Ausgangsbruchkraft in ein Verhältnis gesetzt. Dieser Bruchfestigkeitsquotient dient dazu, signifikante Unterschiede in der Bruchfestigkeit in Abhängigkeit zum verwendeten Dentinadhäsiv und die Eignung der Systeme für diesen Zweck herauszufinden.

In diesem Zusammenhang soll auch festgestellt werden, ob selbststützende Systeme (in diesem Versuch wurde Adper[®]Prompt[®]L-Pop[®] verwendet) signifikant schlechtere oder bessere Werte als nicht selbststützende Systeme zeigen.

Mit dem zusätzlich zu dem Adhäsivsystem OptiBond FL[®] verwendeten fließfähigen Kompositmaterial (hier: Tetric[®] Flow) wird untersucht, ob eine Erhöhung der Frakturresistenz erreicht werden kann.

Des Weiteren wird der Frage nachgegangen, welcher Zusammenhang zwischen der Größe der Bruchfläche und dem Bruchfestigkeitsquotienten besteht.

3. Material und Methode

3.1. Zahnmaterial

Die nachfolgend geschilderten Versuche wurden an humanen Oberkiefermolaren, die eine freistehende, nicht mit den bukkalen Wurzeln fusionierte, palatinale Wurzel aufwiesen, durchgeführt (Abbildung 4). Nach der vorwiegend aus parodontalen Gründen durchgeführten Extraktion, wurden die Zähne in Chloramin-T-Lösung (1%, Universitätsapotheke Würzburg) aufbewahrt (53, 58).

Zähne mit keilförmigen oder kariösen Defekten oder Füllungen fanden keine Verwendung. Ebenso wurden endodontisch behandelte Zähne, oder Zähne, die bei der Extraktion verletzt wurden, außer acht gelassen.



Abb. 4: oberer 1. Molar mit freistehender palatinaler Wurzel vor dem Einbetten

3.2. Vorbereitung der Versuchszähne

Vor dem Einbetten wurden die Wurzeln zunächst mit Hilfe einer Columbia-Kürette (Universalkürette SC4R/4L 4; Fa. Hu-Friedy) von harten und weichen Belägen befreit.

Als Einbettmedium wurde Technovit® 4071 (Fa. Heraeus Kulzer), ein schnellhärtender kaltpolymerisierender Methylmethacrylatkunststoff, verwendet. Die Zähne wurden mit Klebewachs (M+W Klebewachs) über einen Rosenbohrer (Fa. Hager & Meisinger) in der Trifurkation befestigt. Um einen

sicheren Halt zu gewährleisten, wurde der Rosenbohrer wiederum über eine Abgreifklemme (Fa. Hirschmann) mit einem schweren Standfuß verbunden (Abbildung 5).

Mit dieser Haltevorrichtung konnten die Zähne so eingebettet werden, dass die Zahnkrone mittig in der im Durchmesser 30mm großen Einbettform (Multiform 30mm, Fa. Struers GmbH) bis zur Schmelz-Zement-Grenze von Kunststoff umfasst wurde (Abbildung 6).

Zum Schutz der Zähne vor Überhitzung und Austrocknung, wurden sie während der exothermen Polymerisationsreaktion der Einbettmasse in ein kühles Wasserbad gestellt. Laut den Herstellerangaben von Technovit® beugt dies auch der Porenbildung im Kunststoff vor, was wiederum eine höhere Festigkeit des Kunststoffs zur Folge hat.

Um einen genormten Ansatzpunkt für den Kraftstempel zu ermitteln, wurde mit einer Präzisionsschieblehre (Fa. Preisser) die Länge zwischen Wurzelspitze und Trifurkation gemessen. Die Hälfte dieser Länge ergab den Ansatzpunkt des Stempels und wurde mit einem wasserfesten Stift (Lumocolor, Fa. Staedtler) farblich markiert.

Die eingebetteten Zähne wurden in 0,9%iger Kochsalzlösung (Fa. Fresenius AG) bis zum Versuchsbeginn gelagert.



Abb. 5: Zahn in Haltevorrichtung



Abb. 6: eingebetteter Versuchszahn

3.3. Bruchversuch am intakten Zahn

3.3.1. Messung der Bruchkraft

Für den Bruchversuch wurde eine Materialprüfmaschine der Firma Zwick (Typ 1445, Fa. Zwick GmbH & Co) verwendet.

Der Kunststoffblock mit dem eingebetteten Zahn, wurde in eine dafür vorgesehene Stahlvorrichtung eingespannt und durch zwei Schrauben starr fixiert.

Ein meißelartiger Stempel (Abbildung 8) wurde unbeweglich am oberen Querträger der Maschine befestigt (Abbildung 7) und genau auf der zuvor am Zahn angebrachten Linie senkrecht ausgerichtet. Des Weiteren wurde die Stahlvorrichtung an dem obersten Punkt der Öffnung, in der der Technovit®block eingespannt wurde, markiert. Auch am Technovit®block mit dem eingebetteten Zahn, wurde die Stelle mit einem wasserfestem Stift markiert, an der der Stempel auf die Wurzel treffen soll. Diese beiden Markierungen wurden bei beiden Versuchen aufeinander ausgerichtet, um zu garantieren, dass der Stempel jeweils aus derselben Richtung auf den Zahn trifft.

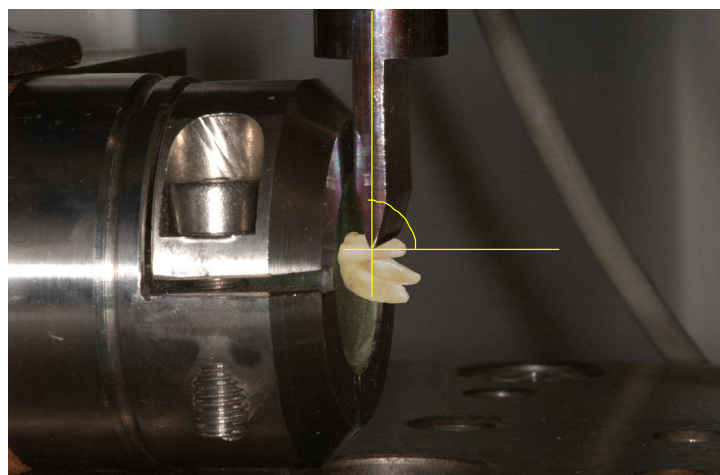


Abb. 7: in Stahlvorrichtung eingespannter Zahn mit ausgerichtetem Stempel im Winkel von 90°

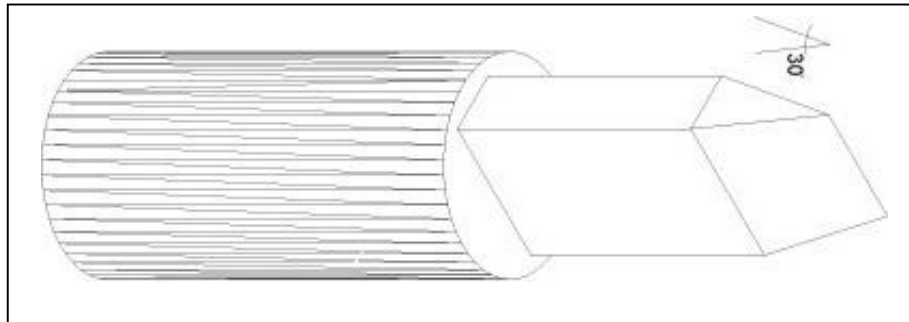


Abb. 8: schematische Darstellung des verwendeten Bruchstempels

In der folgenden Abbildung sind die zwei wichtigsten Parameter genannt, die vor Prüfungsbeginn für ein einheitliches Prüfungsprogramm in den Computer eingegeben wurden:

Parameter des Prüfungsprogramms:	
Vorkraft:	2N
Geschwindigkeit des Prüfobjekts:	10mm/min

Abb. 9: Auswahl an programmierten Parametern des Prüfprogramms

Diese Parameter bedeuten, dass der Stempel zunächst mit einer Vorkraft von 2N auf das Prüfobjekt computergesteuert aufgesetzt wurde, bevor sich der Stempel mit einer Geschwindigkeit von 10mm/min auf den Zahn zubewegte. Der Versuch wurde gestartet. Der Verlauf des Kraftanstiegs wurde mit Hilfe des Computers, der an die Zwick Materialprüfmaschine angeschlossen war, exakt durchgeführt und gleichzeitig auf einer Diskette gespeichert. Das Fragment wurde mittels unterlegten Zellstoffs aufgefangen.

Mit Hilfe der entsprechenden Software (Fa. Zwick GmbH & Co) konnten die jeweiligen Ergebnisse des Bruchversuchs nicht nur gespeichert, sondern mit dem Programm Origin 5.0[®] (Microcal Software, Inc) auch graphisch dargestellt werden (siehe Abbildung 11).

Um ein Austrocknen zu verhindern, wurden im Anschluss an den Bruchversuch sowohl der noch eingebettete Zahn als auch das Zahnfragment in physiologischer Kochsalzlösung gelagert.



Abb. 10: frakturierte palatinale Wurzel nach erstem Bruchversuch

3.3.2. Wertung der Bruchfragmente

Die Zähne wurden nach dem ersten Bruchversuch genau betrachtet. Zur Einteilung der Zähne wurden drei Brucharten und zwei Fragmentpassungen unterschieden.

Art des Bruches:

Index	Bruchverlauf
1	glatte Bruchfläche
2	Bruch mit Stufe/Kante
3	Bruch mit Dentinabsplitterung oder mehreren Dentinfragmenten

Fragmentpassung:

Index	Passgenauigkeit
1	problemlose Passung
2	unsichere Passung

Nur bei drei Zähnen wurde der Bruchverlaufindex 3 beobachtet. Diese Zähne wurden in einer separaten Versuchsgruppe (Gruppe 6) ausgewertet. In dieser Gruppe wurde zusätzlich zu dem Adhäsivsystem OptiBond FL[®] ein dünnfließendes Kompositmaterial (Tetric[®] Flow) verwendet, um Substanzverluste auszugleichen. Brüche mit Bruchverlaufindex 1 und 2 hatten keine Auswirkung auf die Gruppenverteilung. Sie wurden nach dem Zufallsprinzip auf die anderen Gruppen verteilt.

3.3.3. Vermessung der Bruchfläche

Im nächsten Schritt wurde das Zahnfragment auf einem Objektträger mit Knetmasse so ausgerichtet, dass durch ein Mikroskop (Typ Tessoar, Fa. Carl Zeiss) die horizontal größtmögliche Fläche des Fragments zu sehen war. Das um 1,6fach vergrößerte Bild wurde mittels einer digitalen Kamera (Typ PDMC-2, Fa. Polaroid) in das Computerprogramm Sigma Scan Image (Fa. Jandel Scientific) übertragen. Mit diesem Programm konnte nun die Größe der Bruchfläche vermessen werden. Das Computerprogramm wurde vor jeder Versuchsreihe mittels Millimeterpapier geeicht, um eine einheitliche Norm zu gewährleisten.

Nach diesem Arbeitsschritt wurden sowohl der Zahn als auch das Zahnfragment erneut in Kochsalzlösung zwischengelagert.

3.4. Einteilung in Versuchsgruppen

Die gebrochenen Zähne wurden zunächst in fünf verschiedene Versuchsgruppen anhand des Zufallsprinzips eingeteilt, wobei jede Gruppe aus 14 Zähnen bestand. Eine Ausnahme bei der Verteilung der Zähne wurde bei der Art von Brüchen gemacht, bei denen neben einem großen Fragment auch ein kleinerer Splitter oder mehrere Fragmente zustande kamen. Diese wurden einer sechsten Versuchsgruppe (OptiBond FL[®] + Tetric[®] Flow bei Substanzdefekt) zugeführt, damit die abgesplitterten, fehlenden Anteile des Zahnes mit dem dünnfließenden Kunststoff (Tetric[®] Flow) aufgefüllt werden

konnten. Sehr kleine Fragmente wurden nicht berücksichtigt, da eine genaue Platzierung und Wiederbefestigung nicht mit Sicherheit durchführbar war. Da dieser Fall nur drei Mal in der ganzen Versuchsreihe eintrat, hat die Gruppe 6 keinen Einfluss auf das Ergebnis dieser Arbeit, muss aber der Vollständigkeit halber erwähnt werden.

Zähne, bei denen eine Reposition unmöglich war, wurden aussortiert.

Im Einzelnen wurden nachfolgende Adhäsivsysteme verwendet:

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6
OptiBond FL®	Syntac®	AdheSE®	Adper® Prompt® L-Pop®	OptiBond FL® + Tetric® Flow	OptiBond FL® + Tetric® Flow bei Substanz- defekt
KerrHawe	Ivoclar Vivadent	Ivoclar Vivadent	3M ESPE	KerrHawe + Ivoclar Vivadent	KerrHawe + Ivoclar Vivadent

Tabelle 1: Einteilung der Versuchsgruppen

3.5. Fragmentbefestigung

3.5.1. Verwendete Dentinadhäsive

Auf Grund der verschiedenen Generationen der verwendeten Dentinadhäsivsysteme unterscheiden sich diese deutlich in ihrer Anwendung.

Die Zuordnung der Adhäsivsysteme in die einzelnen Generationen erfolgte in Anlehnung an die von FRANKENBERGER 2001 veröffentlichte Einteilung. In dieser werden die Adhäsivsysteme in sechs Generationen eingeteilt. FRANKENBERGER richtet sich bei der Gruppierung in die einzelnen Generationen nach dem Umfang der Verarbeitung. Da die beiden ersten Generationen der Dentinadhäsivsysteme nicht das Potential für die klinische Anwendung erreicht haben, beginnt FRANKENBERGER mit der 3. Generation, die eine sehr umfangreiche Verarbeitung erfordert und endet mit der sechsten Generation. Diese ist mit einem geringen Verarbeitungsaufwand verbunden ⁽³²⁾.

Das Dentinadhäsiv **Syntac**[®] (Ivoclar Vivadent AG) ist mit vier Arbeitsschritten das am aufwendigsten zu verarbeitende Material und gehört der 3. Generation an. Der Zahnschmelz muss zunächst mit 37% Phosphorsäure (Ultraetch, Ultradent Products inc.) für 30-60 Sekunden geätzt werden. Die zu behandelnde Fläche wird daraufhin mit einem Primer vorbehandelt. Anschließend muss das Adhäsiv und ein lichthärtendes Bondingmaterial (Heliobond[®], Ivoclar Vivadent AG) aufgebracht werden.

Bei der Anwendung von **OptiBond FL**[®] (Fa. KerrHawe), ein Dentinadhäsivsystem der 4. Generation, wird der Schmelz und das Dentin für 15 Sekunden mit 37% Phosphorsäure (Ultraetch, Ultradent Products inc.) geätzt. Nach der Oberflächenbehandlung mit einem Primer folgt ein gefülltes, lichthärtendes Bondingmaterial. Die Anwendung umfasst somit drei Arbeitsschritte.

AdheSE[®] (Ivoclar Vivadent AG) ist ein selbstkonditionierendes Dentinadhäsivsystem, bestehend aus selbstätzenden Primer sowohl für Schmelz als auch für Dentin und einem lichthärtenden Bondingmaterial. Dieses Adhäsivsystem gehört der 5. Generation an. Da auf eine separate Ätzung mit Phosphorsäure verzichtet wird, reduziert sich die Anzahl der Arbeitsschritte hier auf zwei.

Adper[®]Prompt[®]L-Pop[®] (3M ESPE AG) ist ein selbstätzendes Adhäsivsystem und vereint alle Behandlungsschritte in der Applikation einer Substanz. Nach der Aktivierung zweier Komponenten ist die Lösung gebrauchsfertig. Die Funktion des Ätzgels, des Primers und des Bondings werden von dieser Lösung übernommen, die mehrmals appliziert wird. Dieses Adhäsivsystem wird folglich der 6. Generation zugeordnet.

Die Verarbeitungstechniken der einzelnen Adhäsivsysteme sind in Tabelle 2 genau beschrieben.

Die Inhaltsstoffe und Eigenschaften der verwendeten Adhäsivsysteme, sowie des fließfähigen Kompositmaterials, sind in Tabelle 9 im Anhang zusammengefasst.

Gruppe 1 OptiBond FL® KerrHawe	Gruppe 2 Syntac® Ivoclar Vivadent	Gruppe 3 AdheSE® Ivoclar Vivadent	Gruppe 4 Adper®Prompt® L-Pop® 3M ESPE	Gruppe 5 OptiBond FL® + Tetric® Flow KerrHawe+ Ivoclar Vivadent Gruppe 6 bei Substanz- defekt
Schmelz- & Dentinätzung ➤ 15 sec auf (Schmelz und) Dentin auftragen ➤ 30 sec mit Wasser abspülen ➤ 5 sec mit leichtem Luftstrom trocknen	Schmelzätzung ➤ 30-60 sec auf Schmelz auftragen ➤ mit Wasser abspülen ➤ gründlich trocknen		➤ Zahn-substanz trocknen; ➤ Anmischen der Flüssigkeiten; ➤ 15 sec einmassieren ➤ leicht verblasen ➤ Auftragung einmal wiederholen	Schmelz- & Dentinätzung ➤ 15 sec auf (Schmelz und) Dentin auftragen ➤ 30 sec mit Wasser abspülen ➤ 5 sec mit leichtem Luftstrom trocknen
Primer ➤ 15 sec auf (Schmelz und) Dentin auftragen ➤ 5 sec mit leichtem Luftstrom trocknen	Primer ➤ auf (Schmelz und) Dentin auftragen ➤ 15 sec einwirken lassen ➤ abblasen und trocknen	Primer ➤ 15 sec einmassieren ➤ 15 sec einwirken lassen ➤ mit starkem Luftstrom verblasen		Primer ➤ 15 sec auf (Schmelz und) Dentin auftragen ➤ 5 sec mit leichtem Luftstrom trocknen
	Adhäsiv ➤ auf (Schmelz und) Dentin auftragen ➤ 10 sec einwirken lassen ➤ mit Luft trocknen			
Bonding ➤ Auftragen einer dünnen Schicht auf (Schmelz und) Dentin	Bonding ➤ Heliobond® auf (Schmelz und) Dentin auftragen ➤ Überschüsse mit Luft ausblasen	Bonding ➤ Applikation am Dentin ➤ beginnend mit sanftem Luftstrom verblasen (nicht wegblasen)		Bonding ➤ Auftragen einer dünnen Schicht auf (Schmelz und) Dentin ➤ Auftragen einer dünnen Schicht Tetric® Flow
Lichthärtung: je 20 sec von vier Seiten				

Tabelle 2: Verarbeitungsanleitung der verschiedenen Adhäsivsysteme

3.5.2. Anwendung der Dentinadhäsive

Nach der Zuordnung in die einzelnen Versuchsgruppen wurden die Bruchstücke laut Herstellerangaben (siehe Tabelle 2) der jeweiligen Adhäsivsysteme wiederbefestigt.

In den beiden Gruppen mit dem fließfähigen Komposit Tetric® Flow (Gruppen 5 und 6) wurde nach Benetzung der Fragmente mit OptiBond FL® ohne Vorpolymerisation direkt Tetric® Flow aufgetragen, die Fragmente zusammengesetzt und dann erst ausgehärtet.

Die Polymerisation erfolgte bei allen Systemen gleichartig. Dabei wurden die Zähne von vier Seiten jeweils 20 Sekunden mit der Polymerisationslampe Typ Elipar Trilight (Fa. Espe Dental AG; Intensität 800mw/cm²) bestrahlt. Um eine gleichbleibende Lichtleistung der Polymerisationslampe zu garantieren, wurde die Lichtintensität vor jeder Versuchreihe mit Hilfe eines Messgerätes (Model 100 Curing Radiometer, Fa. Demetron Research Corp.) kontrolliert.

Anschließend wurden die Bondingüberschüsse mit einem sichelförmigen Skalpell (Klinge Nr. 12, Fa. Aesculap; Skalpellklingengriff Fa. Aesculap) entfernt und die Zähne für 24 Stunden in physiologischer Kochsalzlösung bei 37°C in einem Thermoschrank (Typ KB 600, Fa. Heraeus) gelagert, bevor sie erneut gebrochen wurden.

3.6. Bruchversuch am restaurierten Zahn

Bei dem folgenden zweiten Bruchversuch wurde genauso verfahren wie bei dem Ersten. Der Technovitblock wurde mit Hilfe der zuvor angebrachten Markierungen ausgerichtet und in der Haltevorrichtung fixiert. Daraufhin wurde der Stempel auf die bei dem ersten Versuch markierte Stelle platziert. Die Einstellung der Versuchsparameter blieb mit der Vorkraft von 2N und der Geschwindigkeit von 10mm/min gleich. Auch die Datenerfassung lief wie im ersten Bruchversuch mit Hilfe der Zwick-Software und des Programms Origin 5.0®.

Ein Beispiel der graphischen Auswertung eines Bruchversuches (hier Zahn Nr. 15) zeigt Abbildung 11.

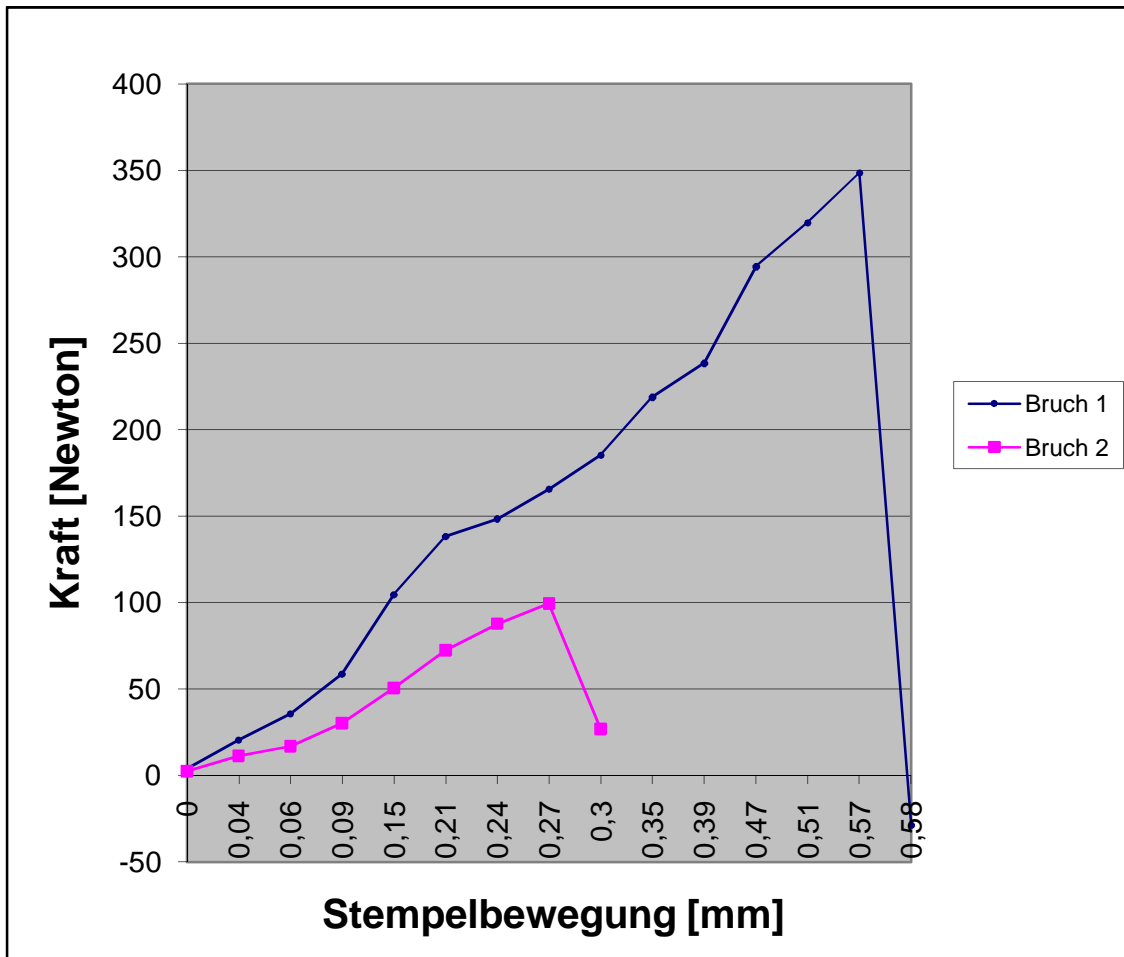


Abb. 11: graphische Darstellung des Verlaufs des 1. und 2. Bruches (hier Zahn Nr.15)

3.7. Errechnung des Bruchkraftquotienten

Um die Zähne bezüglich ihrer Frakturresistenzen bewerten zu können, wurden aus den Bruchkräften des ersten Bruchversuchs (F1) und den Bruchkräften des zweiten Bruchversuchs (F2) ein Bruchkraftquotient errechnet.

$$\text{Bruchfestigkeit [\%]} = \frac{\text{F2 [Newton]}}{\text{F1 [Newton]}} \cdot 100$$

Hohe Prozentwerte lassen demzufolge auf hohe Frakturresistenzen schließen.

3.8. Statistische Auswertung

Unter zu Hilfenahme des Statistikprogramms SPSS (Version 11, SPSS inc.) wurden die Daten ausgewertet.

Als erstes wurden in einer explorativen Datenanalyse die Medianwerte und die statistischen Verteilungsgrenzen der einzelnen Gruppen ermittelt.

Um die Gruppen untereinander vergleichen zu können, wurden mit dem KRUSKAL-WALLIS-Test die mittleren Rangdaten errechnet. Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt.

Diese Rangdaten wurden danach mit dem MANN-WHITNEY-U-Test auf signifikante Unterschiede untersucht. Um das Signifikanzniveau festzulegen, war eine Alpha-Adjustierung nach BONFERONI notwendig. Das Signifikanzniveau wurde somit auf $p = 0,005$ gesenkt.

Die Versuchsgruppe 6 (OptiBond FL[®]+Tetric[®] Flow bei Substanzverlust) wurde wegen der geringen Gruppengröße ($n = 3$) nur mit der explorativen Datenanalyse ausgewertet.

Um den Einfluss der Bruchfläche auf die Bruchkraft zu untersuchen, wurde der SPEARMAN-RHO-Test angewendet.

4. Ergebnisse

4.1. Bruchverhältnisse der einzelnen Zähne

Für jeden Zahn wurde ein prozentuales Bruchverhältnis errechnet.

In der hier folgenden Tabelle sind die prozentualen Verhältnisse von Bruchkraft 2 zu Bruchkraft 1 aufgeführt. Die Gruppen 1 bis 5 bestanden aus 14 Zähnen. Die Gruppe 6 enthielt lediglich drei Zähne.

Folgende Einzelwerte wurden ermittelt:

Zahn	Gruppe 1 OptiBond FL®	Gruppe 2 Syntac®	Gruppe 3 AdheSE®	Gruppe 4 Adper® Prompt® L-Pop®	Gruppe 5 OptiBond FL® + Tetric® Flow	Gruppe 6* OptiBond FL® + Tetric®Flow
1	49,54%	32,80%	26,03%	17,83%	42,36%	31,02%
2	34,87%	24,69%	36,52%	10,30%	53,27%	30,44%
3	31,18%	9,27%	28,51%	18,31%	38,48%	27,03%
4	73,37%	19,77%	40,40%	17,29%	31,39%	
5	34,70%	8,75%	31,89%	8,04%	48,37%	
6	44,59%	13,98%	45,00%	24,27%	41,98%	
7	25,05%	15,90%	34,91%	32,02%	50,72%	
8	14,98%	13,66%	35,85%	18,55%	19,35%	
9	39,23%	11,68%	22,37%	41,91%	18,49%	
10	31,31%	17,16%	18,14%	13,74%	12,13%	
11	78,81%	12,80%	18,17%	27,07%	22,35%	
12	21,32%	13,73%	16,20%	21,65%	51,84%	
13	19,97%	32,13%	31,79%	29,31%	23,88%	
14	78,35%	16,73%	42,13%	31,23%	17,53%	

Tabelle 3: Bruchkraftquotienten der einzelnen Versuchszähne

*Gruppe von Zähnen mit Substanzverlust

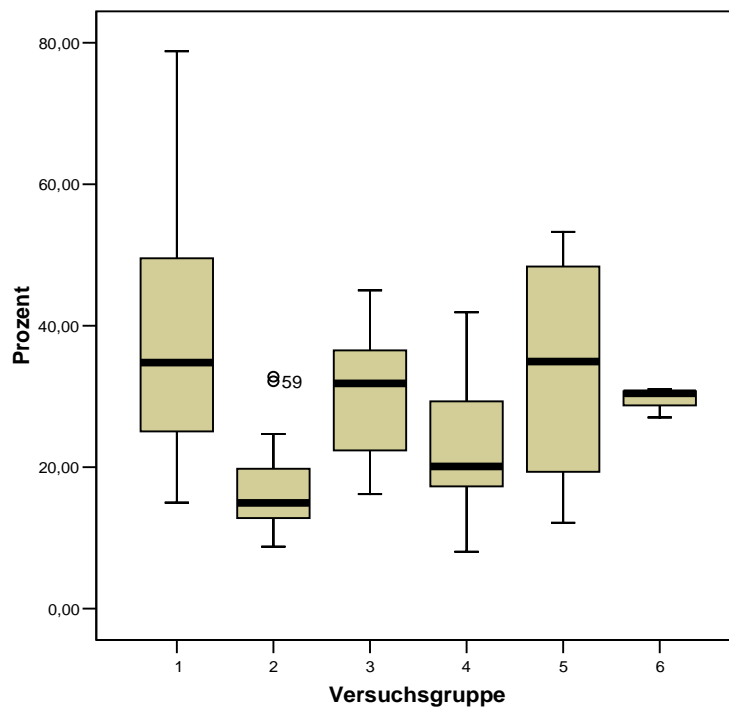
4.2. Medianwerte der prozentualen Bruchverhältnisse der einzelnen Gruppen

Aus der Tabelle 3 wurden die Medianwerte ermittelt und in Tabelle 4 festgehalten.

Versuchsgruppe	Medianwert [%]
Gruppe 1 OptiBond FL [®]	34,79
Gruppe 2 Syntac [®]	14,94
Gruppe 3 AdheSE [®]	31,84
Gruppe 4 Adper [®] Prompt [®] L-Pop [®]	20,10
Gruppe 5 OptiBond FL [®] + Tetric [®] Flow	34,94
Gruppe 6 OptiBond FL [®] +Tetric [®] Flow bei Substanzdefekt	30,44

Tabelle 4: Versuchsgruppen mit jeweiligem Medianwert

Im folgenden Boxplotdiagramm sind die Ergebnisse graphisch dargestellt.



Gruppe 1: OptiBond FL[®] Gruppe 4: Prompt[®] L-Pop[®]
Gruppe 2: Syntac[®] Gruppe 5: OptiBond FL[®]+ Tetric[®]Flow
Gruppe 3: AdheSE[®] Gruppe 6: OptiBond FL[®]+ Tetric[®]Flow

Abb. 12: Boxplotdiagramm aller 6 Versuchsgruppen

Aus dem Boxplotdiagramm ist der Medianwert in Form des dicken dunklen Balkens abzulesen. Weiterhin ist die gesamte Streuung der Werte der einzelnen Gruppen an den dünnen senkrechten Balken oberhalb und unterhalb der einzelnen Boxen zu erkennen. Die einzelnen farblich hinterlegten Boxen zeigen den Interquartilbereich, der den Bereich angibt, indem die mittleren 50% der Messwerte liegen. Der Interquartilbereich kann als Kennzahl für die Verteilung dienen, d.h. aus der Größe des Bereichs ist ersichtlich, wie weit die Verteilung auseinandergezogen ist.

Aus der Tabelle der Medianwerte (Tabelle 4) und dem Boxplotdiagramm (Abbildung 12) lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Die Versuchsgruppen 1, 3, 5 und 6 besitzen annähernd einen gleich hohen Medianwert, wobei der Wert von Gruppe 5 mit 34,94% der höchste Wert ist, knapp vor dem Wert der Gruppe 1 mit 34,79%. Mit

einem geringen Abstand folgen die Ergebnisse der Versuchsgruppen 3 und 6 mit 31,84% bzw. 30,44%. Mit einem größeren Abstand folgen schließlich die Versuchsgruppe 4 mit 20,10% und die Versuchsgruppe 2 mit 14,94%.

- Die Streuung der Werte ist in Gruppe 1 am größten, während die Gruppe 2 die geringste Streuung aufweist. Die Gruppe 6 bleibt hier unberücksichtigt, da diese nur aus drei Werten besteht.
- Der Interquartilbereich ist in Versuchsgruppe 5 am größten, in Versuchsgruppe 2 am kleinsten. Auch hier wird die Versuchsgruppe 6 aus dem beschriebenen Grund nicht berücksichtigt.

Aus der explorativen Datenanalyse lässt sich noch nicht ableiten, ob sich die Gruppen auch signifikant unterscheiden. Dies ist erst anhand des H-Tests nach KRUSKAL-WALLIS zu ermitteln.

4.3. Untersuchung der Bruchverhältnisse zwischen den einzelnen Gruppen

Mit Hilfe des KRUSKAL-WALLIS-Tests wurden die mittleren Rangdaten der einzelnen Gruppen bestimmt. Die mittleren Ränge erlauben Rückschlüsse über die Bruchfestigkeiten der Gruppen. So entsprechen niedrige Rangdaten niedrigen Bruchfestigkeiten und hohe Rangdaten hohen Bruchfestigkeiten.

In Tabelle 5 sind die mittleren Ränge der Versuchsgruppen aufgelistet.

Versuchsgruppe	n	Mittlerer Rang
Gruppe 1 OptiBond FL®	14	47,86
Gruppe 2 Syntac®	14	17,43
Gruppe 3 AdheSE®	14	41,57
Gruppe 4 Adper® Prompt® L-Pop®	14	27,07
Gruppe 5 OptiBond FL® + Tetric® Flow	14	43,57
Gesamt	70	

Tabelle 5: Mittlere Ränge der einzelnen Versuchsgruppen

Anhand der Tabelle 5 ist zu erkennen, dass die Versuchsgruppe 1 die höchsten Rangdaten vor den Gruppen 5 und 3 erzielt. Mit den Versuchsreihen 4 und 2 folgen die Gruppen mit niedrigeren Rangdaten und somit auch niedrigen Bruchfestigkeiten.

Mit einem Signifikanzniveau von $p= 0,000196$ und dem vorgegebenen $p<0,05$ stellt sich das Testergebnis als signifikant heraus.

Der Test verdeutlicht, dass die Anwendung verschiedener Adhäsivsysteme signifikant unterschiedliche Ergebnisse in der Bruchfestigkeit bedeutet.

Um herauszufinden, zwischen welchen Gruppen signifikante Unterschiede bestehen, wurden die Rangdaten mit dem MANN-WHITNEY-U-Test überprüft.

Mit Hilfe der Alpha-Adjustierung nach BONFERONI wurde ein Signifikanzniveau von $p = 0,005$ errechnet.

Die Versuchsgruppe 6 wurde wegen der geringen Gruppenstärke nicht in diese Auswertungen einbezogen.

Tabelle 6 verdeutlicht, welche Versuchsgruppen zueinander einen signifikanten Unterschied in der Bruchfestigkeit aufzeigen.

Versuchsgruppen	Gruppe 1 OptiBond FL [®]	Gruppe 2 Syntac [®]	Gruppe 3 AdheSE [®]	Gruppe 4 Adper [®] Prompt [®] L-Pop [®]	Gruppe 5 OptiBond FL [®] + Tetric [®] Flow
Gruppe 1 OptiBond FL [®]					
Gruppe 2 Syntac [®]	0,000				
Gruppe 3 AdheSE [®]	0,376	0,000			
Gruppe 4 Adper [®] Prompt [®] L-Pop [®]	0,005	0,125	0,035		
Gruppe 5 OptiBond FL [®] + Tetric [®] Flow	0,541	0,001	0,541	0,035	

Tabelle 6: Signifikanzvergleich der Gruppen untereinander

+: Test ist signifikant ($p \leq 0,005$)

- : Test ist nicht signifikant ($p > 0,005$)

Die Bruchkraftquotienten der Gruppe 1 (OptiBond FL[®]) liefern signifikant höhere Bruchkraftquotienten zu Gruppe 2 (Syntac[®]) und Gruppe 4 (Adper[®]Prompt[®] L-Pop[®]). Gruppe 2 (Syntac[®]) zeigt signifikant geringere Werte verglichen mit Gruppen 1 (OptiBond FL[®]), Gruppe 3 (AdheSE[®]) und Gruppe 5 (OptiBond FL[®] +Tetric[®] Flow). Die Bruchkraftquotienten der Gruppe 4 (Adper[®]Prompt[®]L-Pop[®]) liegen ausschließlich signifikant niedriger als die der Gruppe 1 (OptiBond FL[®]). Ein signifikanter Unterschied von Gruppe 1 (OptiBond FL[®]) und Gruppe 5 (OptiBond FL[®] +Tetric[®] Flow) ist nicht zu erkennen.

4.4. SPEARMAN-RHO-Test zum Vergleich von Bruchfläche und Bruchkraft

Eine mögliche Korrelation zwischen Bruchfläche und Bruchkraft wurde mit dem SPEARMAN-RHO-Test untersucht.

Das Signifikanzniveau wurde mit $p = 0,05$ festgelegt.

Ein Zusammenhang zwischen Bruchkraft und Bruchfläche konnte nicht nachgewiesen werden.

Die Ergebnisse werden in Tabelle 7 dargestellt.

Versuchsgruppen	
Gruppe 1 OptiBond FL [®]	$p = 0,464$
Gruppe 2 Syntac [®]	$p = 0,794$
Gruppe 3 AdheSE [®]	$p = 0,418$
Gruppe 4 Adper [®] Prompt [®] L-Pop [®]	$p = 0,703$
Gruppe 5 OptiBond FL [®] + Tetric [®] Flow	$p = 0,714$

- : Test ist nicht signifikant ($p > 0,05$)

Tabelle 7: Korrelationen zwischen Bruchfläche und Bruchfestigkeit innerhalb jeder Gruppe

5. Diskussion

5.1. Diskussion der Zahnauswahl

Die Versuche wurden mit menschlichen Oberkiefermolaren durchgeführt. Die Durchführung der Versuche an Schneidezähnen des Ober- oder Unterkiefers scheiterte in Vorversuchen an der durch die Anatomie hervorgerufene Bruchcharakteristik dieser Zähne. Bei diesen Zähnen erstreckte sich die Fraktur so, dass sie durch den in Kunststoff eingebetteten Teil des Zahnes verlief. Dies führte dazu, dass eine spätere Wiederbefestigung unmöglich wurde. Aus diesem Grund wurden die Zähne dieser Arbeit mit der Krone und nicht wie in den meisten anderen Untersuchungen mit der Wurzel eingebettet. Bei den mit der Krone eingebetteten mehrwurzeligen Molaren konnte diese Art von Brüchen durch die gegenüberliegenden Wurzeln verhindert werden, so dass ein nur im Dentin verlaufender Bruch zu erzielen war und eine adhäsive Wiederbefestigung möglich wurde.

In früheren Untersuchungen wurden neben menschlichen Zähnen, die als Versuchsobjekte herangezogen wurden ⁽⁵⁰⁾, häufig auch tierische Zähne, meist von Schafen oder Rindern ^(22, 26), verwendet. Da sich aber menschliche von tierischen Zähnen in ihrer mikroskopischen Struktur unterscheiden ^(57, 61), wird eine Übertragung von Versuchen mit tierischen Zähnen auf menschliche Zähne für nicht sinnvoll erachtet ^(57, 61). Außerdem liegen die mit tierischen Zähnen gewonnenen Haftwerte deutlich unter den mit menschlichen Zähnen gewonnenen Werten ⁽⁴²⁾.

5.2. Diskussion der Zahnlagerung

Um ein Austrocknen zu verhindern und eine Infektionsgefahr auszuschließen, wurden die Zähne unmittelbar nach der Extraktion in 1%iger Chloramin-T-Lösung gelagert. Die Versuchsergebnisse werden dadurch nicht beeinflusst ⁽³⁰⁾. Unterschiedliche Lagerungszeiten zwischen Extraktion und Versuchsbeginn haben keine Auswirkung auf die Ergebnisse ^(47, 62).

Da eine Beeinflussung durch ein Thermocyclings auf die Verbundfestigkeit zwischen Komposit und Zahn von einigen Autoren bestritten wird, wurde darauf in dem Versuchsaufbau verzichtet ^(20, 30, 49, 56). Dieses wird zusätzlich von LELOUP (2001) in einer Meta-Analyse von 75 Veröffentlichungen zu diesem Thema bestätigt ⁽⁴²⁾. Stattdessen wurden die Zähne zwischen Restauration und dem zweiten Bruchversuch in physiologischer Kochsalzlösung gelagert. Durch ein Abnehmen der Klebespannung und eine fortsetzende Polymerisation soll die Adhäsionskraft weiter gesteigert werden ⁽⁶³⁾.

5.3. Diskussion des Bruchversuchs

Bei der Auswahl der Werkzeuge für die Bruchdurchführung standen mehrere Möglichkeiten zur Auswahl. Die Entscheidung fiel zu Gunsten der Materialprüfmaschine der Firma Zwick aus.

Die Überlegung, ein Teil der Wurzel mit einer Trennscheibe abzutrennen, wie es in der Literatur teilweise beschrieben wird ^(10, 61), wurde verworfen. Auf Grund des nicht zu verhindernden Zahnhartsubstanzverlustes wäre eine optimale Passung und damit eine optimale Wiederbefestigung der Wurzel nicht möglich gewesen. Weiterhin wäre der Vergleich zwischen der erforderlichen Bruchkraft des gesunden Zahnes und des wiederbefestigten Zahnes nicht durchführbar. Außerdem entsteht durch die rotierende Diamantscheibe ein sogenannter smear layer, der bei einer Wurzelfraktur nicht entsteht. Diese Schmierschicht liegt dem Dentin auf und verändert die Haftwerte ^(59, 66).

Auch die Möglichkeit, die Zähne mit einer Zange zu zerteilen, wie es zum Beispiel MUNKSGAARD et al. (1991) durchgeführt hat, wurde verworfen ⁽⁴⁹⁾.

Bei dieser Vorgehensweise hätten sich eine genaue Bruchkraftmessung und eine darauf folgende Wiederbefestigung als unmöglich erwiesen.

Die in dieser Arbeit untersuchten Zähne wurden mit einer Zwick Bruchmaschine (Zwick GmbH & Co) gebrochen, die an einen PC angeschlossen, genaue metrische und graphische Werte wiedergeben konnte. Zugleich wurden diese Werte digital archiviert, wodurch sich die nachfolgenden Arbeiten mit den gewonnenen Daten übersichtlich und genau gestalten ließen.

Außerdem hat diese Methode den Vorteil, dass die gemessenen Haftwerte direkt mit der ursprünglichen Frakturresistenz des identischen Zahns verglichen und in ein prozentuales Verhältnis gesetzt werden konnten.

5.4. Diskussion der Ergebnisse

Zunächst ist festzustellen, dass zwischen den verschiedenen Gruppen nur selten ein signifikanter Unterschied besteht. Hier ist insbesondere die Gruppe 2 (Syntac[®]) hervorzuheben, die ein signifikant schlechteres Ergebnis erzielt als die Gruppen 1 (OptiBond FL[®]), 3 (AdheSE[®]) und 5 (OptiBond FL[®] + Tetric[®] Flow). Einzig im Vergleich zu Gruppe 4 (Adper[®] Prompt[®] L-Pop[®]) liegt kein signifikanter Unterschied zu Gruppe 2 (Syntac[®]) vor.

Ein Grund hierfür könnte sein, dass Syntac[®] im Gegensatz zu OptiBond FL[®] und AdheSE[®] ein nichtgefülltes Bonding (Heliobond[®]) enthält. Laut MONTES et al. 2001 wirkt ein gefülltes Adhäsiv als „Streß-Absorber“⁽⁴⁸⁾. Laut FARIK et al. (2002) muss ein ungefülltes Dentinadhäsivsystem wie zum Beispiel Syntac[®] oder Adper[®]Prompt[®]L-Pop[®] in Verbindung mit einem gefüllten fließfähigen Komposit verwendet werden⁽²⁶⁾.

Andererseits scheint es nicht entscheidend zu sein, ob ein Adhäsivsystem selbstätzend ist oder nicht. Die Ursache dafür könnte sein, dass durch das Fehlen vom Schmelz im Wurzelbereich kein ausgeprägtes Ätzmuster entsteht.

Weitere Ergebnisse sind durch andere In-vivo Studien zu erzielen.

In Bezug auf eine Wiederbefestigung im Dentin zeigt auch Gruppe 4 (Adper[®]Prompt[®]L-Pop[®]) signifikante Defizite zu Gruppe 1 (OptiBond FL[®]). Ein Grund hierfür könnte sein, dass die Bondingmenge in einem „Ein-Flaschen-

System“ zu gering ist, um zwei Bruchfragmente sicher zu fixieren. So zeigt FARIK et al. (2002), dass die Frakturresistenz erhöht werden kann, wenn ein „Ein-Flaschen-System“ mit einem ungefüllten Bondingmaterial (z.B. Heliobond®) kombiniert wird ⁽²⁶⁾.

Die Fragestellung, ob ein fließfähiges Kompositmaterial die Frakturresistenz wiederbefestigter Zahnfragmente erhöht, ist mit dieser Untersuchung insofern beantwortet, als dass kein signifikanter Unterschied zwischen Gruppe 1 (OptiBond FL®) und Gruppe 5 (OptiBond FL® + Tetric® Flow) erkennbar ist (Medianwerte beider Gruppen ca. 35%). Demzufolge scheint ein zusätzliches fließfähiges Kompositmaterial bei der Verwendung von gefüllten Dentinadhäsiven keinen signifikanten Einfluss auf die Frakturresistenz zu haben. Da OptiBond FL® ein gefülltes Bondingmaterial besitzt, bringt zusätzlich gefülltes Material hier keine Verbesserung. Überschüssiges Material wird aus dem Bruchspalt gedrückt und muss aufwendig entfernt werden. Zusätzlich erschwert das visköse Tetric® Flow die genaue Reposition der Fragmente.

Die Versuchsgruppe 6 (OptiBond FL® + Tetric® Flow/ Substanzverlust) wird auch hier auf Grund der geringen Anzahl von Zähnen nicht betrachtet.

Der Medianwert liegt mit 30,44% im Bereich der Gruppe 1 (OptiBond FL®) und Gruppe 5 (OptiBond FL® + Tetric® Flow) mit jeweils ca. 35%. Es kann daher vermutet werden, dass sich auch Zähne mit Substanzverlusten gut restaurieren lassen.

Die Frage nach dem Verhältnis der Belastbarkeit des unversehrten zu dem adhäsiv wiederbefestigten Zahn, lässt sich anhand der Tabelle 4 (Medianwerte) beantworten. Die Tabelle 4 zeigt je nach Adhäsivsystem Medianwerte zwischen knapp 15% und 35%. Daraus ist abzuleiten, dass ein wiederbefestigter Zahn im Mittel bei weitem nicht die Bruchfestigkeit eines unversehrten Zahnes erreicht. Um festzustellen, ob diese Frakturresistenzen in der Praxis für eine dauerhafte Versorgung ausreichen, sind langfristige In-vivo Untersuchungen notwendig.

In diesem Zusammenhang ist unmittelbar die Frage nach einer Erhöhung der Frakturresistenz durch einen adhäsiv verankerten Glasfaserstift zu stellen.

Es ist zu vermuten, dass ein Wurzelstift die Frakturresistenz erhöht. BEER, BAUMANN und KIELBASSA (2004) führen aus, dass im Wurzelkanal

eingebraachte Stifte eine zusätzliche Retention für Aufbau und Kronenersatz bieten ⁽¹⁴⁾.

Aus dem Ergebnis des SPEARMAN-RHO-Test ist ersichtlich, dass sich anhand einer größeren Bruchfläche und damit auch einer größeren Klebefläche nicht gleichzeitig eine höhere oder niedrigere Frakturresistenz ableiten lässt. Es ist anzunehmen, dass das Anlegen von bestimmten Präparationsformen zur Vergrößerung der Klebefläche nicht sinnvoll ist. Diese Präparationsformen werden in unterschiedlichen Formen in einigen Studien von verschiedenen Autoren beschrieben ^(12, 43, 72).

In diesem Zusammenhang ist zu überlegen, ob es günstig wäre, Präparationsformen so anzulegen, dass damit ein untersichgehender Bereich geschaffen wird, der die Frakturresistenz doch erhöhen könnte. Dies sollte jedoch in einer speziell abgestimmten, weiterführenden Arbeit untersucht werden.

6. Zusammenfassung

Traumatische Verletzungen der Frontzähne treten bei Kindern und Jugendlichen zunehmend häufiger auf ⁽³¹⁾.

Im jugendlichen Gebiss ist die prothetische Versorgung eines zervikal frakturierten Zahnes aufgrund des nicht abgeschlossenen Kiefer- und Wurzelwachstums nicht möglich. Kompositaufbau oder Fragmentwiederbefestigung gegebenenfalls unter zu Hilfenahme parodontalchirurgischer oder kieferorthopädischer Eingriffe sind Möglichkeiten den Zahn mit einer guten Ästhetik zu erhalten ^(5, 13,40, 68).

Ziel dieser Arbeit war es herauszufinden, ob verschiedene Adhäsivsysteme signifikante Unterschiede in der Bruchfestigkeit der wiederbefestigten Zähne bedeuten.

Auch wurde untersucht, ob ein zusätzliches fließfähiges Kompositmaterial (Tetric[®] Flow) die Bruchfestigkeit beeinflusst.

Ein Teil dieser Arbeit befasst sich zudem mit der Frage, ob die Größe der Bruchfläche in Beziehung zu der Frakturresistenz der geklebten Zähne steht.

Für die Arbeit wurden jeweils 14 obere menschliche Molaren mit nicht fusionierter palatinaler Wurzel auf fünf Gruppen verteilt. Jeder Gruppe wurde ein Adhäsivsystem zugeteilt. Im Einzelnen wurden OptiBond FL[®], Syntac[®], AdheSE[®], Adper[®]Prompt[®]L-Pop[®], OptiBond FL[®] + Tetric[®] Flow verwendet. Zähne, die nach dem ersten Bruchversuch Substanzverluste aufwiesen, wurden separat in einer sechsten Versuchsgruppe untersucht und mit OptiBond FL[®] und Tetric[®] Flow wiederbefestigt.

Die Zähne wurden mit einer Materialprüfmaschine der Firma Zwick gebrochen, die Bruchfläche vermessen, nach Herstellerangaben der Adhäsivsysteme wiederbefestigt und dem zweiten Bruch unterzogen. Aus den Frakturresistenzwerten des ersten und zweiten Versuches wurde ein Bruchkraftquotient errechnet.

Als Ergebnis ist festzuhalten, dass die Gruppen OptiBond FL[®] und OptiBond FL[®] mit Tetric[®] Flow mit einem Medianwert von etwa 35% die höchste

Bruchfestigkeit aufweisen. Syntac[®] zeigt mit etwa 15% den niedrigsten Wert auf.

Die Gruppen OptiBond FL[®], OptiBond FL[®] mit Tetric[®] Flow und AdheSE[®] zeigen im Vergleich mit Syntac[®] signifikant höhere Werte, OptiBond FL[®] zusätzlich noch zu Adper[®]Prompt[®]L-Pop[®].

Es wurde festgestellt, dass die richtige Wahl des Adhäsivsystems die Höhe der Frakturresistenz signifikant beeinflusst.

Die Verwendung eines fließfähigen Kompositmaterials bedeutet bei Verwendung von gefüllten Bondingsystemen im Ergebnis keine nennenswerten Vorteile.

Es wurde weiterhin der Nachweis erbracht, dass die Größe der Bruchfläche keinen signifikanten Bezug zur Bruchfestigkeit besitzt.

In Studien sollte untersucht werden ob klinisch ein Langzeitergebnis zu erwarten ist, das den konservierenden und chirurgischen Aufwand rechtfertigt.

Auch wäre in einer weiteren Arbeit zu klären, ob eine höhere Stabilität durch einen adhäsiv befestigten Glasfaser Wurzelstift zu erreichen ist.

7. Literaturverzeichnis

- 1 **Anding C (2007):**
Diagnostik und Therapie von Kronen- und Kronen-Wurzel-Frakturen
Zahnärztliche Mitteilungen 97: 36-44

- 2 **Andreasen FM, Noren JG, Andreasen JO, Engelhardt S, Lindh-Strömberg U. (1995):**
Long-term survival of crown fragment bonding in the treatment of crown fractures: A multicenter clinical study
Quint Int 26: 669-681

- 3 **Andreasen FM, Rindum JL, Munksgaard EC, Andreasen JO (1986):**
Bonding of enamel-dentin crown fractures with Gluma and resin
Endod Dent Traumatol 2: 277-280

- 4 **Andreasen JO, Andreasen FM (1993):**
Textbook and colour atlas of traumatic injuries of the teeth
Munksgaard, Copenhagen: 3rd edition

- 5 **Andreasen JO, Andreasen FM (1992):**
Farbatlas der Traumatologie der Zähne
Deutscher Ärzte-Verlag GmbH, Köln: 47-76

- 6 **Andreasen JO, Andreasen FM, Bakland L, Flores M (1999):**
Traumatic dental injuries – A Manual
Munksgaard, Copenhagen

- 7 Andreasen JO, Andreasen FM, Mejare I, Cvek M (2004):**
Healing of 400 intra-alveolar root fractures
1. Effect of pre-injury and injury factors such as sex, age, stage of root development, fracture type, location of fracture and severity of dislocation
Dent Traumatol 20: 192-202
- 8 Andreasen JO, Hjorting-Hansen E (1967):**
Intraalveolar root fractures: radiographic and histologic study of 50 cases
Int J Oral Surg 25: 414
- 9 Andreasen JO, Ravn JJ (1972):**
Epidemiology of traumatic dental injuries to primary and permanent teeth in a danish population sample
Int J Oral Surg 1: 235-239
- 10 Badami AA, Dunne SM, Scheer B (1995):**
An in vitro investigation into the shear bond strength of two dentine-bonding agents used in the reattachment of incisal edge fragments
Endod Dent Traumatol 11: 129-135
- 11 Bakland LK, Andreasen JO (2004):**
Dental traumatology: essential diagnosis and treatment planning
Endod Topics 7: 14-34
- 12 Baratieri LN, Monteiro S Jr, Andrada MAC (1990):**
Tooth fracture reattachment: case reports
Quint Int 21: 261-270
- 13 Baratieri LN, Ritter AV, Junior SM, Filho JC de M (1998)**
Tooth Fragment Reattachment: An alternative for restoration of fractured anterior teeth
Pract Periodont Aesthet Dent 10(1): 115-125

- 14 Beer R, Baumann MA, Kielbassa A (2004):**
Taschenatlas der Endodontie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York: 216
- 15 Birch R, Rock WP (1986):**
The incidence of complications following root fracture in permanent anterior teeth
Br Dent J 160: 119-22
- 16 Buonocore MG (1955):**
A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces
J Dent Res 34: 849-854
- 17 Burke FJ (1991):**
Reattachment of a fractured central incisor tooth fragment
Br Dent J 170: 223
- 18 Caliskan MK, Pehlivan Y (1996) :**
Prognosis of root-fractured permanent incisors
Endod Dent Traumatol 18: 129-136
- 19 Cavalleri G, Zerman N (1995):**
Traumatic crown fractures in permanent incisors with immature roots: a follow-up study
Endod Dent Traumatol 11: 294
- 20 Chan DCN, Reinhardt JW, Boyer DB (1985):**
Composit Resin Compatibility and Bond Longevity of a Dentin Bonding Agent.
J Dent Res 64: 1402-1404

- 21 Cvek M, Andreasen JO, Borum MK (2001):**
Healing of 208 intra-alveolar root fractures in patients aged 7-17 years
Dent Traumatol 17: 53-62
- 22 Demarco FF, Fay R-M, Pinzon LM, Powers JM (2004):**
Fracture resistance of re-attached coronal fragments – influence of different adhesive materials and bevel preparation.
Dent Traumatol 20: 157-163
- 23 Dietschi D et al (2000):**
Treatment of traumatic injuries in the front teeth: restorative aspects in crowns fractures
Pract Periodont Aesthet Dent 12(8): 751-8
- 24 Ebeleseder KA (2005):**
Trauma der Zähne
Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie
Georg Thieme Verlag, Stuttgart – New York 4: 82
- 25 Farik B, Munksgaard EC, Andreasen JO, Kreiborg S (1999):**
Drying and rewetting anterior crown fragments prior to bonding
Endod Dent Traumatol 15 (3): 113-116
- 26 Farik B, Munksgaard EC, Andreasen JO, Kreiborg S (2002):**
Fractured teeth bonded with dentin adhesives with and without unfilled resin
Dent Traumatol 18: 66-69
- 27 Feely L, Mackie IC, Macfarlane T (2003):**
An investigation of root-fractured permanent incisor teeth in children
Dent Traumatol 19: 52-54

- 28 Filippi A (2005):**
Der Umgang mit der Zahnrettungsbox
Zahnärztliche Mitteilungen 13: 38-40
- 29 Filippi A (2007):**
Zahnunfälle beim Sport – Prävention und Verhalten am Unfallort
Zahnärztliche Mitteilungen 9: 64-68
- 30 Finger WJ (1988):**
Dentin bonding agents. Relevance of in-vitro investigations
Am J Dent 1: 184-188
- 31 Forsberg C-M, Tedestam G (1993):**
Etiological and predisposing factors to traumatic injuries to permanent teeth
Swed Dent J 17: 183-190
- 32 Frankenberger R (2001):**
Materialkundliche Grundlagen der Adhäsivtechnik
3M Espe AG Seefeld: 12-20
- 33 Frankenberger R, Krämer N, Petschelt A (1999)**
Fatigue behaviour of different dentin adhesives
Clin Oral Investig 3: 11-17
- 34 Gargiulo AW, Wentz FM, Orban B (1961):**
Dimensions and relations of the dentogingival junction in humans
J Periodontal 32: 261-267

- 35 Glendor U, Halling A, Andersson L, Eilert-Petersson E (1996):**
Incidence of traumatic tooth injuries in children and adolescents in the county of Västmanland, Sweden
Swed Dent J 20: 15-28
- 36 Hedegård B, Stålhane I (1973):**
A study of traumatized permanent teeth in children aged 7-15 years,
Part I
Swed Dent J 66: 431-50
- 37 Hill CM, Crosher RF, Mason DA (1985):**
Dental and facial injuries following sports accidents: a study of 130 patients
Br J Oral Maxillofac Surg 23: 268-274
- 38 Ingber JC, Rose LF, Coslet JG (1977):**
The "biological width"- a concept in periodontics and restorative dentistry
Alpha Omegan 12: 62-65
- 39 Kaste LM, Gift HC, Bhat M, Swango PA (1996):**
Prevalence of incisor trauma in persons 6-50 years of age: United States, 1988-1991
J Dent Res 75: 696-705
- 40 Koyuturk AE, Malkoc S (2005):**
Orthodontic extrusion of subgingivally fractured incisor before restauration. A case report: 3-years follow-up
Dent Traumatol 21: 174-178

- 41 Krastl G (2004):**
Erhalt eines traumatisierten Frontzahnes mit Wurzelquerfraktur durch kieferorthopädische Extrusion
Endodontie 13/4: 323-334
- 42 Leloup G, Hoore WD, Bouter D, Degrange M, Vreven J (2001):**
Meta-analytical review of factors involved in dentin adherence
J Dent Res 80: 1605-1614
- 43 Liew VP (1988):**
Re-Attachment of original tooth fragment to a fractured crown. Case report
Aust Dent J 33: 47-50
- 44 Lui JL (2001):**
A case report of reattachment of fractured root fragment and resin-composite reinforcement in a compromised endodontically treated root
Dent Traumatol 17: 227-230
- 45 Majorana A, Pasini S, Bardellini E, Keller E (2002):**
Clinical and epidemiological study of traumatic root fractures
Dent Traumatol 18: 77-80
- 46 Masaka N, Kawai K (2002):**
Vertical root fracture treated by bonding fragments and rotational replantation
Dent Traumatol 18: 42-45
- 47 Mitchem JC, Gronas DG (1986):**
Effect of time after extraction and depth of dentin on resin dentin adhesives
J Am Dent Assoc 113: 285-287

- 48 Montes MAJR, de Goes MF, da Cunha MRB, Soares AB (2001):**
A morphological and tensile bond strength evaluation of an unfilled adhesive with low-viscosity composites and a filled adhesive in one and two coats
J Dent 29: 435-441
- 49 Munksgaard EC, Hojtved L, Jorgensen EHW, Andreasen FM, Andreasen JO (1991):**
Enamel-dentin crown fractures bonded with various bonding agents
Endod Dent Traumatol 7: 73-77
- 50 Özer F, Ünlü N, Sengun A. (2003):**
Influence of dentinal regions on bond strenghts of different adhesive systems
J Oral Rehabil 30: 659-663
- 51 Oeztan M D, Sonat B (2001):**
Repair of untreated horizontal root fractures: two case reports
Dent Traumatol 17: 240-243
- 52 Padilla R, Balikov S (1993):**
Sports dentitry: coming of age in the `90s
J Calif Dent Assoc 21: 27-31
- 53 Pagniano RP, Scheid RC, Rosen S, Beck FM (1986):**
Reducing airborne microbes in the preclinical dental laboratory
J Dent Educ 50: 234-235
- 54 Rappelli G, Massaccesi C, Putignano A (2002):**
Clinical procedures for the immediate reattachment of a tooth fragment
Dent Traumatol 18: 281-284

- 55 Ravn JJ (1974):**
Dental injuries in Copenhagen schoolchildren, school years 1967-1972
Community Dent Oral Epidemiol 2: 231-45
- 56 Retief DH, Mandras RS, Smith LA, Marchman JL, Bradley EL, Russell CM (1990):**
Shear bond strengths of the tenure dentin bonding systems
Am J Dent 3: 138-142
- 57 Retief DH (1991):**
Standardizing laboratory adhesion tests
Am J Dent 4: 231-236
- 58 Rueggeberg FA (1991):**
Substrate for adhesion testing to tooth structure - Review of literature
Dent Mater 7: 2-10
- 59 Sattabanasuk V, Vachiramon V, Qian F, Armstrong SR (2007):**
Resin-dentin bond strength as related to different surface preparation methods
J Dent 35: 467-475
- 60 Schneider T (2007):**
Fragmentbefestigung bei Kronenfrakturen - Eine In-vitro Untersuchung zur Verbundfestigkeit verschiedener Dentinadhäsivsysteme
Med Diss, Würzburg
- 61 Sengun A, Özer F, Ünlü N, Öztürk B (2003):**
Shear bond strengths of tooth fragments reattached or restored
J Oral Rehabil 30: 82-86

- 62 Söderholm KJM (1991):**
Correlation of in-vivo and in-vitro performance of adhesive restorative materials: a report of the ASC MD156 task group on test methods for the adhesion of restorative materials
Dent Mater 7: 74-83
- 63 Staninec M, Kawakami M (1993):**
Adhesion and mikroleakage tests of a new dentin bonding system
Dent Mater 9: 204-208
- 64 Stockwell AJ (1988):**
Incidence of dental trauma in the western Australian School Dental service.
Community Dent Oral Epidemiol. 16: 294-298
- 65 Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M (1999):**
Eingriffe während der präprothetischen Vorbehandlung, Phase II
Curriculum Prothetik Band I, 2. Auflage: 425
- 66 Tani C, Finger WJ (2002):**
Effect of smear layer thickness on bond strength mediated by three all-in-one self-etching priming adhesives.
J Adhes Dent 4: 283-289
- 67 Van Meerbeek B, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G (1994):**
Dentinhaftung: Mechanismen und klinische Resultate
Dtsch Zahnärztl Z 49: 977-984
- 68 Villat C, Machtou P, Naulin-Ifi C (2004):**
Multidisciplinary approach to the immediate esthetic repair and long-term treatment of an oblique crown-root fracture
Dent Traumatol 20: 56-60

- 69 von Arx T, Chappuis V, Hänni S (2007):**
Verletzungen der bleibenden Zähne
3. Teil: Therapie der Wurzelfrakturen
Schweiz Monatsschr Zahnmed 117: 135-144
- 70 von Arx T, Wenger P, Hardt N (1998):**
Spätfolgen nach Traumata bleibender Zähne bei Kindern
Acta Med Dent Helv 3: 196-202
- 71 Warfvinge J, Kahnberg K-E (1989):**
Intraalveolar transplantation of teeth. IV. Endodontic considerations
Swed Dent J 13: 229-233
- 72 Walker M (1996):**
Fractured-tooth fragment reattachment
Gen Dent 44: 434-436
- 73 Welbury RR, Kinirons MJ, Day P, Humphreys K, Gregg TA (2002)**
Outcomes for root-fractured permanent incisors: a retrospective study
Pediatr Dent 24: 98-102
- 74 Wiegand A (2005):**
Die Therapie von Kronenfrakturen – Reattachment statt Restauration
Schweiz Monatsschr Zahnmed 115: 1172-1181
- 75 Yates J A (1992):**
Root fractures in permanent teeth: a clinical review.
Int Endod J 25: 150-157

8. Anhang

8.1. Materialliste

AdheSE [®]	Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan Chargen-Nr.: F327334
Adper [®] Prompt [®] L-Pop [®]	3M ESPE AG, D-82229 Seefeld Chargen-Nr.: L6154099
Auswertungssoftware	Origin 5.0, Microcal Software, Inc.
Chloramin-T-Lösung 1%	Universitätsapotheke, D-97070 Würzburg
EDV-Anlage Materialprüfmaschine	Hewlett Packard, Camas USA
Einbettform	Struers GmbH, D-47877 Willich
Filzstift Lumocolor	Staedtler, D-90427 Nürnberg (wasserfest)
Hartmetallbohrer	Fig. HM1, Nr. 121 803, Gr. 008, Hager & Meisinger; D-41468 Neuss
Heliobond [®]	Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan Chargen-Nr.: F50424
Kamera	PDMC-2, Polaroid Corporation MA 02451 Waltham USA
Kochsalzlösung, (physiolog.)	Fresenius AG, D-61343 Bad Homburg
Kürette	Universalkürette SC4R/4L 4; Fa. Hu-Friedy, D-69181 Leimen
Materialprüfmaschine und Software	Typ 1445, Zwick GmbH & Co, D-89079 Ulm
M+W Klebewachs	M+W Dental GmbH, D-63654 Büdingen
Mikroskop Tessoar	Zeiss, D-73447 Oberkochen
OmniDent, Einwegpinsel	Omnicent Dental-Handelsgesellschaft mbH Gutenbergring 7-9, D-63110 Rodgau
Optibond FL [®]	KerrHawe U.S.A 1717 West Collins Avenue, Orange, CA 92867

	Primer Item No. 25881 Chargen-Nr.: 403205
	Adhäsiv Item No. 25882 Chargen-Nr.: 403100
Polymerisationslampe Elipar Trilight	ESPE Dental Medizin GmbH, D-82229 Seefeld
Präzisionsschieblehre	Preisser Messtechnik GmbH, D-72501 Gammertingen
Radiometer	Curing Radiometer Modell 100, Demetron Research Corp. Dansbury USA
Skalpellklinge Nr.12	Klinge Nr. 12, Fa. Aesculap, D-78532 Tuttlingen
Skalpellklingengriff	Fa. Aesculap, D-78532 Tuttlingen
Statistiksoftware	SPSS Inc. Illinois 60606 Chicago USA
Stoppuhr	Festina Chronograph Festina Uhren GmbH, D-83404 Ainring
Syntac®	Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan Chargen-Nr.: F53110
Technovit 4071	Heraeus Kulzer GmbH Philipp-Reis-Straße 8/13
Tetric® Flow	Ivoclar Vivadent AG, FL-9494 Schaan Chargen-Nr.: F57610/G02404
Thermoschrank	TYP KB 600, Heraeus, D-61273 Wehrheim/Ts
Ultra-Etch® Ätzel	Ultradent Products, Inc., Utah 84095, USA
Vermessungssoftware Sigma Scan	Jandel Scientific, Div. of Jandel, CA 94901 San Rafael USA

8.2. Ergebnisübersicht der Versuche

Zahn-Nr.	Zahnart	Bruchart	Passung	Versuchs- gruppe	Bruchfläche	Bruchkraft1	Bruchkraft2	Prozent
1	1	1	1	1	18,02	292,8	145,04	0,4954
2	1	2	1	4	17,61	377,92	67,4	0,1783
3	1	1	1	3	18,28	358,72	93,36	0,2603
4	1	1	1	2	32,18	427,84	140,32	0,3280
5	1	3	2	6	31,67	608,64	188,8	0,3102
6	1	1	1	5	21,45	358,08	151,68	0,4236
7	1	1	1	1	20,21	381,12	132,88	0,3487
8	1	2	1	2	23,09	444,16	109,68	0,2469
9	1	3	2	6	12,21	462,08	140,64	0,3044
10	1	2	1	2	18,36	260,64	24,16	0,0927
11	1	1	1	3	13,31	290,72	106,16	0,3652
12	1	2	1	4	27,25	498,56	51,36	0,1030
13	1	1	1	2	16,27	279,2	55,2	0,1977
14	1	2	1	2	22,99	458,88	40,16	0,0875
15	1	1	1	3	12,88	348,48	99,36	0,2851
16	1	1	1	1	18,35	322,24	100,48	0,3118
17	1	2	1	5	11,83	333,12	177,44	0,5327
18	1	3	1	6	13,56	285,6	77,2	0,2703
19	1	2	1	4	24,87	347,84	63,68	0,1831
20	1	2	1	4	12,08	329,28	56,92	0,1729
21	1	2	1	3	18,97	384	155,12	0,4040
22	1	1	1	1	24,12	368,96	270,72	0,7337
23	1	1	1	5	33,7	554,24	213,28	0,3848
24	1	2	1	2	11,55	159,04	22,24	0,1398
25	1	1	1	2	29,45	334,08	53,12	0,1590
26	1	2	1	1	19,87	206,08	71,52	0,3470
27	1	2	1	1	13,12	213,12	95,04	0,4459
28	1	2	1	3	24,35	193,44	61,68	0,3189
29	1	2	1	5	21,13	532,16	167,04	0,3139
30	1	2	1	5	21,3	412,48	199,52	0,4837
31	1	2	1	4	23,13	459,52	36,96	0,0804
32	1	1	1	4	18,77	322,4	78,24	0,2427
33	1	2	1	3	16,55	281,44	126,64	0,4500
34	1	1	1	1	16,15	442,88	110,96	0,2505
35	1	1	1	5	11,63	247,36	103,84	0,4198
36	1	2	1	5	22,06	600,32	304,48	0,5072
37	1	1	1	2	21,97	408,96	55,88	0,1366
38	1	2	1	1	30,13	308,64	46,24	0,1498
39	1	2	1	1	13,94	372,16	146	0,3923
40	1	1	1	3	15,88	296,96	103,68	0,3491
41	1	2	1	3	29,83	397,44	142,48	0,3585
42	1	1	1	3	17,22	357,12	79,88	0,2237
43	1	1	1	1	10,87	252,48	79,04	0,3131
44	1	2	1	5	22,83	447,04	86,48	0,1935
45	1	1	1	4	18,3	164	52,52	0,3202
46	1	1	1	4	26,89	439,04	81,44	0,1855
47	1	1	1	4	31,27	229,28	96,08	0,4191

Anhang

48	1	1	1	2	16,87	357,76	41,8	0,1168
49	1	1	1	2	10,82	257,28	44,16	0,1716
50	1	2	1	4	18,11	436,16	59,92	0,1374
51	1	2	1	1	28,35	409,28	322,56	0,7881
52	1	1	1	3	28,28	521,6	94,64	0,1814
53	1	2	1	2	23,58	500,8	64,12	0,1280
54	1	2	1	1	31,3	313,12	66,76	0,2132
55	1	1	1	1	30,28	366,08	73,12	0,1997
56	1	1	1	3	21,65	265,76	48,28	0,1817
57	1	1	1	3	25,95	445,76	72,2	0,1620
58	1	1	1	2	23,74	404,8	55,56	0,1373
59	1	1	1	2	20,07	273,6	87,92	0,3213
60	1	1	1	5	9,02	300,64	55,6	0,1849
61	1	1	1	5	12,64	278,88	33,84	0,1213
62	1	2	1	4	17,47	295,04	79,88	0,2707
63	1	1	1	5	18,84	411,2	91,92	0,2235
64	1	1	1	5	26,62	139,28	72,2	0,5184
65	1	1	1	4	16,62	501,44	108,56	0,2165
66	1	2	1	5	17,24	278,4	66,48	0,2388
67	1	1	1	5	28,92	383,04	67,16	0,1753
68	1	1	1	4	24,22	452,8	132,72	0,2931
69	1	1	1	4	19,8	306,4	95,68	0,3123
70	1	2	1	3	31,89	547,52	174,08	0,3179
71	1	1	1	1	27,06	379,2	297,12	0,7835
72	1	1	1	2	20,28	316,32	52,92	0,1673
73	1	1	1	3	25,32	445,12	187,52	0,4213

Tabelle 8: Gesamtübersicht der Ergebnisse

8.3. Verwendete Dentinadhäsivsysteme und deren Inhaltsstoffe

Adhäsivsystem	Inhaltsstoffe		Ätztechnik	Arbeits- schritte
OptiBond® FL	<u>Primer</u>	HEMA, GPDM, Phthalsäuremonomethacrylat, Ethanol, Wasser	Total-Etching	3
	<u>Bonding</u>	Bis-GMA, HEMA, GPDM, Ba-Al-Borosilikat, Mikrofüller, NaSiF ₆ , Initiatoren		
4. Generation	<u>Primer</u>	Poly EG-DMA, Maleinsre., Keton	Schmelzätzung & Dentinkonditionierender Primer	4
	<u>Adhäsiv</u>	Poly EG-DMA, Glutaraldehyd		
	<u>Heliobond</u>	Bis-GMA (60 Gew.%), TEG-DMA (40Gew. %)		
Syntac®	<u>Primer</u>	DMA, Phosphorsäure-acrylat, Initiatoren, Stabilisatoren	Selbstkonditionierender Primer	2
	<u>Bonding</u>	HEMA, DMA, Siliziumdioxid, Initiatoren, Stabilisatoren.		
5. Generation				
Adper® Prompt® L-Pop®	<u>Flüssigkeit 1</u>	MA-PE, Bis-GMA, Initiatoren, Stabilisatoren	Selbstkonditionierendes Primer-Adhesiv	1
	<u>Flüssigkeit 2</u>	Wasser, HEMA, Polyalkensäure, Stabilisatoren		
6. Generation				
Komposite				
Tetric Flow®		Bis-GMA, DMA, TEG-DMA, Anorganische Füller (68, 1%) BA-Al-Floursilikatglass, Siliziumdioxid, Initiatoren, Stabilisatoren		

HEMA=Hydroxyethylmethacrylat

Bis-GMA= Bisphenol-A-Glycidylmethacrylat

TEG-DMA=Triethylenglycoldimethacrylat,

MA-PE= Methacrylat-Phosphorester

GPDM=Glycerophosphatdimethacrylat

PolyEG-DMA= Polyethylenglycoldimethacrylat

DMA=Dimethacrylat

Tabelle 9: Verwendete Dentinadhäsivsysteme und deren Inhaltsstoffe

Danksagung

Herrn Prof. Dr. med. dent. Bernd Klaiber danke ich für die Genehmigung der Themenstellung und für die Übernahme des Referats.

Herrn Prof. Dr. med. dent. Alfred Renk danke ich für die Übernahme des Korreferats.

Mein besonderer Dank gilt Frau Dr. med. dent. Carmen Anding für die Überlassung des Themas und für Ihre Betreuung.

Besonders bedanken möchte ich mich bei allen Freunden und Verwandten, die mich während des Studiums und der Promotionsarbeit unterstützt haben, vor allem bei meinen Eltern und meiner Frau.

Lebenslauf

Angaben zur Person

Name: Elmar Heuchemer
Eltern: Brigitte und Wilfried Heuchemer
Geburtsdatum: 25. Juli 1973
Geburtsort: Neuwied
Familienstand: verheiratet, 1 Kind
Konfession: römisch-katholisch

Schulbildung

1980-1984 Kunostein-Grundschule / Engers
1984-1991 Johannes-Gymnasium der Arnsteiner Patres / Lahnstein
1991-1994 Wilhelm-Remy-Gymnasium / Bendorf
Juni 1994 Abitur

Wehrdienst

1994-1995 Heeresführungskommando Koblenz

Berufsausbildung

1996-1999 Ausbildung zum Zahntechniker,
AMH Dental GmbH / Ransbach-Baumbach

Studium

1999-2004 Studium der Zahnmedizin an der
Bayerischen Julius-Maximilians-Universität / Würzburg
Juni 2004 Staatsexamen
Juli 2004 Approbation als Zahnarzt

Zahnärztliche Tätigkeit

Oktober 2004 -

März 2006 Assistenz Zahnarzt in der Praxis Dres. Dietrich in
Neunkirchen / Siegerland

April 2006 -

September 2007 Assistenz Zahnarzt in der Praxis Dr. Fussy in
Oberammergau

seit Oktober 2007 Niedergelassen in eigener Praxis in Rengsdorf
(Westerwald)

Neuwied, im Oktober 2007

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Eduard Blumhagen', written in a cursive style.