elektronisches dokument
ULB Sachsen-Anhalt

Universitätspoliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
an der Martin-Luther-Universität in Halle-Wittenberg
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. H.-G. Schaller)

Die Retention zahnfarbener Wurzelkanalstifte des Erlanger Systems in Abhängigkeit von dualhärtenden Zementen und Vorbehandlungstechniken

Eine In-vitro-Studie

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

Vorgelegt
der medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Holger Vorderwülbecke
geboren am 24.07.1978 in Münster (Westf)

Datum der Eröffnung: 12.04.2007
Datum Verteidigung: 16.01.2008
Gutachter:
Prof. Dr. med. dent. H.-G. Schaller (Halle)
Prof. Dr. med. dent. M. Kern (Kiel)

urn:nbn:de:gbv:3-000013237
[http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000013237]

Meiner Familie gewidmet

Endodontisch behandelte Zähne weisen oftmals einen starken Destruktionsgrad der klinischen Krone auf. Diese Zähne werden im Kern aufgebaut und anschließend mit einer laborgefertigten Restauration in Form einer Krone versorgt. Um eine dauerhaft zuverlässige Retention des Stumpfaufbaumaterials zu gewährleisten, müssen zur Verankerung Wurzelstifte zum Einsatz kommen. Zur Vermeidung von ästhetischen Einbußen bei vollkeramischen Restaurationen sowie der Gefahr von Korrosion metallischer Stifte werden in neuerer Zeit metallfreie Wurzelstifte aus Zirkoniumoxidkeramik oder Fiberglas eingesetzt. Diese werden im Wurzelkanal mit Dentalzementen adhäsiv befestigt und geben dem Aufbau einen zusätzlichen Halt am Zahn. Die Retention der jeweiligen Wurzelstifte wird von zahlreichen Faktoren beeinflusst.

Ziel der vorliegenden in-vitro Studie ist es, das Retentionsverhalten zwei zahnfarbener Wurzelkanalstifte des Erlanger Systems in Abhängigkeit von vier dualhärtenden Zementen und Vorbehandlungstechniken zu untersuchen. Als Befestigungsmaterial wurden die dualhärtenden Kompositzemente Panavia™ F 2.0, RelyX™ Unicem, Bifix QM® sowie Nexus 2® mit Wurzelstiften aus Zirkoniumoxid und glasfaserverstärktem Komposit kombiniert. In vier der insgesamt zwölf Versuchsreihen wurden die Keramikstifte zuvor mit Aluminiumoxid abgestrahlt. Die Stifte der übrigen acht Versuchsreihen wurden keiner Vorbehandlung unterzogen.

Für die Untersuchung wurden die kariesfreien Wurzeln von 120 menschlichen Zähnen verwendet. Mit Hilfe einer Universalprüfmaschine wurde dann die mittlere Zugfestigkeit der in die Wurzeln einzementierten Stifte ermittelt und die Behandlungssysteme untereinander verglichen.

Unter den Zirkoniumoxidstiften erreichte das Befestigungsmaterial Panavia™ F 2.0 mit 348,43 N bzw. 296,13 N im Mittel die signifikant höchste Zugfestigkeit (Tukey`s Studentized Range Test). Die Vorbehandlung durch Abstrahlen führte nicht zur Erhöhung der Retention. Bei den Fiberglasstiften wurden die signifikant höchsten Haftwerte mit durchschnittlich 323,26 N durch das Befestigungsmaterial RelyX Unicem™ erzielt.

Die in der In-vitro-Studie erzielten Ergebnisse zeigen, dass für die klinische Anwendung von zahnfarbenen Wurzelstiften bis heute keine universelle Vorbehandlungstechnik und kein universell anwendbares Befestigungsmaterial existiert. Die Studie verdeutlicht zudem, dass dualhärtende Kompositzemente grundsätzlich als Befestigungsmaterial für zahnfarbene Wurzelstifte zur Erzielung hoher Retentionskräfte geeignet sind. Die Wahl eines geeigneten Zementes und eine entsprechende Oberflächenvorbehandlung sind aber immer vom Einsatz des jeweiligen Stiftes abhängig.

INHALTSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG.....1

2. LITERATURÜBERSICHT.....3

2.1 Endodontische Behandlung.....3

2.1.1 Erkrankung der Pulpa und ihre Folgen.....3

2.1.2 Wurzelkanalaufbereitung.....4

2.1.3 Spülung des Wurzelkanals.....6

2.1.4 Wurzelkanalfüllung.....7

2.2 Prognose endodontisch behandelter Zähne.....7

2.3 Folgen der endodontischen Behandlung.....7

2.4 Restauration endodontisch behandelter Zähne.....8

2.5 Stiftaufbausysteme.....9

2.5.1 Individuelle Stiftsysteme.....10

2.5.2 Halbkonfektionierte Stiftaufbauten.....10

2.5.3 Vollkonfektionierte Stiftaufbauten.....11

2.6 Anforderungen an Stiftaufbausysteme.....11

2.6.1 Stiftlänge.....12

2.6.2 Stiftdimension.....13

2.6.3 Stiftform und Oberflächenbeschaffenheit.....13

2.6.4 Stiftmaterial.....15

2.6.5 Befestigungsmaterial.....16

2.6.6 Befestigungsmethoden.....17

2.7 Ziel dieser Untersuchung.....18

3. MATERIAL UND METHODE.....19
3.1 Materialien.....19
3.1.1 Versuchszähne.....19
3.1.2 Verwendete Lösungen.....19
3.1.3 Verwendete Wurzelkanalinstrumente und –füllungsmaterialien.....20
3.1.4 Verwendete endodontische Stifte.....21
3.1.5 Angewandte Befestigungsmaterialien.....23
3.2 Methode.....27
3.2.1 Probenvorbereitung.....27
3.2.2 Probenherstellung.....27
3.2.3 Versuchsgruppeneinteilung.....28
3.2.4 Applikation.....28
3.2.5 Zugversuche.....31
3.2.6 Qualitative Analyse (REM-Bilder).....23
3.2.7 Statistische Auswertung.....24
4.ERGEBNISSE.....34
4.1 Quantitative Analyse.....35
4.2 Statistische Auswertung.....36
4.3 Qualitative Analyse.....39
5. DISKUSSION.....53
5.1 Analyse des Versuchsaufbaus.....53
5.2 Analyse der Ergebnisse.....55
6. ZUSAMMENFASSUNG.....60
7. LITERATURVERZEICHNIS.....62
8. THESEN.....73

1. Einleitung

Große Schwierigkeiten und höchste Anforderungen an den behandelnden Zahnarzt stellt in der Zahnerhaltung oftmals die dauerhafte Befestigung von Stumpfaufbaumaterial an endodontisch vorbehandelten Zähnen dar, um eine anschließende Versorgung des Zahnes mit einer laborgefertigten Krone zu ermöglichen.
Dieses Problem beruht zum einen auf dem vorangegangenen Zahnhartsubstanzverlust des Zahnes durch Karies sowie auf der technisch-praktischen Durchführung der Wurzelkanalbehandlung selbst. Zwar ermöglicht die heutige adhäsive Säureätztechnik eine direkte Befestigung von plastischem Stumpfaufbaumaterial an Schmelz und Dentin mit einer Haftkraft von bis zu 20 MPa (Gilpatrick et al. 1991), die gemachten Erfahrungen der Vergangenheit haben jedoch gezeigt, dass diese Haftkraft als alleiniger Verbund des Stumpfaufbaus am stark destruierten Zahn nicht ausreichend ist. Die Folge ist der Verlust des Stumpfaufbaus und nicht selten die daraus resultierende Nichterhaltungswürdigleit des ganzen Zahnes. Um den auftretenden Kaubelastungen im Mund standzuhalten, ist daher nach einer zusätzlichen Verankerung des Kronenaufbaus am Zahn zu suchen. Die Anwendung eines Wurzelstiftes kann dieses gewährleisten (Smith et al. 1997).
Zurückblickend beschrieb bereits Pierre Fauchard um 1728 den Versuch, über einen Metallstift eine künstliche Zahnkrone am Zahn zu verankern. Diese Befestigung ohne den weiteren Einsatz eines Zementes konnte aber keinen ausreichenden Halt bieten.
Fauchards Versuch zeigt deutlich, dass der daueraften Erfolg der Restauration ganz besonders von der Retention des Wurzelstiftes im Wurzelkanal abhängt. Ist diese nicht ausreichend, ist oftmals wiederum der Verlust des Stumpfaufbaus mitsamt dem Wurzelstift und zugehöriger Krone die Folge.
Der heutige Markt bietet eine große Auswahl an stabilen Wurzelstiftsystemen, die sich sowohl in ihrer Form als auch in dem empfohlenen Material zur Befestigung des Stiftes in dem Wurzelkanal voneinander unterscheiden. Alle diese Systeme sollen einen dauerhaften Verbund der Restauration durch den Wurzelstift am Zahn ermöglichen.

Betrachtet man das Retentionsprinzip, kann man die Stifte in zwei Gruppen einteilen:

1. Stifte mit passiver Retention
2. Schrauben mit aktiver Retention

Die Stifte mit passiver Retention werden mit einem Befestigungszement nach Wahl in den Wurzelkanal eingeklebt und unterscheiden sich in Größe, Form und

Oberflächenbeschaffenheit voneinander. Die verschiedenen Hersteller bieten u.a. konische, konisch-zylindrische, zylindrische Stifte mit oder ohne Stufenform an. Des weiteren können diese aus Metall, Keramik, Fiberglas oder anderen Materialien bestehen und haben eine glatte oder aufgeraute Oberfläche.

Wegen des z.T. unübersichtlichen Angebots an Systemen ergibt sich für den zahnärztlichen Behandler die Notwendigkeit, die wichtigsten Vor- sowie Nachteile zu kennen. Erst dann kann je nach Indikationsstellung das passende Stiftsystem ausgesucht und auf das zu verwendende Befestigungsmaterial abgestimmt werden.

Die abschließende Versorgung des devitalen Zahnes mit einer suffizienten Kronenversorgung ist maßgeblich für Therapieerfolg und Stabilisierung des Behandlungsergebnisses.

Bei endodontisch behandelten Zähnen mit hohem Destruktionsgrad der klinischen Krone ist die Verwendung von Wurzelstiften eine zwingende und in der täglichen Arbeit oft anzutreffende Notwendigkeit.

Vorangegangene Untersuchungen zum Retentionsverhalten von Wurzelstiften haben gezeigt, dass neben Stiftgröße, -design und Oberflächenbeschaffenheit auch die Auswahl eines passenden Befestigungsmaterials einen großen Einfluss auf die Stiftverankerung hat.

Zementiert man verschiedenen Arten von Wurzelstiften mit demselben Zement, so weisen passiv-retentive Stiftsysteme mit einem konischen Stiftdesign geringere Haftkräfte auf als parallelwandige Stifte oder Schraubensysteme (Johnson et al.1978; Cohen et al. 1999). Aus ihrer der natürlichen Zahnwurzel angepassten Form ergibt sich für passiv-retentive Stiftsysteme der Vorteil einer apikal schonenderen Präparation des Stiftbettes sowie der Vermeidung von Spannungen und Frakturen in der Zahnwurzel, wie sie beispielsweise bei Radixschrauben auftreten können (Standlee et al. 1982, 1992).

Durch den Einsatz geeigneter Befestigungszemente versucht man, den Nachteil der geringen Haftkraft von konischen Wurzelstiften auszugleichen und sich den Retentionskräften anders konstruierter Systeme anzunähern.

Ziel der folgenden Studie ist es, den Einfluss von vier dualhärtenden Kompositzementen auf das Retentionverhalten von zwei zahnfarbenen Wurzelstiften aus Zirkoniumoxid sowie glasfaserverstärktem Komposit mit unterschiedlicher Vorbehandlungstechnik zu untersuchen.

2.0 Literaturübersicht

2.1 Endodontische Behandlung

2.1.1 Erkrankung der Pulpa und ihre Folgen

Das Ziel jeder endodontischen Behandlung liegt in der dauerhaften Erhaltung des erkrankten Zahnes sowie in der Vermeidung von Krankheiten, die von einem pulpaerkrankten Zahn ausgehen.

Die Erkrankung einer Zahnpulpa ist die entzündliche Antwort des endodontischen Gewebes auf einen von außen einwirkenden Reiz. In der Häufigkeit des Auftretens ist in erster Linie die Karies profunda mit dem Leitkeim *streptokokkus mutans* als Ursache für eine Pulpaschädigung zu nennen. Die hier auftretenden Stoffwechsel- und Zerfallsprodukte der in der Karies vorkommenen Bakterien können bei Invasion in die Pulpa zu einer irreversiblen Pulpitis führen (Langeland 1981).

Eine Pulpitis kann außer einer Bakterieninvasion bei Caries profunda auch durch chemische, physikalische oder toxische Reize ausgelöst werden. Dazu zählen iatrogene Faktoren wie eine Schädigung der Pulpa durch thermische Einflüsse beim Bearbeiten der Zahnhartsubstanzen, aber auch zahnärztliche Füllungsmaterialien und Medikamente. Weiterhin kann eine Pulpaschädigung durch traumatische Einflüsse erfolgen, wenn beispielsweise endodontisches Gewebe großflächig eröffnet und dadurch ein Zutritt für Bakterien ermöglicht wird. Auch marginale Parodontopathien stellen eine mögliche Ursache für eine Pulpaerkrankung dar, wenn der Entzündungsherd bei einer tiefen aktiven Tasche nahe genug an das Foramen apikale heranreicht.

Allerdings stellt die Karies mit einer Inzidenz/Prävalenz von 95% die häufigste Ursache für eine irreversible Pulpaerkrankung dar (Schäfer 2001).

Erfolgt eine Freilegung und Invasion der Kronenpulpa durch Karies, tritt immer eine Entzündung und Nekrotisierung (Zell- oder Gewebetod) des nachfolgenden Pulpagewebes auf (Lin 1981).

Somit ist offensichtlich, das die Ursache für eine Pulpitis oder Pulpanekrose fast immer die bakterieller Infektion des Zahnes ist (Schroeder 1991).

2.1.2 Wurzelkanalaufbereitung

Die Wurzelkanalaufbereitung verfolgt das Ziel, das Kanalsystem innerhalb aller Abschnitte von Pulpagewebsresten, Bakterien und nekrotischen Gewebsresten sowie weiteren antigenen und entzündungsauslösenden Substanzen zu säubern und dem Kanal eine Form zu verleihen, die eine Füllung des gesamten Kanals mit einem biologisch inerten Material erlaubt. Erfolg und Misserfolg in der Endodontie hängen auch von einem bakteriendichten Verschluss des Wurzelkanalsystems ab. Werden die Prinzipien der Wurzelkanalbehandlung befolgt, kann eine Wurzelkanalfüllung das Endododont versiegeln und den betroffenen Zahn über Jahre hinweg als vollständig funktionsfähige Kaueinheit erhalten.

Vorraussetzung für die Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung ist das vorherige vollständige Entfernen der kariösen Läsion aus dem Zahnhartgewebe. Anschließend erfolgt die Schaffung einer Zugangskavität und Abtragung des Pulpakammerdaches zur Darstellung des Wurzelkanals. Dies soll möglichst unter Schonung der gesunden Zahnhartsubstanz erfolgen (Peters 1992), was aber durch eine ausgedehnte Karies oftmals nicht möglich ist. Nach Darstellung und Sondierung des Wurzelkanals erfolgt die röntgenologische oder elektrometrische Bestimmung der Arbeitslänge des aufzubereitenden Kanals, wobei die Länge der Aufbereitung 0,5 – 1mm vor dem röntgenologischen Apex enden soll (Voss 1993).
Oberstes Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die Desinfektion und Reinigung des Wurzelkanals und die Schaffung einer Form zur Aufnahme einer randständigen und damit dichten Wurzelfüllung.
Bei der Wurzelkanalaufbereitung wird mit bohrenden und schabenden Instrumenten aus hochlegiertem Stahl oder flexiblen Nickel-Titan-Legierungen die Keimzahl im Kanal durch zirkulären Substanzabtrag des Kanaldentins mechanisch reduziert. Da aber Bakterien bei alleiniger mechanischer Aufbereitung nicht vollständig aus den infizierten Dentinkanälchen entfernt werden können, muß der Wurzelkanal während der Behandlung zusätzlich mit chemischen und medikamentösen Spülflüssigkeiten desinfiziert werden (Bystrom & Sundqvist 1981). Zudem ist mit mechanischen Instrumenten ein vollständiger Abtransport von abgeschabtem Dentin durch Aufbereitung aus dem Kanal nicht möglich. Deshalb kann ein komplettes Auflösen und Herausspülen von Dentinspänen und Geweberesten nur durch Einsatz von desinfizierenden Spüllösungen ermöglicht werden (Barnett et al. 1985, Hülsmann 1997).

Ein hoher Stellenwert bei der Endodontie kommt einer geeigneten Formgebung des Kanallumens für die Wurzelfüllung zu. Sie kann durch eine Vielzahl von geeigneten manuellen sowie maschinellen Aufbereitungstechniken erzielt werden.

Man unterscheidet bei der manuellen Aufbereitung zwischen apikal-koronalen und koronal-apikalen Aufbereitungstechniken. Bei der Aufbereitung von apikal nach koronal wird nach Festlegung der Arbeitslänge zunächst der apikale Kanalabschnitt mit zunehmender Instrumentengröße vollständig aufbereitet und anschließend nach koronal konisch erweitert. Zu dieser Methode zählen beispielsweise die standardisierte Technik und die Step-back-Technik.

Die standardisierte Aufbereitungstechnik ermöglicht durch den Einsatz von Instrumenten aufsteigender ISO-Größe bei gleich bleibender Arbeitslänge nur eine geringe Konizität des Wurzelkanals. Diese entspricht in etwa der Konizität des zuletzt verwendeten Instruments (Ingle 1961). Mit dieser Technik aufbereitete Wurzelkanäle eignen sich für eine Wurzelfüllung mit einem einzigen zentralen Wurzelstift gleicher Konizität, da eine laterale Kondensation und Einbringen weiterer Guttaperchastifte aufgrund der zu geringen Konizität nahezu unmöglich ist (Hülsmann, 2001).

Zur Lösung dieses Problems kann die Step-back-Technik beitragen. Hier wird der Wurzelkanal nach Ermittlung der Arbeitslänge zunächst mit K-Feilen und Hedström-Feilen apikal erweitert und anschließend nach koronal konisch ausgeformt. Das erste zur Aufbereitung eingebrachte Instrument wird als Initiale Apikalfeile (IAF) bezeichnet. Ausgehend davon wird der Wurzelkanal anschließend um 3-5 ISO-Größen zirkulär erweitert.

Das zuletzt auf volle Arbeitslänge eingebrachte Aufbereitungsinstrument ist die Apikale Masterfeile (MAF). Nun erfolgt die konische Erweiterung des Kanals im eigentlichen Sinn der Step-back-Technik: je nach Weite des Wurzelkanals erfolgen so drei bis fünf Schritte aufsteigender ISO-Größe mit zunehmend verkürzter Arbeitslänge. Während kleine Schritte von 0,5 mm bei geraden Kanälen angebracht sind, werden bei gekrümmten Kanälen Schritte von je 1 mm bevorzugt. Das letzte Instrument wird dann als Finalfeile (FF) bezeichnet. Mit dieser Technik wird im Vergleich zur standardisierten Technik eine größere Konizität des aufbereiteten Wurzelkanals erreicht und somit eine Wurzelfüllung mit lateraler Kondensationstechnik ermöglicht (Beer & Baumann 1997; Hellwig et al. 1999; Hülsmann 2001).

Bei der koronal-apikalen Aufbereitungsmethode wird zunächst der koronale Anteil des Wurzelkanals erweitert, bevor die endgültige Arbeitslänge festgelegt wird. Erst anschließend wird die Arbeitslänge bestimmt und konisch in apikaler Richtung aufbereitet.

So wird bei der Step-down-Technik nach Überprüfung der Durchgängigkeit zuerst der koronale Anteil des Wurzelkanals bis zu einer Tiefe von etwa 16-18 mm mit Hedström-Feilen sowie Gates-Glidden-Bohrern bearbeitet. Erst danach wird die Arbeitslänge bestimmt und analog der Step-back-Technik der apikale Wurzelkanalabschnitt aufbereitet (Goerig et al. 1982).

Bei der Double-flared-Technik erfolgt die Aufbereitung des Wurzelkanals von koronal nach apikal mit K-Feilen absteigender ISO-Größe. Beginnend mit einem dicken Instrument werden nachfolgend immer kleinere Instrumente jeweils 1 mm tiefer eingebracht, bis die Arbeitslänge erreicht ist. Abschließend erfolgt die endgültige Formgebung des apikalen Anteils mit der Step-Back-Technik (Fava 1983).

Insgesamt eignen sich die koronal-apikalen Methoden für die Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle und haben den Vorteil einer effektiveren apikalen Kontrolle der Wurzelkanalinstrumente. Des weiteren wird mit dieser Methode die Penetration von Spüllösungen in das Kanallumen erleichtert und das Risiko einer Verschleppung von Keimen in apikaler Richtung verringert.

Bei den maschinellen Aufbereitungstechniken mit rotierenden Instrumenten aus äußerst flexiblen Nickel-Titan-Legierungen hat sich bei der Mehrzahl der Systeme die Crown-down-Technik durchgesetzt. Diese Methode vereinigt mehrere Vorteile miteinander: Neben einer besseren Spülwirkung verhindert ein frühes Entfernen der bakteriell infizierten nekrotischen Gewebsbereiche ein iatrogenes Verschleppen von Bakterien nach apikal mit auftretender postoperativer Schmerzsymptomatik (Goreva und Petrikas 2004). Die Veränderung der Arbeitslänge während der Aufbereitung fällt geringer aus und durch die frühe koronale Erweiterung wird von einer weit aus besseren Sensibilität für den apikalen Wurzelkanalabschnitt und einer leichteren apikalen Aufbereitung berichtet.

2.1.3 Spülung des Wurzelkanals

Durch den Einsatz von unterstützenden Spülflüssigkeiten während der Aufbereitung wird sichergestellt, dass auch Gewebereste, Detritus und Bakterien, die in den Dentinkanälchen, Seitenkanälen der Ramifikation oder anderen unzugänglichen Bereichen zurückgeblieben sind, beseitigt werden. Daher soll die Spüllösung neben einer geringen Toxizität eine bakterizide Wirkung haben, eine Auflösung von vitalem und nekrotischen Gewebe bewirken und einen Gleiteffekt für eingebrachte Instrumente erzielen. Zu diesem Zweck eignet sich der

Einsatz erschiedener Mittel wie z.B. Wasserstoffperoxid (H_2O_2), Ethylendiamintetraacetat (EDTA), Chlorhexidin (CHX) oder Natriumhypochlorid (NaOCl) (Hülsmann 1997).

2.1.4 Wurzelkanalfüllung

Eine biokompatible und vor allem bakteriendichte Wurzelfüllung schließt die Wurzelkanalbehandlung ab. Dabei soll das zuvor aufbereitete Kanallumen von der Pulpakammer bis zur apikalen Konstriktion komplett mit Wurzelfüllmaterial verschlossen sein, da sonst eine Reinfektion mit eingewanderten Keimen von koronal nicht auszuschließen ist. Positive klinische Erfahrungen der Vergangenheit haben gezeigt, dass sich als Füllmaterial der Wahl vor allem Guttaperchastifte in Kombination mit einem Sealer eignen. Neben einer sehr guten Gewebeverträglichkeit (Spångberg 1969; Schmalz 1981; DGZMK 2000) kann mit diesen Materialien als Füllmethode die laterale oder vertikale Kondensationstechnik angewendet werden (Baumann 2001).

2.2 Prognose endodontisch behandelter Zähne

Heute sieht sich der Zahnarzt zunehmend mit der restaurativen Versorgung von wurzelkanalbehandelten Zähnen konfrontiert. Dieses kann auch die Statistik der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KZBV) belegen: wurden im Jahr 1970 noch 3,2 Millionen endodontische Behandlungen vorgenommen, so hat sich die Anzahl bis 1996 mit 6,5 Millionen Wurzelkanalbehandlungen mehr als verdoppelt (Hellwig et al. 1999).
Die durchschnittliche Überlebensrate eines endodontisch behandelten Zahnes beträgt nach 10 Jahren über 81% (Rocke et al. 1997), wobei eine abschließende restaurative Versorgung des Zahnes ganz erheblich zum Gesamterfolg der Wurzelkanalbehandlung beitragen kann (AAE 1995).

2.3 Folgen der endodontischen Behandlung

Häufig auftretende Frakturen der klinischen Krone von endodontisch behandelten Zähnen wurden zunächst einer Austrocknung und damit resultierenden Sprödigkeit des Dentins zugeschrieben (Helfer et al. 1972; Hansen 1990).

Diese Theorie kann aber bislang nicht aufrecht erhalten werden, denn in neueren Studien wurde belegt, dass sich der Gehalt an Restfeuchtigkeit im Dentin wurzelkanalbehandelter Zähne im Vergleich zu vitalen Zähnen nicht wesentlich ändert (Papa et al. 1994).
Die erhöhte Frakturanfälligkeit ist also weniger in veränderten Materialeigenschaften des Dentins begründet (Sedgley & Messer 1992; Huang et al. 1992), vielmehr ist als Ursache der oftmals hohe Verlust an Zahnhartsubstanz durch Entfernung des Pulpakammerdaches und der Randleisten zu nennen. Durch das Schaffen einer Zugangskavität wird die Wurzelkanalbehandlung überhaupt erst ermöglicht (Howe & McKendrey 1990). Auch eine oftmals vorangegangene umfangreiche Füllungstherapie oder die unbehandelt gebliebene Karies profunda beeinträchtigen die Stabilität des betroffenen Zahnes (Reeh et al. 1989).
Um dem Risiko einer Kronenfraktur zu begegnen, sollte die abschließende Restauration zumindest in einer z.B. höckereinfassenden Teilkrone bestehen (Linn & Messer 1994). Ein weiterer Faktor zur Begünstigung einer Kronenfraktur besteht in einem eingeschränkten Schutzreflex des endodontisch behandelten Zahnes bei Überbelastung. Eine genaue Messung der Kaubelastung ist nicht mehr möglich, da mit der Pulpa eine große Anzahl von Mechanorezeptoren entfernt werden und infolge dessen eine auf den Zahn einwirkende Kraft mehr als doppelt so groß sein muss wie bei einem vitalen Zahn, um als gleichwertig empfunden zu werden (Randow & Glanz 1986).

2.4 Restauration endodontisch behandelter Zähne

Zur Minimierung des Frakturrisikos wurzelkanalbehandelter Zähne gelten mehrere Grundprinzipien für eine adäquate Restauration. So ist grundsätzlich die Art der Restauration vom Ausmaß der Zerstörung der klinischen Krone durch Karies, vorangegangene Füllungstherapie oder Trauma abhängig.
So ist bei marktoten Frontzähnen, deren Substanzdefekt nicht über die Zugangskavität hinausgeht, eine Versorgung mit einer Kompositfüllung durch Säureätztechnik ausreichend (Sorensen et al. 1985). Endodontisch behandelte Seitenzähne mit mesial-okklusal-distaler (MOD-) Kavität benötigen jedoch zumindest eine höckereinfassende Restauration zur Abstützung der freien Schmelzwände (Reeh et al. 1989; Linn & Messer 1994).
Bei Zähnen mit deutlich größeren Substanzdefekten oder einem vollständigen Verlust der klinischen Krone empfiehlt es sich, einen Wurzelstift in den Zahn einzusetzen. Dieser kann das Risiko einer Wurzelfraktur deutlich vermindern und vor allem dem Stumpfaufbau einen

sicheren Halt am Zahn geben (Lau 1976). Die Verminderung der Frakturanfälligkeit durch einen Wurzelstift konnte durch Studien bislang jedoch nicht sicher belegt werden: Sorensen und Martinoff (1984) sowie eine Studie von Guzy et al. (1979) haben gezeigt, dass die Versorgung mit einem Wurzelstift das Überleben endodontisch behandelter Zähne nicht signifikant erhöht. Infolge dessen wurde die Theorie einer verstärkenden Wirkung von Wurzelstiften zunächst in Frage gestellt (Trabert et al. 1978; Trope et al. 1985). Weitere Studien in den Neunziger Jahren haben verdeutlicht, dass ein Wurzelstift in erster Linie eine Funktion als Retentionselement für einen Stumpfaufbau mitsamt der Krone ausübt (Mendoza & Eakle 1994; Attin et al. 1994), den Zahn als solchen aber nicht primär in seiner Stabilität verbessert. Somit ist das Einsetzen eines Wurzelstiftes nur bei Zähnen mit einem erheblichen Destruktionsgrad der klinischen Krone indiziert (Smith & Schumann 1997), wobei als Beispiel eine Stiftversorgung nach Frontzahntrauma mit äquigingivalem Zahnhartsubstanzdefekt genannt werden kann (Cathro 1996).

Die These, endodontisch behandelte Frontzähne auch bei geringem Zahnhartsubstanzdefekt grundsätzlich immer mit einer Stiftverankerung zu versorgen (Lau 1976; Michnick et al. 1978) besitzt also keine Allgemeingültigkeit.

Es bleibt festzustellen, dass die seit langem kontrovers diskutierte Frage, ob eine abschließende Versorgung des wurzelkanalbehandelten Zahnes notwendig ist oder nicht, auch heutzutage von der Fachwelt noch nicht einheitlich beantwortet werden kann (Ottl et al. 2002).

Wissenschaftliche Stellungnahmen von der DGZMK, der DGM sowie DGZWP empfehlen den Einsatz von Wurzelstiften endodontisch behandelter Zähne nur bei einem verhältnismäßig großem Verlust an natürlicher Zahnhartsubstanz der klinischen Krone (Edelhoff et al. 2003).

2.5 Stiftaufbausysteme

Die wachsende Anzahl der wurzelkanalbehandelten Zähne und die verstärkte Nachfrage einer adäquaten Restauration dieser Zähne führte in den letzten Jahren zur Entwicklung und Markteinführung einer großen Anzahl von unterschiedlichen Wurzelkanalstiftsystemen. Diese Stiftkanalsysteme bzw. Stiftaufbauten können individuell, halbkonfektioniert und vollkonfektioniert sein.

2.5.1 Individuelle Stiftsysteme

Ein individueller Stiftaufbau kann direkt oder indirekt hergestellt werden (Strub et al. 1994). Beim erstgenannten Verfahren wird der Stiftkernaufbau unmittelbar im Patientenmund mit Kunststoff modelliert und wird danach im zahntechnischen Labor in einen metallischen Zustand überführt.
Die Herstellung durch das indirekte Verfahren erfordert die Abformung von Kanallumen sowie Präparation. Im zahntechnischen Labor wird anschließend auf einem Sägeschnittmodell der Stiftaufbau individuell modelliert.
Beide Techniken führen zu einer hohen Passgenauigkeit zwischen dem individuell gefertigten Stift und dem Kanallumen (Nolden 1985), wobei für Stift und Aufbau als Material vor allem hochgoldhaltige Metalle, z.B. Gold-Platin-Palladium-Legierungen, verwendet werden. Beim Gießen besteht aber die Gefahr, dass sich unbemerkt kleine Gusfehler in Form von Lunkern in das Werkstück einschleichen. Diese kleinen Hohlräume führen unweigerlich zu einer Materialschwächung und haben oftmals den Bruch des Gusstiftes zur Folge. Deshalb werden heute v.a. vorkonfektionierte angussfähige Stifte für den individuellen Stiftaufbau verwendet (Wirtz 1983).

2.5.2 Halbkonfektionierte Stiftaufbauten

Halbkonfektionierte Stiftsysteme bestehen aus genormten Wurzelkanalstiften und können heutzutage aus Metall, karbonfaserverstärktem Kunststoff, Keramik oder Fiberglass hergestellt werden. Der zugehörige Stumpfaufbau kann dann entweder aus Metall an den Stift angegossen werden oder aus plastisch formbaren Material, zumeist Komposit, angeklebt werden. Aus materialkundlicher Sicht sind diese Stifte gegenüber den individuell gegossenen Wurzelkanalstiften im Vorteil, da diese bei der Herstellung durch Kaltverformung eine Festigkeitssteigerung erfahren (Wirtz 1983).
Die z. Zt. von der Industrie angebotenen halbkonfektionierten Stiftsysteme können wie folgt unterschieden werden:

- zylindrische Stiftsysteme
- konische Stiftsysteme
- konisch-zylindrische Stiftsysteme
- Schraubensysteme

Auch bei halbkonfektionierten Stiften besteht wiederum die Möglichkeit einer direkten oder indirekten Methode zur Modellation eines Stumpfaufbaus.
Die direkte Technik ist durch Modellieren des Stumpfes im Mund des Patienten mit Kompositen oder ähnlichem plastischem Aufbaumaterial definiert. Sie erfolgt nach dem definitiven Einsetzen des Stiftes in das präparierte Stiftbett und hat den Vorteil eines relativ geringen Zeitaufwandes bei gleichzeitiger Schonung der restlichen Zahnhartsubstanz, da der Zahnstumpf hier nicht auf Gingivaniveau dekapitiert werden muss. Dünne Schmelz- und Dentinanteile bleiben erhalten und werden adhäsiv mit dem Aufbaukomposit verbunden.
Bei der indirekten Aufbautechnik wird zunächst im Patientenmund aus ausbrennfähigem Kunststoff der Stumpfaufbau mit dem angussfähigen Stift vormodelliert und danach mit dem Stift im zahntechnischen Labor in Metall überführt. Danach wird der Stift mitsamt metallischem Aufbau in den vorbereiteten Zahn eingesetzt. Der Vorteil liegt in einer sehr hohen mechanischen Festigkeit des Stumpfaufbaus gegenüber einem höheren Zeitaufwand und damit verbundenen höheren Kosten zur Herstellung.

2.5.3 Vollkonfektionierte Stiftaufbauten

Vollkonfektionierte Stiftsysteme bestehen aus genormten Wurzelstiften mit zugehörigem genormten Stumpfaufbau. Dem Vorteil eines günstigen Anschaffungspreises steht vor allem das zeitaufwendige Anpassen des Aufbau durch Beschleifen gegenüber. Auch ist die Passgenauigkeit vollkonfektionierter Stiftsysteme geringer als die halbkonfektionierter oder individueller Systeme.

2.6 Anforderungen an Stiftaufbausysteme

Stiftaufbauten müssen bestimmte Anforderungen erfüllen, um über Jahre hinweg in ihrer Funktion als Retentionselement bestehen zu können.

Metallische Stiftsysteme müssen hoch korrosionsbeständig sein, da ansonsten korrosive Produkte einerseits in das umliegende Gewebe abgegeben werden und diese andererseits das Retentionsverhalten zudem negativ beeinflussen können (Riedling et al. 1988). Zudem führt

fortgeschrittene Korrosion zum Substanzverlust und damit zur mechanischen Schwächung des Wurzelstiftes oder Aufbaus.

Neben der erwähnten Biokompatibilität wird zudem eine hohe Belastbarkeit gefordert (Lauer et al. 1994), welche sich jedoch auch nachteilig auf den Zahn auswirken kann. Untersuchungen mit starken Belastungen haben gezeigt, dass eine hohe mechanische Festigkeit zu Frakturen der Wurzel führen kann und der betroffene Zahn womöglich zum Extraktionfall wird (Sirimai et al. 1999; Martinez-Insua et al. 1998). Die Ursache ist in dem unterschiedlichem Elastizitätsmodul zwischen Wurzeldentin und Wurzelstift zu finden. Klinisch konnte die erhöhte Bruchanfällig endodontisch behandelter und mit einem metallischen Wurzelstift versorgter Zähne nicht bestätigt werden (Ottl & Lauer 2002). Dies kann damit zusammenhängen, dass in vivo die Elastizitätsgrenze des Stiftmaterials unter gewöhnlichen Umständen nicht erreicht wird (Körber & Ludwig 1983).

Dieses Problem versuchte die Industrie mit der Einführung neuer Materialien zu lösen. Neuartige Stiftsysteme bestehen aus karbonfaserverstärkten Komposit oder Fiberglasfasern, die in eine Kunststoffmatrix eingebettet sind und ein ähnliches E-Modul wie das Dentin aufweisen (Ottl et al. 2002). Allerdings ist bei diesen Stiften die Materialfestigkeit deutlich herabgesetzt (Sidoli et al. 1997).

Wurzelstifte sollen aber vorrangig eine ausreichende Verankerung für den Stumpfaufbau mitsamt zugehöriger Restauration bieten und nicht die Festigkeit des Zahnes steigern (Cohen et al. 2000; Guzy et al. 1979).

Misserfolge von stiftverankerten Restaurationen lassen sich nach Lewis & Smith (1988) im Wesentlichen in Retentionsverlust des Stiftes, Bruch des Stiftes und Fraktur des Zahnes gliedern. Somit ist eine stabile Verankerung des Wurzelstiftes im Wurzelkanal als wichtiges Kriterium für den dauerhaften Erfolg der Restauration anzusehen (Mentink et al. 1993; Johnson & Sakumura 1978).

Untersuchungen haben bewiesen, dass die Retention des Wurzelkanals von Stiftlänge, Stiftform, Stiftmaterial und Oberflächenbeschaffenheit sowie von der Art des verwendeten Befestigungsmaterials abhängig ist (Standlee et al. 1978; Johnson & Sakumura 1978).

2.6.1 Stiftlänge

Viele Untersuchungen verweisen auf die direkte Abhängigkeit der Retention des Wurzelstiftes von der Stiftlänge (Cooney et al. 1986; Nergiz et al. 2002; Standlee et al. 1978).

Daraus resultiert, das sich die Retention mit steigender Stiftlänge erhöht. Die Forderung vieler Autoren nach einer optimalen Stiftlänge führte zu der Empfehlung, dass diese 2/3 der Wurzellänge betragen oder zumindest gleich lang wie die künstlichen Krone sein sollte (Sorensen & Martinoff 1984).
In-vitro-Versuche mit hohen Belastungen zeigten aber auch, dass eine zunehmende Länge des Wurzelstiftes wiederum das Risiko einer Schwächung des Zahnes im apikalen Wurzeldrittel birgt (Attin et al. 1994). Daher empfehlen andere Autoren, dass die Stiftlänge der Kronenlänge entsprechen soll, um das günstige Verhältnis Kraftarm = Lastarm zu erreichen (Kantor & Pines 1983).

2.6.2 Stiftdimension

Der Durchmesser des Stiftes führt im Gegensatz zur Stiftlänge zu keiner nennenswerten Erhöhung der Retention und spielt eine eher unbedeutende Rolle (Standlee et al. 1978). Die Wahl eines größeren Stiftes macht einen größeren Dentinabtrag zur Aufnahme des Stiftes notwendig und resultiert unweigerlich zu einer Schwächung der Wurzel durch Substanzverlust (Johnson & Sakumura 1978). Zur Vermeidung einer Wurzelschwächung oder Perforation des Kanalbettes durch unnötig hohen Substanzabtrag (Standlee et al. 1980) soll der Stiftdurchmesser 1/3 des Wurzeldurchmessers an keiner Stelle überschreiten (Goodacre & Spolnik 1995).

2.6.3 Stiftform und Oberflächenbeschaffenheit

Das Design der Wurzelstifte kann sehr unterschiedlich sein. Grundsätzlich lassen sich die Systeme aber in Stifte mit aktiver und passiver Retention einteilen.
So werden die erstgenannten Systeme in Form von Schrauben angeboten, die in das präparierte Kanalbett eingedreht werden und durch ihren aktiven Halt hohe Retentionskräfte erzielen (Cohen et al. 1996; Deutsch et al. 1985; Standlee et al. 1978, 1980). Die aktiven Schrauben erzeugen aber im Vergleich zu den passiven Systemen unerwünschte Spannungen sowohl beim Einsetzen in die Zahnwurzel als auch bei Kaubelastungen (Standlee et al. 1972, 1980, 1982).

Die Retention passiver Stiftsysteme hingegen ist ausschließlich von der Art des verwendeten Befestigungsmaterials abhängig und fällt im Vergleich zu den aktiven Schrauben deutlich geringer aus (Standlee et al. 1978). Man unterscheidet drei Grundformen:

- zylindrische Stifte
- konische Stifte
- zylindrisch-konische Stifte

Die erstgenannte Form sind parallelwandige Stifte, deren Oberfläche aufgeraut, gesandstrahlt, oder mit Retentionsrillen ähnlich einer Schraube versehen sein können. Sie weisen von allen oben genannten Formen grundsätzlich die höchsten Haftwerte auf (Standlee et al. 1978; Cohen et al. 2000). Beim Einsatz zylindrischer Stifte muss aber bei der Präparation des Kanalbettes eine größere Materialschwächung im Bereich des apikalen Wurzeldrittels berücksichtigt werden. Die Folge können Wurzelperforationen oder Zahnfrakturen sein (Weine et al. 1991). Als weiterer Nachteil der parallelwandigen Stiftform ist ein erschwerter Zementabfluss beim Einsetzen des Stiftes in das Kanalbett zu nennen.
Will man die genannten Risiken minimieren, kann der Einsatz konischer Stiftsysteme sinnvoll sein. Ihr Design ist an die natürliche Form der Zahnwurzel angelehnt und erlaubt somit eine apikal schonendere Präparation. Die Retentionskraft fällt im Vergleich zu den zylindrischen oder zylindrisch-konischen Systemen bei gleicher Oberflächenbeschaffenheit jedoch geringer aus (Ruemping et al. 1979, Standlee et al. 1978). Diese kann aber durch Vorbehandlung der Stiftoberfläche verdoppelt bis verdreifacht werden, wenn die Oberfläche sandgestrahlt oder durch mechanische Vorkonturierung verändert wird (Nergiz et al. 1997). Der Zementabfluss gestaltet sich bei der konischen Form günstiger als bei den zylindrischen Stiften, da hier in der Endphase der Einsetzbewegung Zementüberschüsse leichter aus dem Kanal herausgedrückt werden und der Einschluss von Luftblasen im Befestigungsmaterial vermieden werden kann.
Trotz der geringeren retentiven Eigenschaften der konischen Wurzelstifte im Vergleich zu den anderen passiven Stiftsystemen und Schrauben haben sich diese durch Empfehlung zahlreicher Autoren im allgemeinen aber durchgesetzt, nicht zuletzt wegen ihres anatomisch-morphologischen Designs, einer schnellen Erzielung größtmöglicher Passgenauigkeit und ihrer klinischen Bewährung (Strub et al. 1994; Weine et al. 1991).
Um die Vorteile einer schonenden Stiftbettpräparation mit denen hoher Haftwerte zu kombinieren, wurden zylindrisch-konische Stifte entwickelt, deren Form im unteren Drittel in ein konisches Design übergeht. Sie gewährleisten neben relativ guten retentiven

Eigenschaften eine zahnhartsubstanzschonende Präparation des Stiftbettes (Cooney et al. 1986).

2.6.4 Stiftmaterial

Zur Restaurierung endodontisch behandelter Zähne werden seit langem metallische Wurzelstifte aus hochgoldhaltigen Legierungen, Edelstahl und Titan als Standardversorgung eingesetzt (Shillingburg 1982). Diese führen jedoch vor allem unter vollkeramischen Kronen im Frontzahnbereich zu ästhetischen Einbußen, da die lichtundurchlässigen Metallstifte die Tranzluzenz der Zahnkronen und –wurzeln vermindern oder sogar hindurch scheinen (Kwiatkowski et al. 1989). Einen weiteren Nachteil metallischer Wurzelstifte stellt die Korrosionsgefahr unter den die Korrosion begünstigenden Verhältnissen des Wurzelkanals dar. Korrosionsprodukte können Verfärbungen der Zahnwurzel sowie der umliegenden Gingiva verursachen (Riedling 1988; Wirz 1982). In diesem Zusammenhang muss auch die verbreitete Ablehnung von Metallen im Mund genannt werden und zwar unabhängig davon, ob sie auf irrationalen Vorstellungen oder realen Problem beruht (Naumann & Blankenstein 2002).

Um die Nachteile metallischer Wurzelstifte zu umgehen, wurde zunächst die Anwendung metallfreier Wurzelstifte aus Glas- und Aluminiumoxidkeramiken beschrieben (Kern 1991, Pissis 1995). Aus Festigkeitsgründen sind in den letzten Jahren endodontische Stifte aus Zirkonoxidkeramik in der Zahnmedizin eingeführt worden, die etwa die sechsfache Biegefestigkeit von Glaskeramiken bzw. die doppelte Biegefestigkeit von Aluminiumoxidkeramiken aufweisen (Lüthy et al. 1993; Meyenberg et al. 1995; Simon 1995).

Daneben wurden unter Beachtung der speziellen Biodynamik des Kronen-Wurzel-Komplexes faserverstärkte Stifte entwickelt, deren Fasern über eine Kunststoffmatrix miteinander verklebt werden. Als Fasermaterial dienen hierzu Karbon oder Silikat (Bateman, Ricketts & Saunders 2003). Diese haben den Vorteil dentinähnlicher Eigenschaften aufgrund eines nahezu gleichen Elastizitätmoduls und konnten sich bislang in klinischen Studien bewähren. Im Falle von Komplikationen ermöglichen faserverstärkte Wurzelkanalstifte einer leichte Revidierbarkeit des zementierten Stiftes (de Rijk 2000; Mannocci et al. 1999; Rosentritt et al. 2000). Dennoch empfehlen einige Autoren ihre Anwendung bislang nur bei teilzerstörten Zähnen (Frederiksson et al. 1998; Huber et al. 2002; Naumann 2002; Pfeiffer 2002).

Als weitere nichtmetallische Alternative stehen dem zahnärztlichen Behandler noch Stifte aus Kunststofffasern (Dietschi et al. 1997; Rosentritt et al. 2000) und Karbonfasern zur Verfügung (Frederiksson et al. 1998; King et al. 1990; Martinez-Insua et al. 1998).

2.6.5 Befestigungsmaterial

Bei der Befestigung von Wurzelkanalstiften mit Zementen treten Kräfte mechanischer und chemisch-physikalischer Natur auf, welche die Retention der Stifte im Wurzelkanal maßgeblich beeinflussen.
Der mechanische Haftverbund wird ausschließlich durch makro- und mikroskopische Verzahnungen des Befestigungsmaterials mit der Oberfläche von Kanalwand und Wurzelstift hervorgerufen.
Während bei den konventionellen Zinkoxidphosphat- und Glasionomerzementen die Stiftretention allein durch Makroverzahnung erzielt wird, basieren im Gegensatz dazu die Kompositzemente auf einem mikromechanischen Verankerungsprinzip durch Adhäsion an mikroskopischen Oberflächenstrukturen des Wurzelkanaldentins (Hellwig et al. 1999b).
Um den mikromechanischen Haftverbund vollständig ausnutzen zu können, müssen die entsprechenden Dentinoberflächen einer Vorbehandlung unterzogen werden. Nach Konditionierung des Dentins mit sauren Substanzen erfolgt die Verwendung von Dentinhaftvermittlern in Verbindung mit niedrig viskösen Kompositen, um eine möglichst optimale Adhäsion des jeweiligen Kompositzementes zu erreichen. Neuartige Adhäsivsysteme ohne separate Dentinätzung basieren auf der einmaligen Applikation eines sauren Primer-Adhäsiv-Gemisches auf die Dentinoberfläche. Die auf diese Art entstandene Hybridschicht ermöglicht eine adäquate Anhaftung des Kompositzementes an der Zahnhartsubstanz.
Von Caughman et al. wurde 1992 der Vorschlag gemacht, dual aushärtende Komposite für das Setzen von Stiften zu verwenden, um die Vorteile sowohl von chemisch als auch photooptisch aushärtenden Kompositen zu nutzen. Danach müsste sich das ideale Komposit an den Grenzflächen zum Dentin wie lichthärtendes Komposit verhalten und sollte zudem an lichtexponierten Stellen den gleichen Polymerisationsgrad aufweisen wie an Stellen, zu denen das Licht nicht vordringt. Die Konversionsrate (chemische Stoffumwandlung) liegt höher, da erstens ein addierender Effekt beider Systeme besteht und zweitens durch die geringere Viskosität freie Radikale im Gemisch besser diffundieren können (Caughman et al. 2001).

Ein chemischer Haftverbund wird ermöglicht, wenn zwei Substanzen auf molekularer Ebene miteinander zu einer Verbindung reagieren. Diese können auf gegenseitiger Wechselwirkung der Ionen eines Moleküls oder auf Wasserstoffbrückenbindungen basieren. Zudem sind kovalente Verbindungen der Atome untereinander vorstellbar.
Eine chemische Verbindung von Kompositmaterialien an Oberflächenschichten der Zahnhartsubstanz konnte bislang nicht nachgewiesen werden (Hellwig et al. 1999b). Diese Eigenschaft wurde aber bei den Glasionomerzementen beobachtet. Die Carboxylgruppen der Polyacrylsäure dieser Zemente gehen kovalente und ionische Bindungen mit anorganischen Molekülstrukturen der Schmelz- und Dentinoberfläche ein (Kent & Wilson 1973).

Die unüberschaubare Anzahl unterschiedlicher Befestigungszemente führte zu zahlreichen Untersuchungen bezüglich des Retentionsverhaltens von Wurzelstiftsystemen in Abhängigkeit von der verwendeten Zementart. Bei diesen Untersuchungen wurden zumeist Zinkoxidphosphatzemente, Glasionomerzemente und Kompositzemente auf ihre Eigenschaften als Befestigungsmaterial geprüft.
Aufgrund der höher einzustufenden mikroretentiven Eigenschaften von Kompositzementen an Oberflächenstrukturen der Zahnhartsubstanz und damit theoretisch höheren Haftwerte konnten in praktischen Versuchen zahlreicher Autoren einerseits bestätigt werden (Assif et al. 1982; Duncan et al. 1998; Goldman et al. 1984; Standlee et al. 1992). Andere Studien haben aber auch gezeigt, dass die Verwendung von Kompositzementen die Haftkraft von Wurzelstiftsystemen nicht signifikant erhöht. Hier wurden im Vergleich mit den konventionellen Befestigungsmaterialien z.T. sogar geringere Retentionswerte erzielt (Chapman et al. 1985; Mendoza et al. 1994; Radke et al. 1988; Wood 1983).
Weiterhin wird diskutiert, ob die Komposite eine Pufferfunktion der Kleberschicht aufweisen, die die unterschiedlichen E-Module zwischen Stift und Dentin ausgleicht und der Gefahr von Wurzelfrakturen vermindert sowie einer bakterielle Invasion entlang des Stiftes entgegenwirkt (Mendoza et al. 1997, Stiefenhofer et al. 1994).

2.6.6 Befestigungsmethoden

Grundsätzlich soll die Oberfläche des Wurzelstiftes vor dem Einsetzen mit eine hochprozentigen Alkohohollösung gereinigt und entfettet werden. Für die Applikation des entsprechenden Zementes gibt es verschiedene Vorstellungen:

Bei der einfachsten Methode wird der Zement gleichmäßig auf die zuvor gesäuberte Stiftoberfläche verteilt und der benetzte Stift unmittelbar in den Wurzelkanal eingesetzt. Diese Bewegung soll unter geringen Rotations- und Pumpbewegungen stattfinden, um Lufteinschlüsse zwischen Kanal- und Stiftoberfläche zu vermeiden.
Eine andere Befestigungsmethode sieht die direkte Applikation des Zementes mit Lentulo-Förderspiralen oder ähnlichen Hilfsmitteln in den vorbereiteten Wurzelkanal vor. Anschließend wird der Stift in den Kanal eingesetzt.
Studien haben gezeigt, dass der Einsatz eines Lentulos das Befestigungsmaterial im Kanalbett gleichmäßig und blasenfrei verteilen kann, die Retentionskraft aber durch diese Anwendungstechnik nicht erhöht wird (Goldstein et al. 1986). Die Anwendung eines Lentulos birgt zudem die Gefahr einer raschen Aushärtung des Zementes durch zusätzliches schnelles Durchmischen des Befestigungsmaterials bei der Applikation in das Kanallumen. Dadurch kann die Verarbeitungszeit erheblich verkürzt werden.
Nicht alle Befestigungsmaterialien eignen sich aufgrund ihrer Viskosität für den Einsatz von Förderspiralen. Somit stellt die direkte Applikation des Zementes auf die Stiftoberfläche eine einfache und für den ungeübten Behandler zudem sichere Befestigungsmethode dar.

2.7 Ziel dieser Untersuchung

In dieser Studie wurde das Retentionsverhalten zweier verschiedener Wurzelstiftmaterialien eines halbkonfektionierten Stiftsystems in Abhängigkeit von vier dualhärtenden Kompositzementen und Vorbehandlungtechniken in axialen Zugversuchen untersucht. Um den Einfluss des jeweiligen Befestigungszementes und der Vorbehandlung auf das Abzugsverhalten zu prüfen, wurden jeweils abgestrahlte und nicht abgestrahlte Wurzelstifte mit den Befestigungsmaterialien kombiniert und in den Wurzeln extrahierter, menschlicher Front- und Seitenzähne befestigt. Danach wurden die gewonnenen Proben in einer Universalprüfmaschine axialen Zugkräften ausgesetzt und die dabei gemessene Abzugskraft (in Newton [N]) als maßgeblich für den jeweiligen Halt des Systems im Wurzelkanal bewertet.

3.0 Material und Methode

3.1 Materialien

3.1.1 Versuchszähne

Bei der Durchführung der Versuche wurden 120 menschliche Frontzähne sowie Prämolaren verwendet. Die Zähne sind direkt nach der Extraktion in eine 0,9 % Kochsalzlösung gelegt und bei Zimmertemperatur gelagert worden. Alle Zähne waren im Wurzel- und Wurzelkanalbereich kariesfrei und wurden auf Wurzelfrakturen untersucht. Weitere Auswahlkriterien waren ein abgeschlossenes Wurzelwachstum sowie die Vorraussetzung, dass alle Zähne nicht endodontisch vorbehandelt waren. Keine Berücksichtigung fand der Zustand der Zahnkrone.

3.1.2 Verwendete Lösungen

3.1.2.1 Kochsalzlösung

Die 0,9% Natriumchloridlösung wurde als Lagerungsmedium für die extrahierten Zähne verwendet.

3.1.2.2 Chlorhexidin (Block Drug Company inc., Hilden, D)

Als Bisbiguanid gelangt Chlorhexidin vor allem wegen seiner bakteriziden und damit desinfizierenden Eigenschaften in der Endodontie zum Einsatz. Die 0,1 % Wurzelkanalspüllösung enthält:

- Chlorhexidingluconat
- Macrogol-Glycerolhydroxystearat
- Cochenillrot A (E 124)
- Aromasubstanzen
- Ethanol
- Glycerol
- Aromasubstanzen
- gereinigtes Wasser

3.1.2.3. Natriumhypochlorid

Diese 1%ige Lösung mit desinfizierenden Eigenschaften dient der Kanalreinigung und Keimreduzierung durch Aufschäumen. Zudem löst NaOCl durch Aufbereitung entstandene Dentinverblockungen im Wurzelkanal. 1000 ml Lösung enthalten:

- 10,5 g NaOCl
- gereinigtes Wasser

3.1.3 Verwendete Wurzelkanalinstrumente und endodontische Füllungsmaterialien

Für die endodontische Behandlung der Versuchszähne wurden nachfolgende Materialien verwendet:

- endodontische K-Feilen (VDW, München, D)
- endodontische Hedström-Feilen (VDW, München, D)
- endodontische Spreader (VDW, München, D)
- endodontische Papierspitzen (VDW, München, D)
- endodontische Guttaperchastifte (VDW, München, D)
- AH-Plus ™ Sealer (Dentsply DeTrey, Konstanz, D)

3.1.3.1 AH Plus ™ Sealer (Dentsply DeTrey, Konstanz, D)

AH Plus ™ Sealer ist ein auf Epoxid-Amin-Polymer basierendes Zweikomponenten-Wurzelkanalfüllmaterial und wird in der Endodontie in Verbindung mit Guttaperchastiften verwendet.

Die Basispaste enthält:

- Epoxydharz
- Kalziumwolframat
- Zirkoniumoxid
- Aerosil
- Eisenoxid

Die Katalysatorpaste enthält:

- Amine
- Kalziumwolframat
- Zirkoniumoxid
- Aerosil
- Silikonöl

3.1.3.2 Guttaperchastifte (Roeko, Langenau, D)

Die normierten Guttaperchastifte gelangen als Wurzelkanalfüllmaterial zum Einsatz und bestehen aus folgenden Grundstoffen:

- Guttapercha
- Zinkoxyd
- Bariumsulfat
- Farbstoffe

3.1.4 Verwendete endodontische Stifte

Für die Versuche kam das Erlanger Wurzelaufbausystem, kurz als ER-System bezeichnet (Komet, Lemgo, D), mit folgenden Wurzelstiften mittlerer Radiusstärke zum Einsatz:

- ER-Cerapost
- ER-Dentinpost

Das System ist gekennzeichnet durch die exakte Abstimmung von Kanalerweiterern und Wurzelstiften und ermöglicht damit die Formschlüssigkeit von Stift und Kanal. Erweiterer und Stifte sind jeweils farbcodiert.
Den beiden verwendeten Wurzelstiften ist die konische Form mit einem Steigungswinkel von 2,1 °, eine Schaftlänge von 12mm und ISO-Größe 90 gemeinsam. Sie werden vom Hersteller für den zahnfarbenen Aufbau empfohlen.

3.1.4.1 ER-Cerapost (Komet, Lemgo, D)

Dieser Wurzelkanalstift besteht aus 5 % Yttriumoxid teilstabilisierter Zirkoniumoxidkeramik mit folgender Zusammensetzung:

- ZrO_2 (> 94 %)
- Y_2O_3 (5,15 %)
- Al_2O_3 (< 0,1 %)
- SiO_2 (< 0,02 %)
- Fe_2O_3 (< 0,01%)
- Na_2O_3 (< 0,04%)

Abb. 1: ER-Cerapost

3.1.4.2 ER-Dentinpost (Komet, Lemgo, D)

Der ER-Dentinpost ist ein zahnfarbener Wurzelstift aus glasfaserverstärktem Komposit und aufgrund des Elastizitätsmoduls von 30 GPa den Eigenschaften des Dentins sehr ähnlich. Die in der Matrix eingebetteten Glasfasern haben einen Durchmesser von 13,5 µm. Seine Zusammensetzung stellt sich folgendermaßen dar:

- Epoxidharz (35 %)
- Glasfaser (65 %)

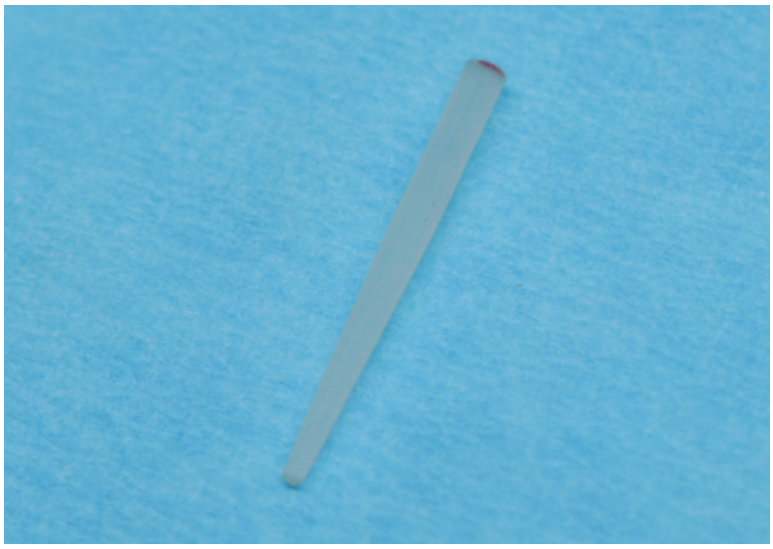

Abb. 2: ER-Dentinpost

3.1.5 Angewandte Befestigungsmaterialien

Allen angewandten Befestigungsmaterialien ist die Komposit – Basis sowie das duale (chemische und photooptische) Aushärtungsprinzip gemeinsam.

3.1.5.1 Panavia™ F 2.0 (Kuraray, Japan)

Panavia™ F 2.0 ist ein fluoridfreisetzender, dualhärtender Befestigungszement auf Kompositbasis. Das System beruht auf alleiniger Verwendung des ED-Primers zur Vorbehandlung der Dentinoberfläche ohne separates Konditionieren mit sauren Substanzen. Laut Herstellerangaben bietet Panavia ™ F 2.0 ein breites Anwendungsspektrum. Demnach eignet sich dieses Material u.a. für die Befestigung von endodontischen Stiften aller Art, Kronen und Brücken aus Edelmetall- und Nichtedelmetalllegierungen sowie vollkeramischer Kronen und Einlagefüllungen. Panavia ™ F 2.0 enthält folgende Komponenten:

ED Primer 2.0, ein aus Flüssigkeit A (4 ml) und B (4 ml) bestehender selbstkonditionierender Dentinhaftvermittler, setzt sich wie folgt zusammen:

- Hydroxyethylmethacrylat (HEMA)
- 10-Methacryloyloxydecyldihydrogenphosphat (MDP)
- N-methacryloxy-5-aminosalicylat
- N,N-Diethanol-p-toluidin
- destilliertes Wasser

Panavia ™ F 2.0 Paste ist ein chemisch und lichthärtendes Zementsystem auf Kompositbasis. Es besteht aus Paste A (2,3 ml) und Paste B (2,3 ml). Die Pasten enthalten:

- Silanisiertes Bariumglaspulver
- Silanisierte Titaniumdioxide
- N,N-Diethanol-p-toluidine
- Natriumfluorid
- Farbstoffe
- 2,2-Bis[methacryloxy(poly)ethoxyphenyl]propan
- Silanisiertes α-Quartzpulver
- Neopenthylglycol-dimethacrylat
- Triethanolamine
- Polimerisationsinhibitoren
- Stabilisatoren

- 10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogen-phosphat
- 1,2-Bis(3-methacryloxy-2-hydroxypropoxy)ethan
- 2,4,6-Trimethylbenzoyl-diphenyl-phosphinoxide

Das Oxyguard II – Glyzeringel wird nach Herstellerangaben zur Vermeidung von Sauerstoffzutritt auf die Verbundflächen appliziert. Es besteht aus

- Polyethylenglycol
- Glyzerin

3.1.5.2 RelyX^{TM} Unicem (3M Espe, Deutschland)

RelyX^{TM} Unicem ist ein selbstadhäsiver dualhärtender Befestigungszement, der neben den Eigenschaften der konventionellen Zemente auch die von adhäsiven Befestigungsmaterialien aufweist. Die Anwendung von RelyX^{TM} Unicem benötigt keine Vorbehandlungsschritte wie das Konditionieren der Dentinoberfläche und die nachfolgende Verwendung eines Primers und/oder Bondings.
Der Hersteller empfiehlt RelyX^{TM} Unicem zur Befestigung von Einlagefüllungen, Onlays, Kronen und Brücken sowie Wurzelstiften aus Metall, Keramik und Composite (inklusive glasfaser- und kohlefaserverstärkter Stifte). Der Zement gibt zudem Fluoridionen an das umliegende Gewebe ab.

RelyX^{TM} Unicem ist ein Pulver/Flüssigkeitssystem, welches in den Kapseln Aplicap und Maxicap angeboten wird und besteht chemisch aus folgenden Komponenten:

Die Flüssigkeit enthält

- Methacrylierter Phosphorsäureester
- Dimethacrylat
- Acetat
- Stabilisator
- Initiator
- Peroxo-Verbindungen

Das Pulver enthält

- Glaspulver (silanisiert)
- Initiator
- Kieselsäure (silanisiert)
- Subst. Pyrimidin
- Calziumhydroxid
- Pigmente

3.1.5.3 Nexus 2® (Kerr Company, USA)

Nexus 2® ist ein dualhärtender Kompositzement auf Basis der klassischen Anwendung von Ätzgel und Bonding und eignet sich laut Hersteller zur Befestigung sämtlicher restaurativer Versorgungen einschließlich Wurzelstifte.
Das Nexus 2® - Haftvermittler-System: OptiBond Solo Plus

OptiBond Solo Plus ist ein Einkomponentenadhäsiv zur direkten und indirekten Applikation und zu 15% mit 0,4µ großen Mikropartikeln gefüllt.

- Bis-phenol-A-bis-(2-hydroxy-3-methacryloxypropyl)ether
- 2-Hydroxyethylmethacrylat
- Glyceroldmethacrylat
- Glycerolphosphat-Dimethacrylat
- Ehanol
- *Gamma*-Methacryloxypropyltrimetoxysilane
- Bariumaluminiumborsilikat

Nexus 2® Basispaste und Katalysator beinhalten folgende Komponenten:

- Ethoxy-bis-phenol-A-dimethacrylat
- Urethandimethacrylat
- Strontiumhexafluorsilikat
- Hydroxyethylmethacrylat
- Bariumaluminiumborsilikat
- Zinkhexafluorsilikat
- Bis-phenol-A-bis-(2-hydroxy-3-methacryloxypropyl)ether
- Triethylenglycoldimethacrylat

Der Nexus 2® Silane Primer:

- Ethoxy-bis-phenol-A-dimethacrylat
- Triethylenglycol-Dimethacrylat
- Bis-phenol-A-bis-(2-hydroxy-3-methacryloxypropyl)ether

Das Nexus 2® -Try-in-Gel dient laut Hersteller zur Vermeidung von Sauerstoffzutritt auf die Verbundflächen. Es setzt sich wie folgt zusammen:

- 1,2,3-Trihydroxypropan
- Bariumaluminiumborsilikat
- Silikondioxid

3.1.5.4 Bifix QM® (Voco, Cuxhaven)

Bifix QM® ist ebenfalls ein dualhärtendes Befestigungssystem auf Kompositbasis und beruht wie Nexus® auf der Anwendung von Ätzgel. Der Indikationsbereich umfasst die Befestigung von Inlays, Onlays, Facetten, Veneers, (Teil-) Kronen, Brücken und Stiftverankerungen.
Das Befestigungssystem Bifix QM® setzt sich aus dem Dentinhaftvermittler Solobond plus sowie der eigentlichen Applikationspaste zusammen.

Solobond plus ist ein Haftvermittlersystem bestehend aus Primer und Adhäsiv.

Primer

- Maleinsäure Methacrylate
- Methacrylate (HEMA u.a.)
- funktionelle Monomere
- Natriumfluorid
- Lösungsmittel Wasser/Aceton

Adhäsiv

- (HEMA u.a.)
- polyfunktionelle Monomere
- Initiatoren
- Inhibitoren
- Lösungsmittel Aceton

Bifix QM® Basispaste und Katalysator enthalten:

- Bisphenol-A-(di)methacrylat
- Initiatoren
- Pigmente
- Silikatfüller
- Stabilisatoren

3.2 Methode

3.2.1 Probenvorbereitung

Die Versuchszähne wurden zunächst an der Schmelz-Zement-Grenze mit einem FG-Winkelstück bei 120 000 Umdrehungen/min. unter kontinuierlicher Wasserkühlung getrennt. Die abgetrennte Wurzel wurde anschließend auf Kariesfreiheit untersucht und dann endodontisch aufbereitet. Jeder Wurzelkanal wurde mit den o.g. Instrumenten nach Stepp-Back-Technik bearbeitet. Die apikale Masterfeile betrug IS0-Größe 40 und reichte bis zum physiologischen Wurzelapex, die Finalfeile betrug ISO-Größe 55. Während der Behandlung wurde der Kanal abwechselnd mit CHX und 1%iger NaOCl-Lösung gespült. Nach vollständiger Aufbereitung und Trocknung des Kanals mittels Papierspitzen wurde die Wurzelfüllung mit Guttaperchastiften und Sealer in lateraler Kondensationstechnik ausgeführt. Anschließend wurden die behandelten Zahnwurzeln wieder in einer 0,9%igen Kochsalzlösung aufbewahrt.

3.2.2 Probenherstellung

Die endodontisch behandelte Wurzel wurde zu Versuchsbeginn aus der Kochsalzlösung entnommen. In sämtlichen Versuchsreihen wurde bei allen Proben mit einem Pilotbohrer des ER-Systems-Systems (Komet, Germany) nach Herstellerangaben die Wurzelfüllung im koronalen Wurzelanteil entfernt. Danach erfolgte die zum Stift passgenaue Bohrung des Wurzelkanals, wobei die Aufbereitungslänge per Bohrer jeweils genau 10 mm betrug. Die Kanalpräparation wurde bei 400 Umdrehungen/min. unter leichtem Druck und ständiger Kontrolle der Passgenauigkeit durchgeführt. Anschließend wurde die Innenwand des Wurzelkanals mit einem passgenauen Aufrauhinstrument von Dentinverblockungen gereinigt und damit gleichzeitig die Kanaloberfläche makroskopisch aufgeraut. Während der Kanalpräparation wurde abwechselnd mit CHX und NaOCl gespült und der Kanal zuletzt mit Papierspitzen getrocknet.

Nun wurden die in 70%igem Ethanol gereinigten Stifte nach Herstellerangaben zementiert.

3.2.3 Versuchsgruppeneinteilung

Eine Übersicht über die Einteilung der Versuchsgruppen gibt die nachstehende Tabelle:

	Stiftmaterial		
Dualzement	**Er-Cerapost** ► nicht gestrahlt	**Er-Cerapost** ► abgestrahlt	**ER-Dentinpost** ► nicht gestrahlt
Panavia™ F 2.0	**1**	**5**	**9**
RelyX™ Unicem	**2**	**6**	**10**
Bifix QM®	**3**	**7**	**11**
Nexus 2®	**4**	**8**	**12**

Tabelle 1: Einteilung der Versuchsgruppen

3.2.4 Applikation

3.2.4.1 Panavia™ F 2.0

Die Befestigung des jeweiligen Wurzelstiftes mit Panavia™ F 2.0 wurde nach Herstellerangaben folgendermaßen durchgeführt:

Zuerst wurde der ED Primer aus Flüssigkeit A und B im Verhältnis 1:1 gemischt und mit einem Pinsel (Kuraray, Japan) in den Wurzelkanal für 30 sec. einmassiert. Überschüsse wurden mit Papierspitzen aufgesaugt und der Kanal anschließend mit ölfreier Luft getrocknet. Danach wurden die gleichen Mengen der Paste A und B der Befestigungszementes vermischt und gleichmäßig auf den Stift appliziert. Anschließend wurde der Wurzelstift mit pumpenden Bewegungen in den Wurzelkanal eingesetzt und Überschüsse mit einem Schaumstoffpellet

entfernt. Zur Vermeidung einer unvollständigen Polymerisation durch Luftsauerstoff erfolgte nach Herstellerangaben die Applikation des Oxyguard II (Kuraray, Japan). Zuletzt wurden die Proben für 20 sec. lichtgehärtet (Optilux 401, Kerr, Karlsruhe, D).

3.2.4.2 RelyX™ Unicem

RelyX™ Unicem wurde nach Herstellerangaben wie folgt mit der entsprechenden Probe angewendet:

Zur Aktivierung der Kapseln mit dem Befestigungszement RelyX™ Unicem wurden diese zuerst in den Aplikap Aktivator (3M Espe, D) eingelegt, der Aktivatorhebel heruntergedrückt und dieser für 2 sec. gedrückt gehalten. Anschließend folgte das Mischen der aktivierten Kapsel für 10 sec. im Hochfrequenzmischgerät (SED, Germany) bei 4300 Schwingungen pro Minute. Nach dem Mischen wurde der Zement mit dem Aplicap Applier (3M Espe, D) gleichmäßig auf den Wurzelstift aufgetragen und der Stift danach in den trockenen Kanal mit pumpenden Bewegungen eingesetzt. Nach Überschussentfernung mit einem Schaumstoffpellet wurde die Probe dann für 20 sec. lichtgehärtet (Optilux 401, Kerr, Karlsruhe, D).

3.2.4.3 Nexus 2®

Nexus 2® wurde als Befestigungsmaterial für die Proben gemäß den Herstellerangaben wie folgt angewendet:

Zunächst wurde der präparierte Wurzelkanal nach Anleitung für 15 sec. mit 37 % Phosphorsäure konditioniert und anschließend mit einer endodontischen Spülkanüle mit gereinigtem Wasser gründlich ausgespült. Danach wurden die OptiBond Solo Plus Basisflüssigkeit und OptiBond Solo Plus Aktivatorflüssigkeit in dem zugehörigen Mischplättchen genau 3 sec. gemischt. Anschließend wurde die Flüssigkeit dünn auf den Wurzelstift aufgestrichen und für 3 sec. mit ölfreier Luft verblasen. Daneben wurde OptiBond Solo Plus für 15 sec. in den Wurzelkanal einmassiert, Überschüsse mit Papierspitzen aufgesaugt und ebenfalls für 3 sec. mit ölfreier Luft getrocknet. Im folgenden Schritt erfolgte

im Verhältnis 1:1 das Mischen der Nexus 2 Basis- und Katalysatorpaste für 10 – 20 sec. und die gleichmäßige Applikation der Paste auf den Wurzelstift. Anschließend wurde dieser mit rüttelnden Bewegungen in den Wurzelkanal eingesetzt, die Übeschüsse mit einem Schaumstoffpellet entfernt und die Probe für mindestens 40 sec. lichtgehärtet (Optilux 401, Kerr, Karlsruhe, D).

3.2.4.4 Bifix QM®

Die Befestigung der Proben mit Bifix QM® erfolgte laut Herstellerangaben mit folgenden Behandlungsschritten:

In Kombination mit den Cerapost-Stiften (Versuchsgruppen 3 und 7) wurde die Oberfläche des Wurzelstiftes vorab mit Keramikbond konditioniert. Hierzu wurde das Keramikbond mit einem Pinsel auf die Oberfläche des Stiftes aufgetragen und nach einer Einwirkzeit von 60 sec. mit ölfreier Luft getrocknet.
Die Proben aller Bifix QM®-Versuchsreihen wurden dann wie folgt für das Befestigungsmaterial vorbereitet:

Zunächst wurde der Wurzelkanal mit Vococid für 30 sec. separat angeätzt. Danach wurde der Kanal gründlich mit einer endodontischen Spülkanüle und gereinigtem Wasser ausgespült. Anschließend erfolgte das Einmassieren des Primers Solobond Plus mit einem Einwegpinsel für 30 sec. in die Dentinoberfläche des Wurzelkanals, Aufsaugen der Überschüsse und Trocknung mit ölfreier Luft. Als nächster Schritt wurde das Adhäsiv Solobond Plus in die Wurzelkanaloberfläche für 15 sec. eingearbeitet, danach mit ölfreier Luft verblasen und mit Halogenlicht für 20 sec. polymerisiert (Optilux 401, Kerr, Karlsruhe). Jetzt wurde die Katalysator- und Basispaste im Verhältnis 1:1 gemischt, danach gleichmäßig auf die Stiftoberfläche aufgetragen und der Wurzelstift mit einer Pumpbewegung in den Kanal eingesetzt. Zur Vermeidung von Polymerisationsbeeinträchtigungen durch Sauerstoffzutritt wurden gemäß den Anweisungen des Herstellers geringe Überschüsse an der Oberfläche belassen und die Probe zuletzt für 20 sec. lichtgehärtet (Optilux 401, Kerr, Karlsruhe, D).

Bis zum Versuchsbeginn nach 24 Stunden wurden alle Proben in einer 0,9 % Kochsalzlösung so platziert, dass nur die äußeren Flächen der Wurzel mit der Lösung benetzt waren.

3.2.5 Zugversuche

Um das Retentionsvermögen der Zementsysteme untereinander vergleichbar bestimmen zu können, wurde die Kraft (in Newton) gemessen, die aufgebracht werden muss, um den endodontischen Stift vollständig aus dem Wurzelkanal zu reißen. Die gemessene Abzugskraft ist maßgebend für die Haftkraft der Zementsysteme.

Alle Versuche wurden mit der Zugmaschine Zwick Z 007 (Zwick, Ulm, D) durchgeführt. Um eine parallel zum Stift erfolgende Zugrichtung auszuüben, wurden die Proben über eine selbstausrichtende Haltevorrichtung in der Maschine befestigt. Damit wurde gewährleistet, das die eingebettete Probe axial zur Einspannvorrichtung ausgerichtet wurde.

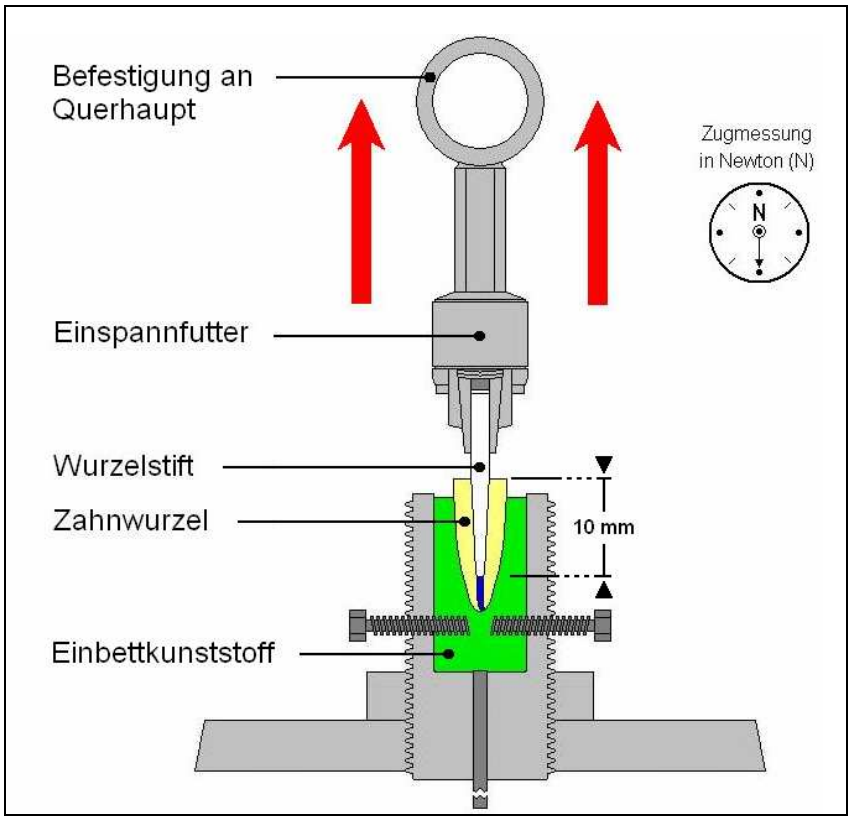

Abb. 3: Schema Versuchsaufbau

Die Zugmaschine besteht aus einem oberen beweglichen Teil (Traverse) und einem unteren unbeweglichen Teil, in dem die Versuchsproben eingebettet wurden.

Die Probe mit dem endodontischen Stift wurde vor der Messung in dem beweglichen Teil der Maschine über ein Einspannfutter befestigt. Anschließend wurde die Zahnwurzel in dem unteren unbeweglichen Teil der Zugapparatur in einer Schraubvorrichtung mit dem

technischen Heißpolymerisat Technovit 4071 (Heraeus Kulzer, Wehrheim, D) eingebettet. Nach der Aushärtung von Technovit 4071 konnte der Zugzyklus gestartet werden.
Während der Messung der Einzelprobe bewegte sich das per PC-Programm angesteuerte Querhaupt, an welchem die Probe mit dem endodontischen Stift über das Einspannfutter befestigt ist, mit einer Vortriebsgeschwindigkeit von 1mm/min. nach oben und übte somit eine Zugkraft auf die Probe aus.
Der angeschlossene PC registrierte die Kraft in N, die aufgebracht werden muss, um einen vollständigen Abriss des Stiftes aus dem Wurzelkanal zu erzielen.

Abb. 4: In der Zugmaschine Eingespannte Probe

Abb. 5: Vollständer Ausriss der Probe aus dem Wurzelkanal

3.2.6 Qualitative Analyse (REM-Bilder)

Für die qualitative Analyse wurden aus jeder Versuchsreihe zwei Proben im Rasterelektronenmikroskop SEM Hitachi auf Hinweise bezüglich Haftung und Verteilung der Zementschicht an Stift- und Dentinoberfläche des Kanallumens untersucht.
Zur Vorbereitung wurden die Proben nach der Zugprüfung von der Einbettmasse Technovit 4071 befreit und die Zahnwurzeln anschließend der Länge nach gespalten. Danach erfolgte

die Fixierung der Proben mit den jeweiligen Wurzelstiften auf einem Probenteller und das Besputtern mit einer dünnen Goldschicht von 30 nm Stärke (Sputter SCD 050, Balzer, Liechtenstein).
Neben Übersichtsaufnahmen in 15- bis 20facher Vergrößerung wurden Detailaufnahmen bis 500-facher Größe von der Zahnwurzel und dem zugehörigem Stift aus jeder Versuchsreihe angefertigt.

3.2.7 Statistische Auswertung

Die aus den Zugversuchen gewonnenen Daten wurden mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 12.1 ausgewertet. Die Überprüfung auf statistisch signifikante Unterschiede erfolgte mit der einfachen Varianzanalyse (ANOVA) in Verbindung mit dem Tukey`s Studentized-Range-Test und der Bonferronie-Holm-Korrektur.

4.0 Ergebnisse

Die axialen Abzugskräfte wurden mit der Universalprüfmaschine Zwick Z 007 (Zwick, Ulm, D) in allen Versuchsreihen gemessen. Die max. Abzugskraft wurde mit dem vollständigen Abriss des Stiftes aus dem Wurzelkanal definiert und als Verlust der Retention bewertet.
Die kompletten Ergebnisse für alle Proben fasst die nachfolgende Tabelle zusammen:

System	CP (NA)	CP (NA)	CP (NA)	CP (NA)	CP (A)	CP (A)	CP (A)	CP (A)	DP (NA)	DP (NA)	DP (NA)	DP (NA)
Zement	Panavia	RelyX	BifixQM	Nexus2	Panavia	RelyX	BifixQM	Nexus2	Panavia	RelyX	BifixQM	Nexus2
Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Probe	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]	Fmax. [N]
1	259,96	93,87	67,99	78,17	326.79	166,81	28,86	43,36	170,85	309,35	257,61	99,03
2	324,47	212,34	36,80	56,13	443,95	185,27	60,47	79,46	166,81	323,33	272,25	114,58
3	268,37	119,94	59,41	52,27	397.79	155,45	31,27	43,74	257,39	278,37	379,08	90,78
4	222,75	77,76	62,62	76,13	540,30	205,25	92,59	58,13	294,45	409,58	181,87	107,06
5	249,71	208,47	75,82	59,49	381,04	150,13	44,81	59,04	194,87	392,63	268,87	133,95
6	234,09	122,32	57,83	62,76	298,86	170,88	51,54	65,10	327,45	364,93	245,32	78,24
7	254,94	134,65	44,47	74,90	286,65	153,20	40,55	97,46	223,51	358,61	179,64	146,35
8	406,34	198,59	44,82	60,42	186,71	96,62	13,06	73,06	181,90	276,25	172,93	109,18
9	337,41	239,65	77,06	23,80	312,76	187,82	19,25	47,43	208,00	257,61	170,05	70,36
10	348,43	190,54	77,22	72,37	296,13	236,61	50,88	130,79	242,49	260,00	190,63	154,35
x	**290,47**	**159,81**	**60,37**	**74,49**	**417,97**	**170,83**	**42,48**	**69,76**	**233,61**	**323,26**	**245,65**	**110,46**
S	59,86	56,42	14,61	16,09	97,93	37,27	22,87	27,37	53,76	55,51	81,76	27,80
Max.	406,34	239,65	77,22	78,17	540,30	236,61	92,59	130,79	327,45	409,58	379,08	154,35
Min.	222,75	77,76	36,80	23,80	186,71	96,62	13,06	43,36	166,81	257,61	170,05	70,36

Tabelle 2: Versuchsergebnisse

CP (NA)	=	ungestrahlte ER-Cerapoststifte	S	=	Standardabweichung
CP (A)	=	abgestrahlte ER-Cerapoststifte	Max.	=	maximaler Haftwert
DP (NA)	=	ungestrahlte ER-Dentinpoststifte	Min.	=	minimaler Haftwert
x	=	arythmetischer Mittelwert			

4.1 Quantitative Analyse

Die durch die Zugversuche erzielten Ergebnisse zeigen sehr unterschiedliche Werte. Diese variieren sowohl zwischen den Befestigungszementen als auch zwischen den beiden Stiftmaterialien.

Mit einem arythmetischen Mittelwert von 417,97 N konnte in der Versuchsreihe der abgestrahlten ER-Cerapost-Stifte durch Befestigung mit dem Kompositzement Panavia™ F 2.0 der höchste in dieser Studie gemessene Retentionswert erreicht werden (Versuchsgruppe 5). Die geringste Haftkraft erzielte der Befestigungszement Bifix QM in Kombination mit dem durch Abstrahlten vorbehandelten ER-Cerapost in der Versuchsgruppe 7: Mit einem arythmetischen Mittelwert von 42,48 N wurde im Vergleich zur Versuchsgruppe 5 lediglich ca. 10 % der Haftkraft von Panavia™ F 2.0 mit diesem System erreicht.

Bei den nicht vorbehandelten Keramikstiften erreichte wiederum Panavia™ F 2.0 die höchsten Haftwerte. Hier wurde im Mittel 290,47 N durch das Befestigungsmaterial erzielt (Versuchsgruppe 1). Bifix QM erzielte mit 60,37 N im Mittel auch hier die geringste Retention, die Werte des Zementes Nexus 2 lagen mit einem Mittelwert von 74,49 N nur geringfügig darüber (Versuchsgruppe 3 und 4). Verglichen mit Panavia™ F 2.0, konnten diese beiden Materialien nur ca. 20 % der Haftkraft des o.g. Zementes aufbringen.

Anders verhält es sich in den Versuchsreihen mit den ER-Dentinpost-Wurzelstiften. Hier erzielte der Dualzement RelyX™ Unicem mit einem arythmetischen Mittelwert von 323,26 N die höchsten Haftwerte (Versuchsgruppe 10). Mit Werten von 233,61 N bzw. 245,65 N im Mittel erreichten die Dualzemente Panavia™ F 2.0 und Bifix QM noch ca. 75 % der Haftkraft von RelyX™ Unicem (Versuchsgruppen 9 und 11).

Die im Mittel niedrigste Retention der Fiberglassstifte zeigte die Anwendung mit dem Kompositzement Nexus 2: mit einem Mittelwert von 110,46 N vermochte dieses Befestigungsmaterial nur ca. 1/3 des Retentionsvermögens von RelyX™ Unicem aufzubringen.

Die Verteilung der Einzel- und Mittelwerte in den jeweiligen Versuchsgruppen sind nachfolgend in der Abbildung 6 dargestellt:

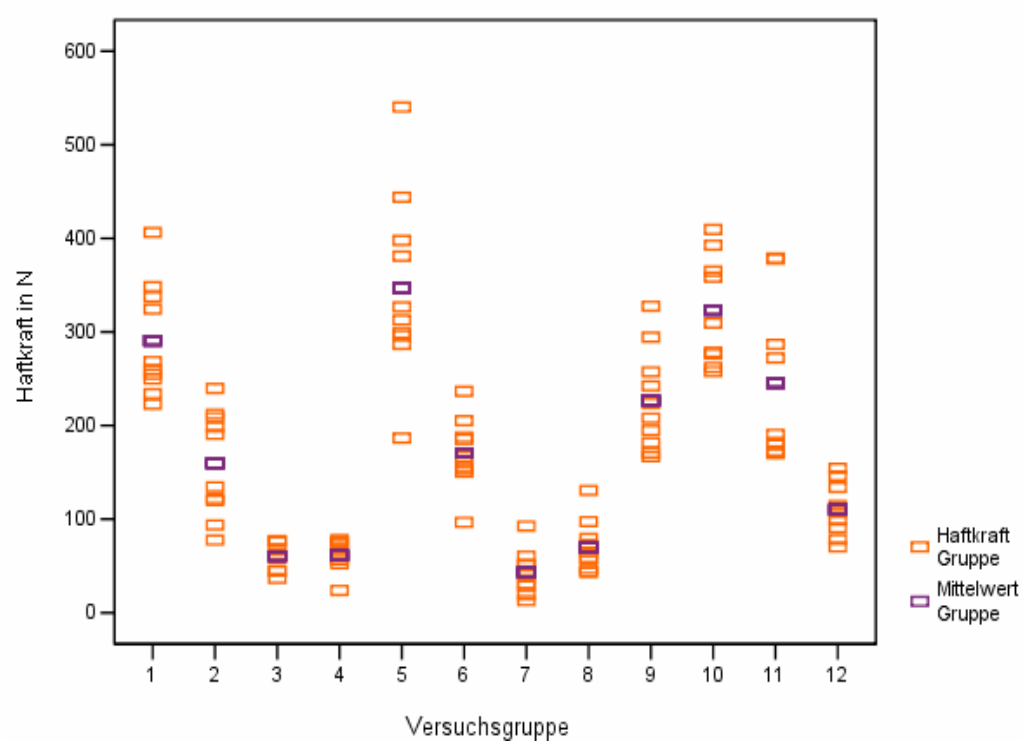

Abb. 6: Verteilung der Einzel- und Mittelwerte [N] in den Versuchsgruppen 1-12

4.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der einfachen Varianzanalyse des Tukey- und Bonferroni-Tests bei einem 95%-Konfidenzintervall.
Die Varianzanalyse erlaubte eine Überprüfung der in der Studie gewonnenen Ergebnisse durch Mehrfachvergleiche auf statistisch signifikante Unterschiede.

Abbildung 9 stellt zusammenfassend alle Werte für die maximale Abzugskraft sowie die errechnete Standardabweichung in den jeweiligen Versuchsgruppen dar:

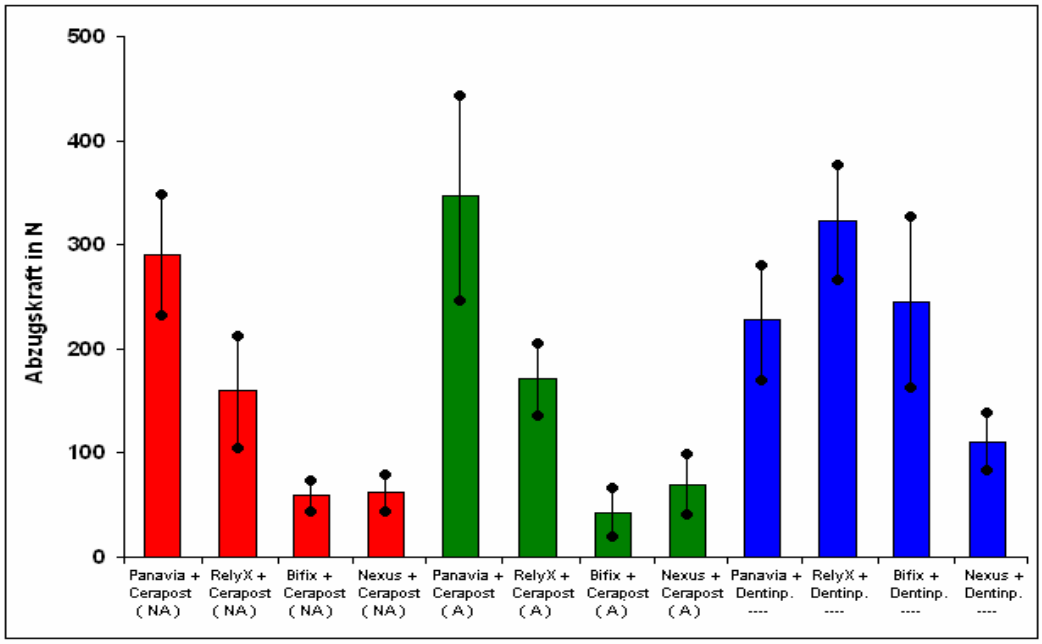

Abb. 7.: Abzugskräfte F_{max} [N] und Standardabweichung der Versuchsgruppen 1-12

Das Ergebnis offenbart signifikante Unterschiede sowohl zwischen den Stiftmaterialien als auch den Befestigungszementen.

- ER-Cerapost:

Der Vergleich der Befestigungsmaterialien in den Versuchsgruppen 1-8 durch die statistische Auswertung zeigt mit 290,64 N (Gruppe 1) bzw. 347,09 N (Gruppe 5) im Mittel die signifikant höchsten Haftkräfte für Keramikstifte, die mit dem Kompositzement Panavia™ F 2.0 befestigt worden sind. Die signifikant niedrigsten Haftwerte erzielten bei allen Ceraposstiften die Befestigungszemente Bifix QM und Nexus 2: mit mittleren Retentionswerten von 60,40 N bzw. 61,64 N (Gruppe 3 und 4) bei unbehandelten Stiften sowie 43,32 N bzw. 69,75 N (Gruppe 7 und 8) bei abgestrahlten Stiften konnte bei diesen beiden Zementen kein signifikanter Unterschied in der Haftkraft nachgewiesen werden.

Die selbst konditionierenden Dualzemente Panavia™ F 2.0 und RelyX Unicem weisen eine signifikant höhere Haftung auf als die beiden Systeme mit Phosphorsäureapplikation.

Die Vorbehandlung der Keramikstifte durch Abstrahlen mit Aluminiumoxid führte bei keinem Befestigungsmaterial zu einer signifikant höheren Retention, es scheint allenfalls eine Tendenz zu einer gering höheren Haftfestigkeit zu geben.

- ER-Dentinpost:

Unter den Fiberglassstiften konnte das Befestigungskomposit RelyX Unicem mit 323,26 N die im Mittel signifikant höchste Haftkraft aller Befestigungsmaterialien vermitteln (Gruppe 10). Panavia™ F 2.0 erzielt mit 226,77 N (Gruppe 9) neben dem Befestigungsmaterial Bifix QM mit 245,65 N im Mittel (Gruppe 11) signifikant geringere Retentionswerte als RelyX Unicem. Der Vergleich der ermittelten Haftkraft zwischen diesen beiden Zementen ist statistisch nicht signifikant. Nexus 2 zeigt auch hier mit 110,38 N im Mittel die signifikant geringste Haftkraft in Kombination mit den Dentinpost-Stiften.

- Vergleich der Stiftmaterialien:

Bei der Betrachtung der Haftwerte zwischen den Stiftmaterialien konnten alle Dualzemente bis auf Panavia™ F 2.0 in Kombination mit einem ER-Dentinpost signifikant an Retentionskraft zulegen: während RelyX Unicem und Nexus 2 ihr Retentionsvermögen im Vergleich zu den Ceraposststiften um 50 % bzw. 30% steigern können, erfährt die Anwendung des ER-Dentinposts mit dem Befestigungsmaterial Bifix QM sogar eine Verbesserung der Haftkraft um das Fünffache.

4.3 Qualitative Analyse

Vorab wurden ein unbehandelter sowie ein 10 sec. lang mit Aluminiumoxid abgestrahlter ER-Cerapost einer elektronenmikroskopischen Begutachtung unterzogen, um Hinweise auf mögliche Veränderungen der Oberfläche durch den Strahlvorgang zu finden.

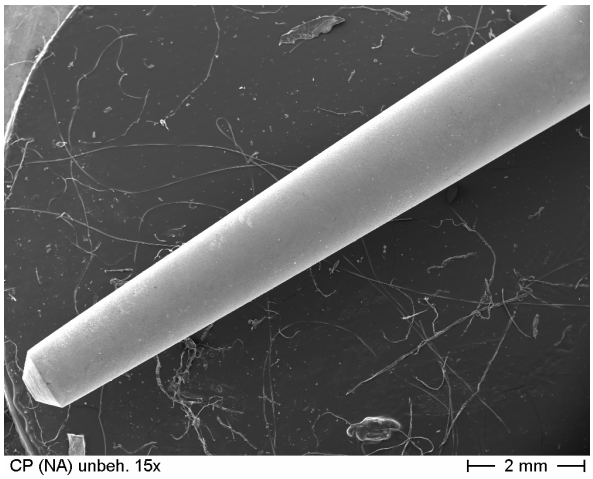

Abb. 8: nichtabgestrahlter ER-Cerapost (V. 15x)

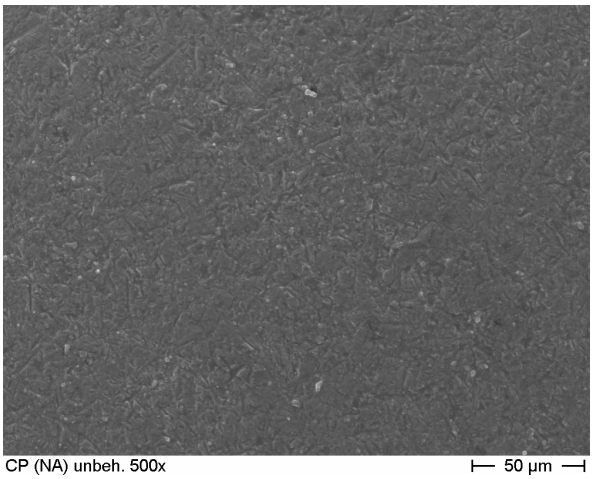

Abb. 9: Oberflächenbeschaffenheit bei starker Vergrößerung (V. 500x)

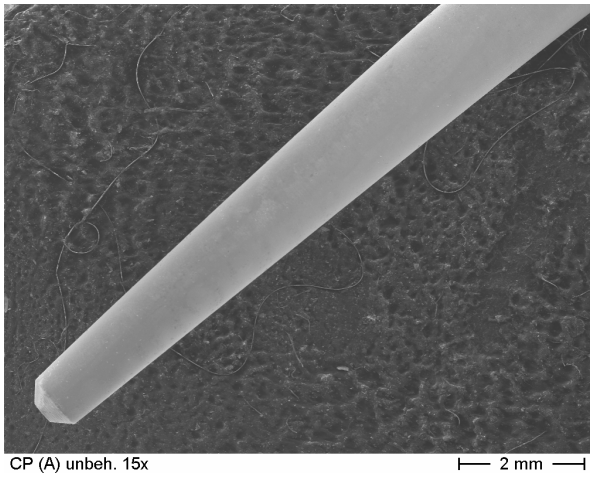

Abb. 10: abgestrahlter ER-Cerapost (V. 15x)

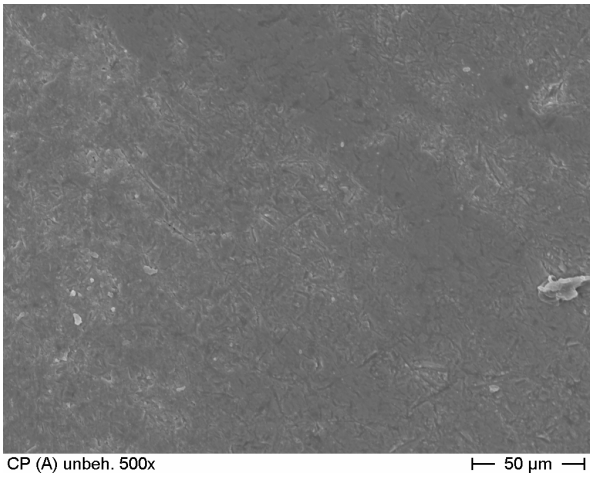

Abb. 11: Oberfläche nach 10sec. Abstrahlen mit Aluminiumoxid (V. 500x)

➢ Der Vergleich der Oberflächenbeschaffenheit des mit Aluminiumoxid abgestrahlten Keramikstiftes mit der eines unbehandelten Stiftes lässt in der Detailaufnahme (Abb. 8 und 10) keine Hinweise erkennen, ob durch den Strahlvorgang eine Aufrauung der Oberfläche erzielt worden ist.

Nach den Zugversuchen erfolgte die mikroskopische Begutachtung der Proben aus allen Versuchsreihen, um Hinweise auf mögliche Ursachen für den Retentionsverlust der Wurzelstifte zu gewinnen. Hierzu wurden Kanalwand und Stiftoberfläche betrachtet.

Theoretisch ergeben sich als Ursache für den Retentionsverlust der Stifte folgende Versagensmechanismen:

- Adhäsiver Retentionsverlust
  1. Mangelnder Haftverbund zwischen Kanalwand und Zement
  2. Mangelnder Haftverbund zwischen Stiftoberfläche und Zement
  3. Kombination aus 1. und 2.

- Kohäsiver Retentionsverlust
  Mangelnder Haftverbund durch Versagen innerhalb der Zementschicht

- Kombination aus adhäsivem und kohäsivem Retentionsverlust

Als weitere, jedoch sehr unwahrscheinliche Ursache für den Retentionsverlust muß zudem ein kohäsives Versagen entweder innerhalb des Stiftmaterials oder des Wurzeldentins in Betracht gezogen werden. Hierzu müssten unter dem Rasterelektronenmikroskop Hinweise auf Rückstände von Dentin an der Stiftoberfläche bzw. von Wurzelstiftmaterial an der Kanalwand zu finden sein. Diese Beobachtung würde höchste Haftkräfte für den entsprechenden Kompositzement bedeuten, konnte allerdings bei keiner der Versuchsproben festgestellt werden.
Bei der Untersuchung wurde in den überwiegenden Fällen die Kombination aus adhäsivem und kohäsivem Versagensmechanismus festgestellt. Darüber hinaus führte in einigen Versuchsreihen ein einzelner Versagensmechanismus zum Retentionsverlust.

Die nachfolgenden Abbildungen stellen die Ergebnisse der elektronenmikroskopischen Untersuchung aller Versuchsreihen dar:

Versuchsgruppe 1: Nichtabgestrahlte ER-Ceraposststifte und Panavia™ F 2.0

Die Bilder dieser Versuchgruppe zeigen eine dicke, die Kanalwand vollständig bedeckende Zementschicht (Abb. 12). In 500-facher Vergrößerung ist zudem die direkt an der Zahnoberfläche anhaftende, durch den ED-Primer induzierte Hybridschicht zu sehen (Abb. 13). Die Stiftoberfläche ist knapp zur Hälfte mit einer dünnen Zementschicht bedeckt, daneben bestehen zementfreie Areale.

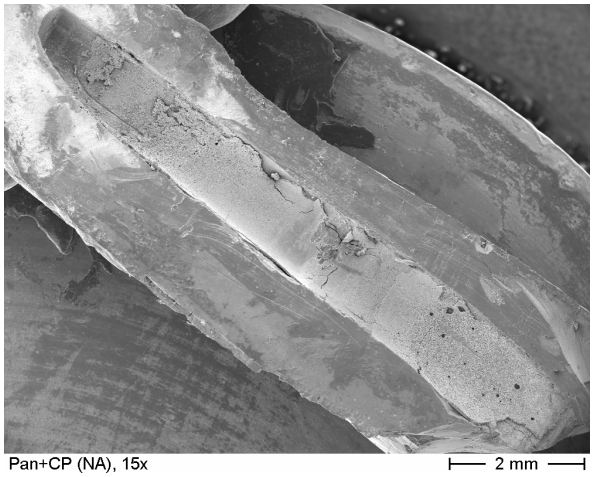

Abb. 12: Kanalwand vollständig mit Zement-Schicht ausgekleidet (V. 15x)

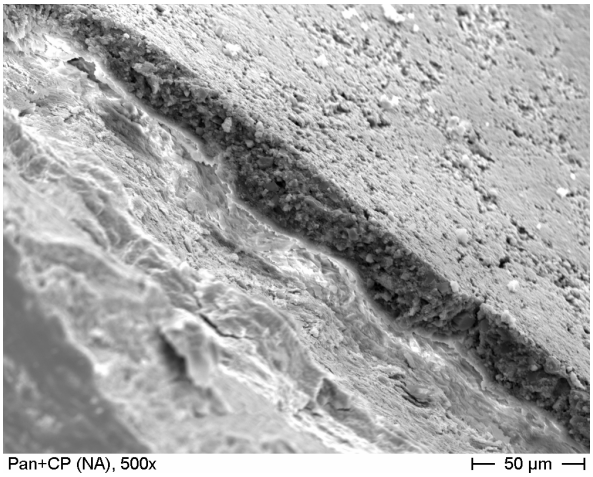

Abb.13: Fest haftender Zement an Kanalwand Hybridschicht erkennbar (V. 500)

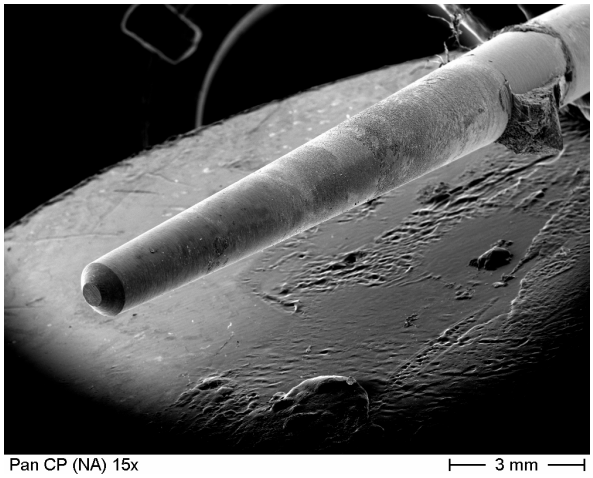

Abb. 14: Dünne Zementschicht bedeckt den oberen Teil des Cerapost (V.15x)

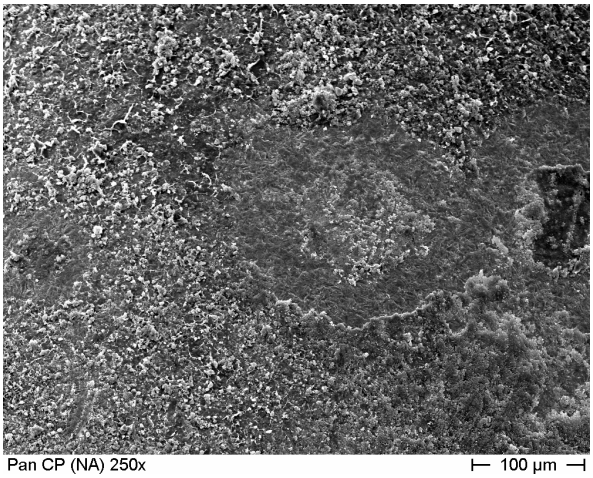

Abb. 15: An der Stiftoberfläche anhaftende dünne Zementschicht (V.250x)

➢ Als Hauptursache für den Retentionsverlust ist in dieser Versuchsreihe ein adhäsives Versagen zwischen der Zementschicht von Panavia™ F 2.0 und der glatten Stiftoberfläche festzustellen. Daneben traten aber auch geringe adhäsive Probleme des Kompositzementes an der Oberfläche der Kanalwand auf.

Versuchsgruppe 2: Nichtabgestrahlte ER-Ceraposststifte und RelyX Unicem

Der Wurzelkanal ist nahezu frei von Zement (Abb. 16). Die Vergrößerung offenbart kleine Flächen mit einer brüchigen Zementschicht und Zementkrümel auf der Dentinoberfläche (Abb. 17). RelyX Unicem bedeckt fast vollständig den Wurzelstift, nur wenige Stellen der Oberfläche sind zementfrei (Abb. 18 und 19).

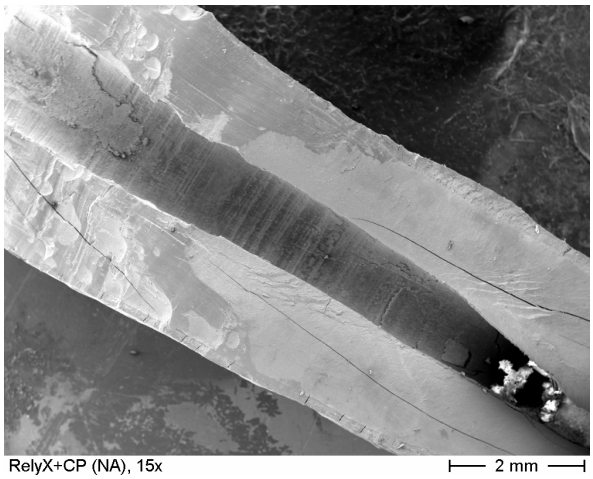

Abb. 16: Zementspuren an der Kanalwand (Vergr. 15x)

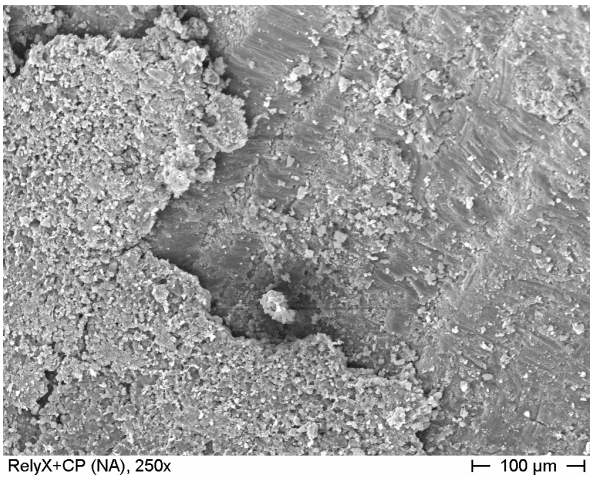

Abb. 17: Freie sowie zementbedeckte Areale erkennbar (Vergr. 250x)

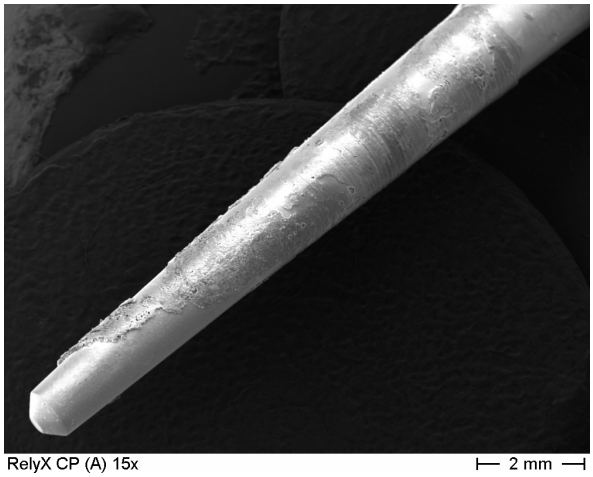

Abb. 18: Keramikstift ist fast vollständig mit Material bedeckt (Vergr. 15x)

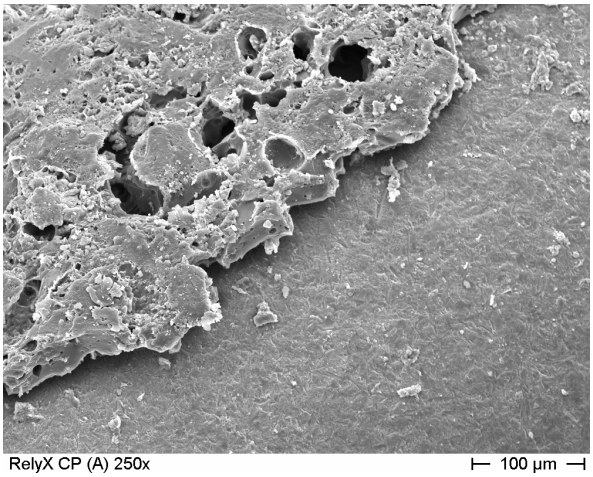

Abb. 19: Inhomogene Schicht haftet an der Keramikoberfläche (Vergr. 250x)

➢ Die Bilder offenbaren als Hauptursache für den Retentionsverlust einen mangelnden Haftverbund zwischen Kompositzement und der Dentinoberfläche des Wurzelkanals.

Versuchsgruppe 3: Nichtabgestrahlte ER-Cerapoststifte und Bifix QM

Auch die Proben dieser Versuchsreihe zeigen einen mit einer inhomogenen und brüchigen Zementschicht ausgekleideten Wurzelkanal, wobei große Areale völlig zementfrei geblieben sind (Abb. Abb. 20 und 21). Einen ähnlichen Zustand zeigen die Bilder der Keramikstifte: die überwiegend zementfreie Oberfläche ist an wenigen Stellen mit einer unregelmäßigen Materialschicht bedeckt(Abb. 22 und 23).

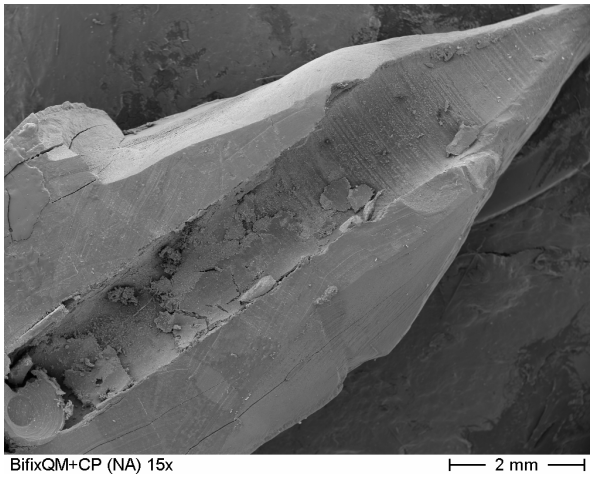

Abb. 20: Von brüchiger Zementschicht ausgekleideter Kanal (Vergr. 15x)

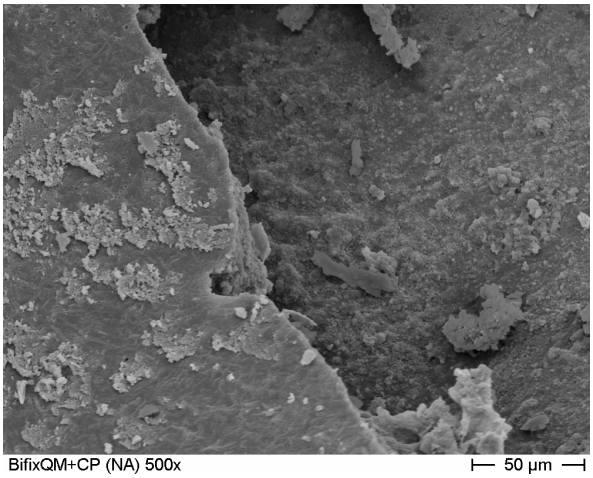

Abb. 21: Zementbedeckte Stellen neben unbedeckten Arealen (Vergr. 500x)

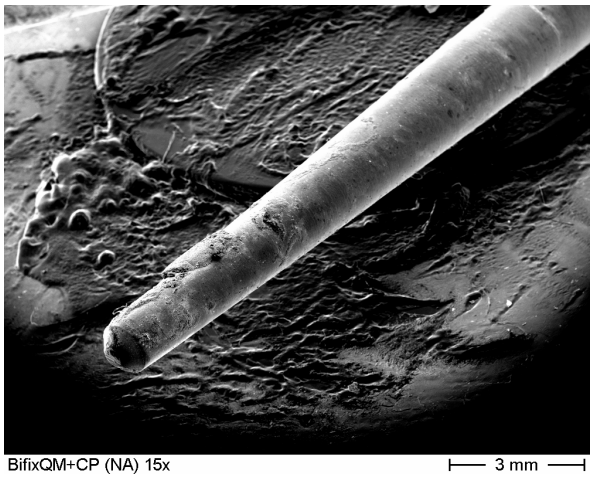

Abb. 22: Zementreste im Bereich der unteren Stiftoberfläche (Vergr. 15x)

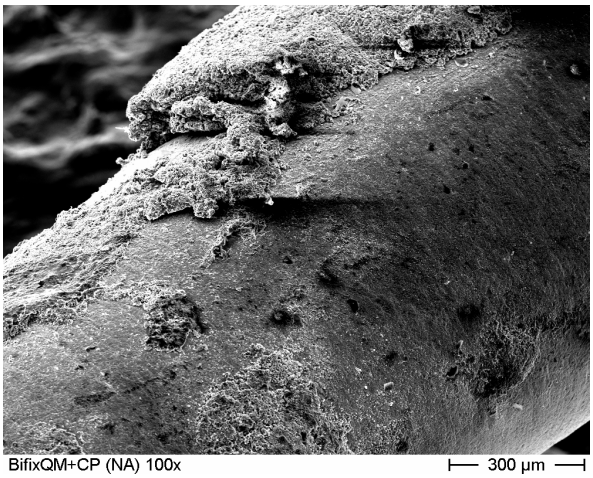

Abb. 23: Locker auf der Oberfläche haftende Zementrückstände (Vergr. 100x)

➢ In dieser Versuchsreihe führte eine Vielzahl von Problemen zum frühzeitigen Retentionsverlust des Wurzelstiftes: neben der Hauptursache einer mangelnden Adhäsion von Bifix QM an der Keramikoberfläche ist daneben auch ein ungenügender Haftverbund des Materials am Dentin des Wurzelkanals festzustellen. Daneben spielt kohäsives Versagen innerhalb der Zementschicht eine eher untergeordnete Rolle.

Versuchsgruppe 4: Nichtabgestrahlte ER-Ceraposts tifte und Nexus 2

Die Bilder von Proben dieser Gruppe zeigen einen eindeutigen Zustand nach den Zugversuchen: so ist die Wurzeloberfläche vollständig mit einer dicken Zementschicht bedeckt (Abb. 24 und 25). Dieses kann durch die annähernd zementfreie Stiftoberfläche bestätigt werden (Abb. 26 und 27).

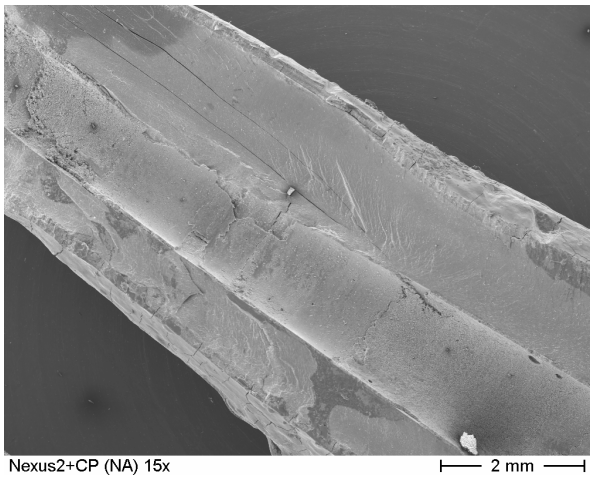

Abb. 24: Kanalwand vollständig mit Zement bedeckt (Vergr. 15x)

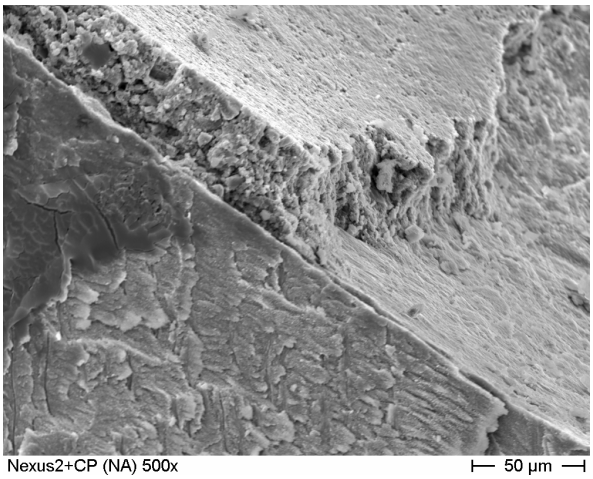

Abb. 25: Zement haftet am Wurzeldentin (Vergr. 500x)

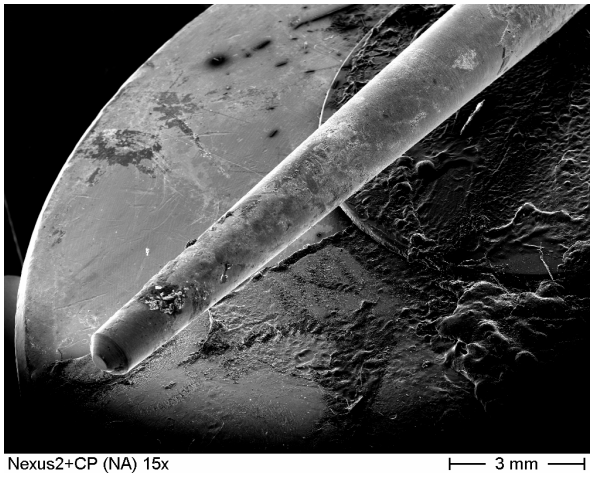

Abb. 26: Oberfläche des glatten ER-Cerapost ist frei von Zement (Vergr. 15x)

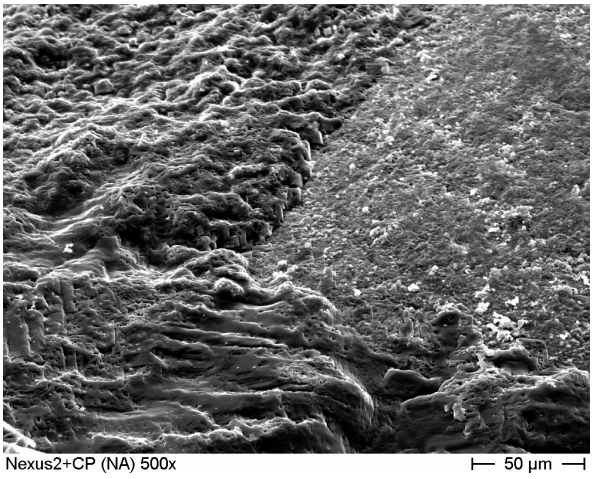

Abb. 27: Nur wenige Stellen mit Material auffindbar (Vergr. 500x)

➢ Dem Retentionsverlust liegt hier einzig ein adhäsiver Versagensmechanismus zwischen Stiftoberfläche und Zementschicht zugrunde. Dem Dualzement Nexus 2 ist es offenbar nicht gelungen, einen sicheren Haftverbund mit dem Keramikstift einzugehen.

Versuchsgruppe 5: Abgestrahlte ER-Ceraposststifte und Panavia^{TM} F 2.0

In dieser Gruppe ist sowohl die Kanalwand als auch die Stiftoberfläche nicht vollständig, aber dennoch zu einem großen Teil mit Panavia^{TM} F 2.0 bedeckt (Abb. 28 und 30). Die Vergrößerungsaufnahmen zeigen, dass diese Zementschicht jeweils fest an der betreffenden Oberfläche anhaftet (Abb. 29 und 31).

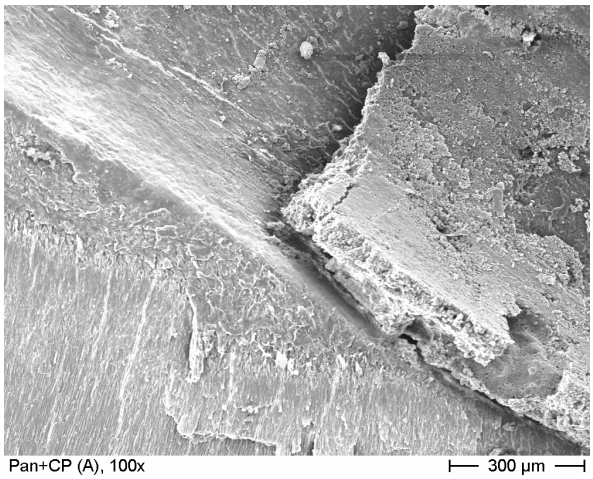

Abb. 28: Zementfreie Bereiche wechseln mit zementbedeckten Stellen (V. 100x)

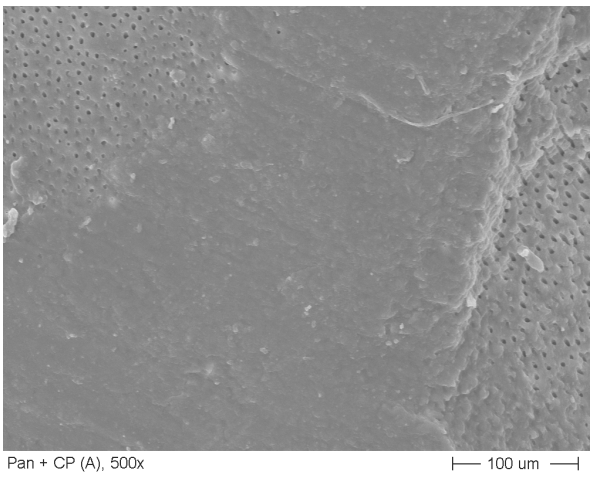

Abb. 29: An Kanalwand anhaftender Zement, Tubuli z.T. verschlossen (V. 500x)

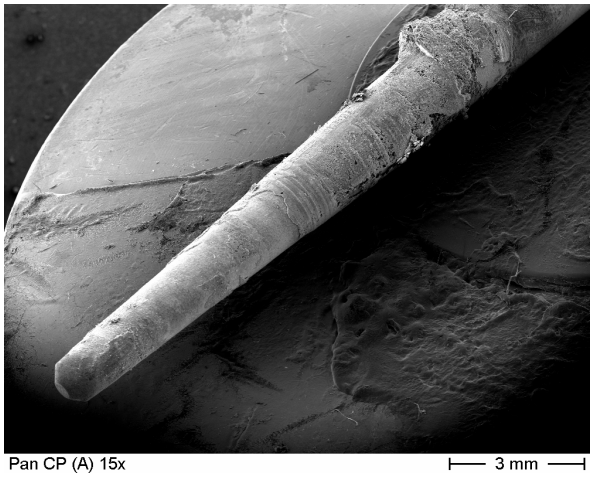

Abb. 30: Stiftoberfläche ist fast vollständig mit Zement bedeckt (V. 15x)

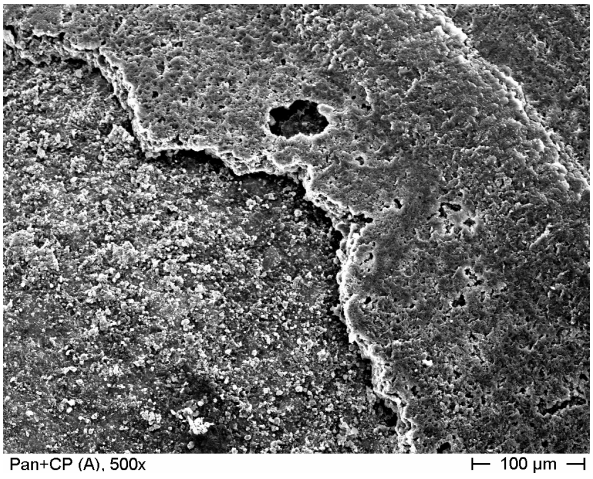

Abb. 31: An der Stiftoberfläche anhaftende Zementschicht (V. 500x)

➢ Die elektronenmikroskopischen Bilder lassen darauf schließen, dass für den Retentionsverlust in erster Linie ein Versagen innerhalb der Zementschicht ursächlich ist, da der Kompositzement sowohl an der Kanalwand als auch an dem Stift großflächig anhaftet. Die zementfreien Areale deuten analog zur Versuchsgruppe 1 auch auf adhäsive Probleme hin, deren Auftreten aber aufgrund der hohen gemessenen Haftkräfte zu erwarten ist.

Versuchsgruppe 6: Abgestrahlte ER-Ceraposststifte und RelyX Unicem

Die Kanalwand dieser Proben ist von einer inhomogenen Zementschicht unvollständig ausgekleidet (Abb. 32). Diese haftet z.T. jedoch fest am Wurzeldentin (Abb. 33). Einen ganz ähnlichen Zustand bietet die Stiftoberfläche: Auch hier wechseln sich zementfreie und zementbedeckte Areale ab (Abb. 34 und 35).

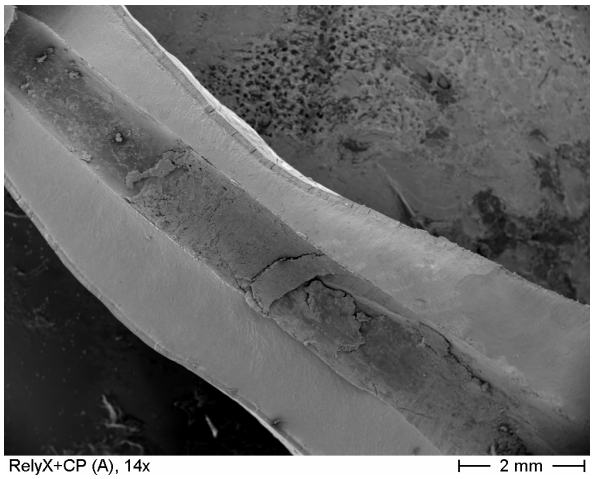

Abb. 32: Brüchige Materialschicht in Kanal-Wand erkennbar (Vergr. 15x)

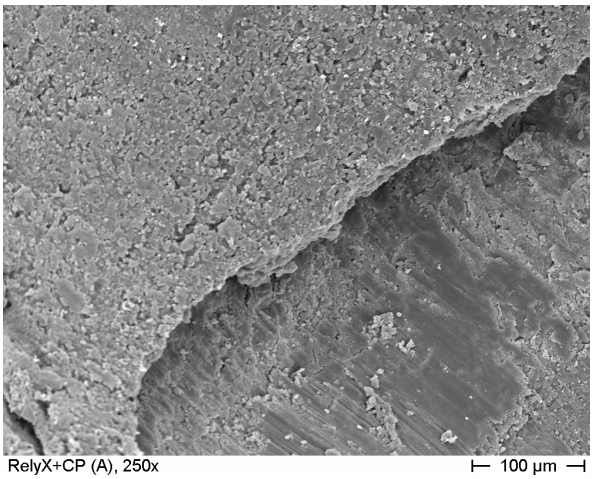

Abb. 33: Areale mit dicker Zementschicht bedeckt (Vergr. 250x)

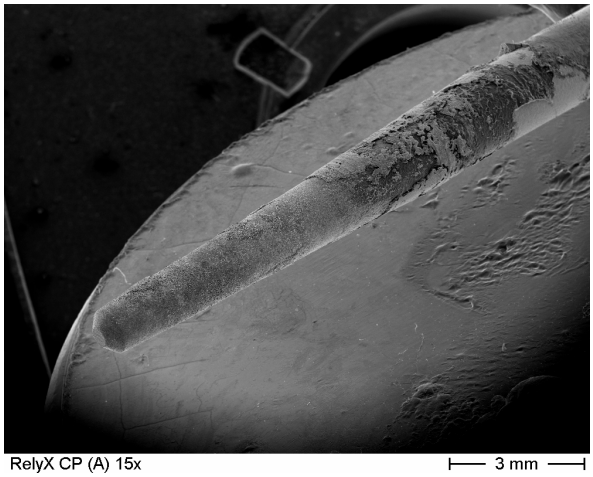

Abb. 34: Keramikstifte mit zementbedeckten und zementfreien Arealen (V. 15x)

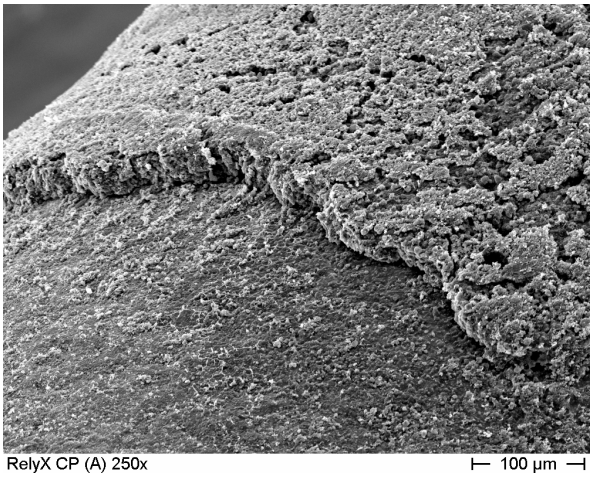

Abb. 35: Teile von RelyX Unicem haften an der Stiftoberfläche (V. 250x)

➢ Die für den Retentionsverlust verantwortliche Schwachstelle offenbart sich hier in einer Kombination von adhäsivem Versagen an der Kanalwand sowie Stiftoberfläche und kohäsivem Versagen innerhalb der Zementschicht von RelyX Unicem.

Versuchsgruppe 7: Abgestrahlte ER-Cerapoststifte und Bifix QM

Die Bilder dieser Proben zeigen eine dicke Zementschicht an der gesamten Kanalwand (Abb. 36 und 37) und eine glatte, von Dualzement völlig freie Stiftoberfläche (Abb. 38 und 39).

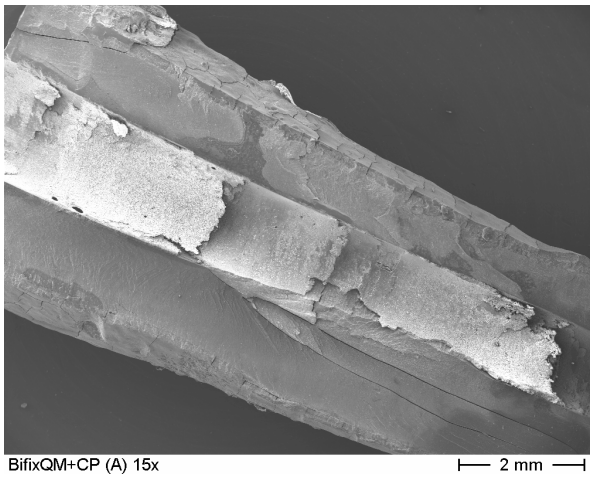

Abb. 36: Kanalwand vollständig mit Zement bedeckt (Vergr. 15x)

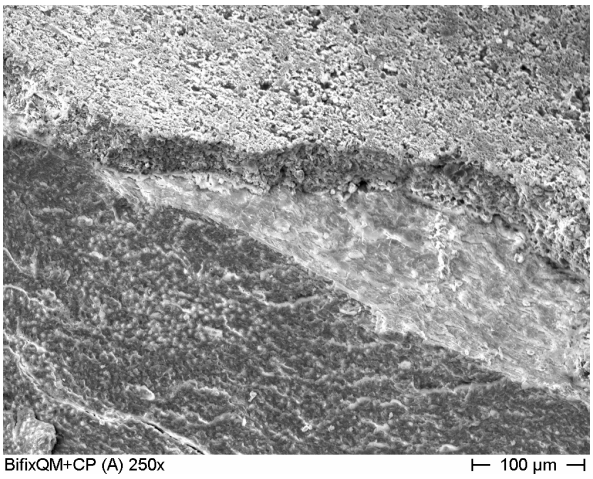

Abb. 37: Dicke Zementschicht haftet an der Dentinoberfläche (Vergr. 250x)

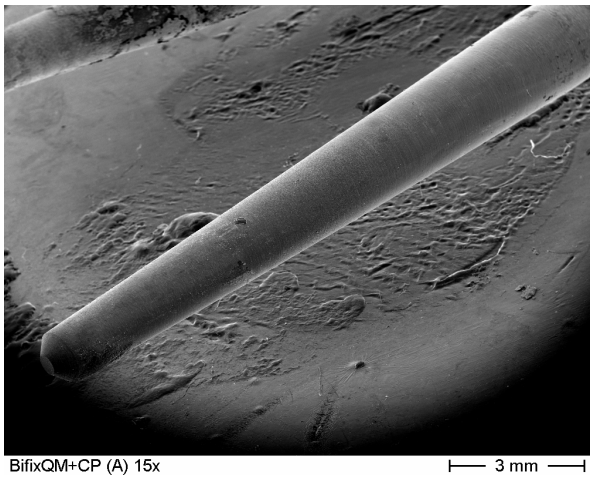

Abb. 38: Stiftoberfläche ist völlig frei von Bifix QM (Vergr. 15x)

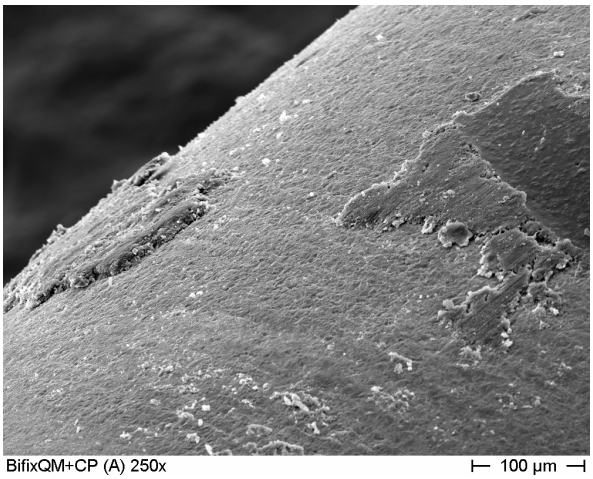

Abb. 39: Materialinseln auf der Oberfläche (Vergr. 250x)

➢ Als Versagensmechanismus kommt in dieser Versuchsreihe einzig adhäsives Versagen in Frage. Dem Material ist es offenbar nicht gelungen, einen haltbaren Haftverbund mit der abgestrahlten Keramikoberfläche zu erzielen.

Versuchsgruppe 8: Abgestrahlte ER-Cerapoststifte und Nexus 2

Die folgenden Bilder zeigen die an vielen Stellen mit Zement ausgekleidete Kanaloberfläche, einige Stellen sind zementfrei (Abb. 40 und 41). Die Stiftoberfläche ist an einigen Stellen mit einer dünnen Materialschicht bedeckt, ansonsten aber frei von Zement (Abb. 42 und 43).

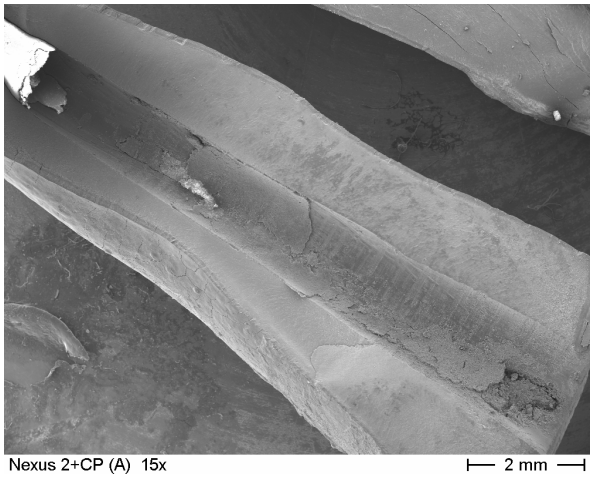

Abb. 40: Areale mit Material neben freien Stellen (Vergr. 15x)

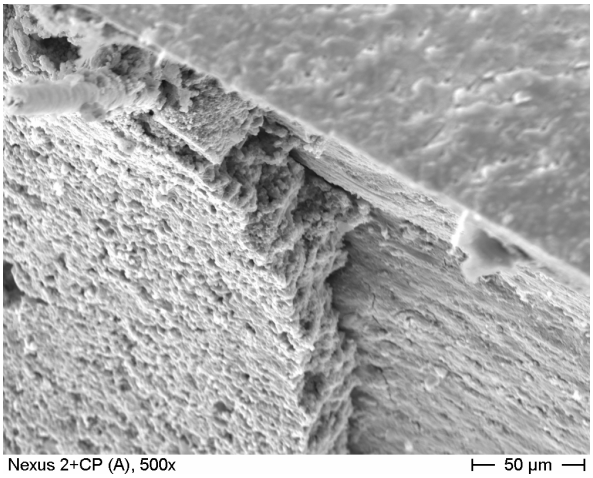

Abb. 41: Übergang von dicker Zementschicht zu unbedeckter Stelle (Vergr. 500x)

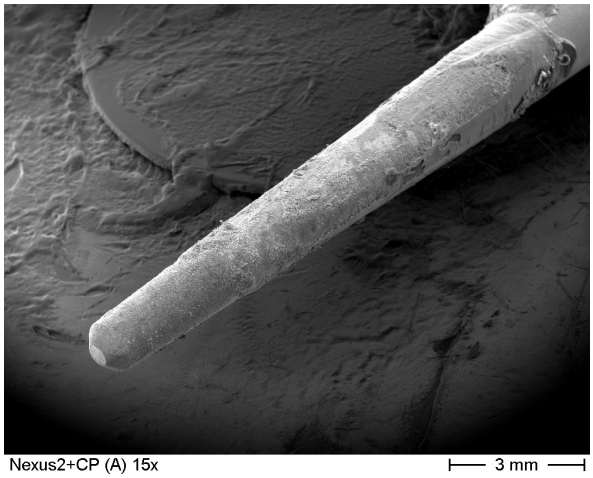

Abb. 42: Stift ist an einigen Stellen mit etwas Zement bedeckt (Vergr. 15x)

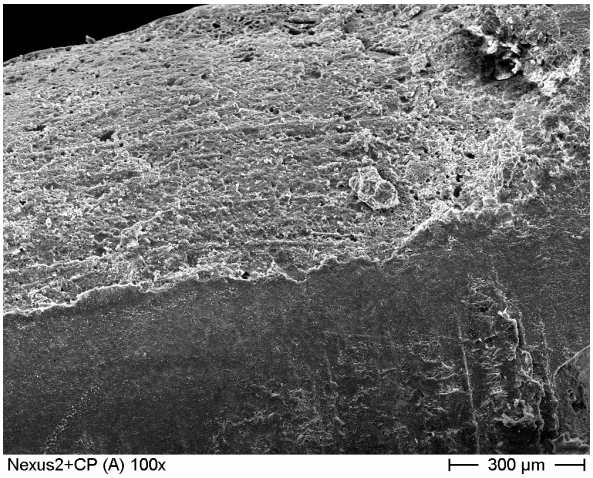

Abb. 43: Dünne Materialschicht haftet an der Keramikoberfläche (Vergr. 100x)

➢ Die Bilder zeigen als Ursache eine Kombination unterschiedlicher Versagensmechanismen: zum einen konnte eine mangelnde Adhäsion zwischen Nexus 2 und der Kanalwand sowie der abgestrahlten Stiftoberfläche beobachtet werden. Zusätzlich kann ein kohäsives Versagen innerhalb des Zementes als wahrscheinlich angesehen werden. Damit können die signifikant höheren Zugwerte im Vergleich zur Versuchsgruppe 4 qualitativ bestätigt werden.

Versuchsgruppe 9: ER-Dentinpost und Panavia^{TM} F 2.0

Der Kompositzement bedeckt die Kanalwand nahezu vollständig mit einer dicken Zementschicht (Abb. 44 und 45). Der Fiberglasstift ist zu gleichen Anteilen sowohl zementbedeckt als auch zementfrei (Abb. 46). Die Vergrößerung zeigt neben der anhaftenden Zementschicht auch spärliche, die Fiberglassfasern umschließende Zementreste (Abb 47).

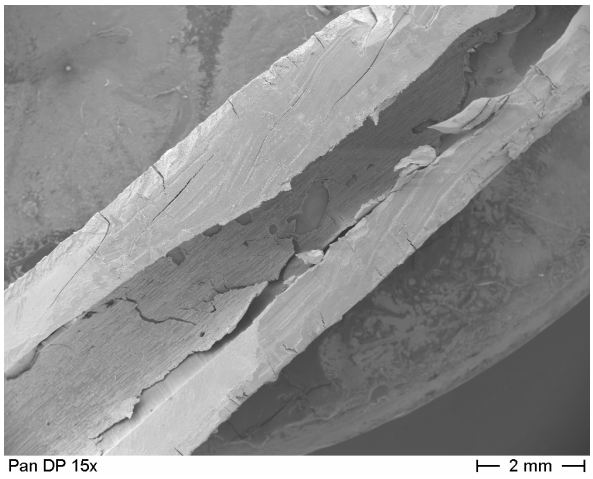

Abb. 44. Kanalwand nahezu vollständig mit Panavia^{TM} F 2.0 bedeckt (V. 15x)

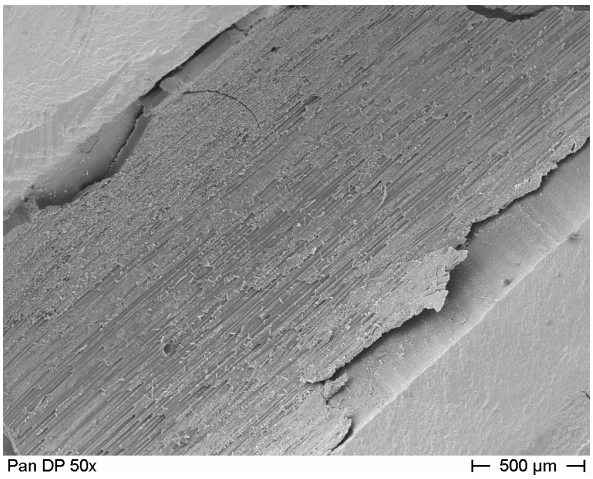

Abb. 45: Homogene Schicht bedeckt Dentin (V. 50x)

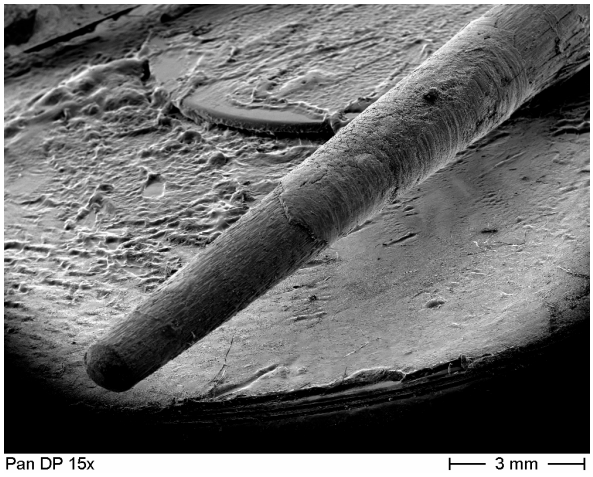

Abb. 46: Untere Hälfte ist frei von Zement (V. 15x)

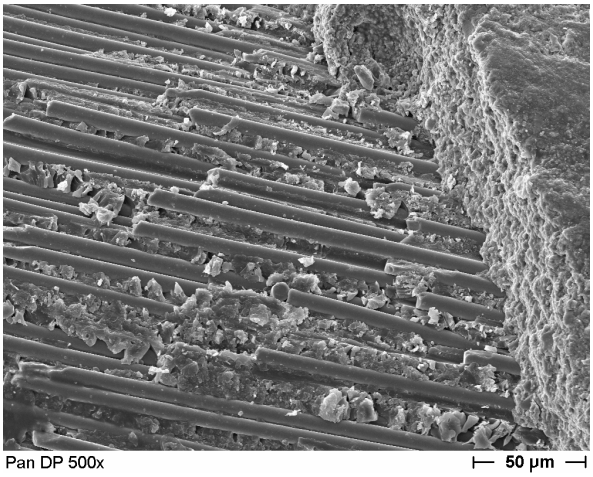

Abb. 47: Zementbedeckte sowie nahezu freiliegende Fiberglassfasern (V. 500x)

➢ In der Versuchsgruppe 9 ist ein kohäsiver Versagensmechanismus innerhalb der Zementschicht für den Retentionsverlust verantwortlich. Daneben gab es hier auch Probleme mit der Adhäsion von Panavia^{TM} F 2.0 an den Fasern der Stiftoberfläche des Dentinposts.

Versuchsgruppe 10: ER-Dentinpost und RelyX Unicem

In dieser Versuchsgruppe ist die Kanalwand fast frei von Zement, nur wenige Reste konnten an der Dentinoberfläche bestehen (Abb. 48 und 49). Im Gegensatz dazu ist die Stiftoberfläche bis auf wenige Stellen mit einer dicken, fest anhaftenden Zementschicht bedeckt (Abb. 50). Die Vergrößerung zeigt zahlreiche, in RelyX Unicem eingebettete Fiberglassfasern (Abb. 51).

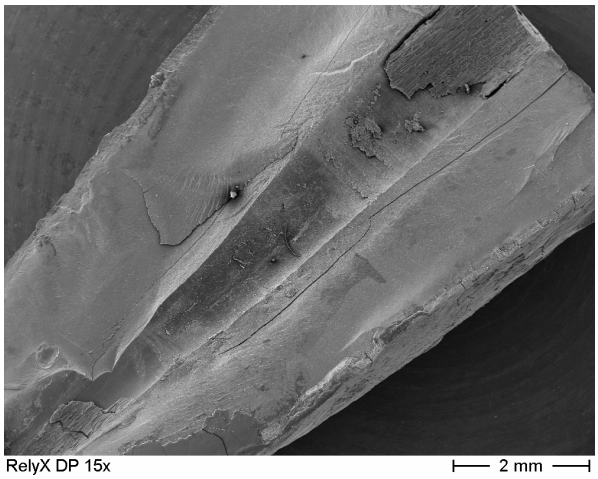

Abb. 48: Kleine Zementreste haften an der Kanalwand (V. 15x)

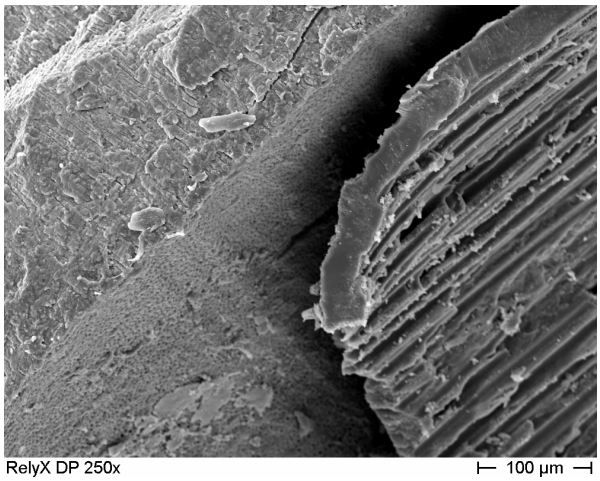

Abb. 49: wie Abb. 48 (V. 250x)

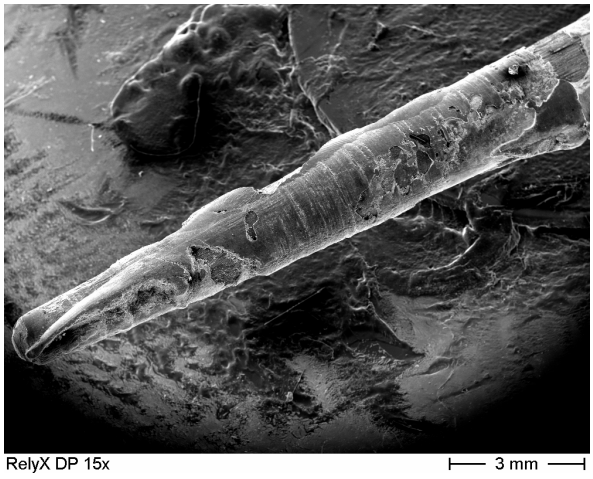

Abb. 50: Dicke Zementschicht bedeckt die Stiftoberfläche (V. 15x)

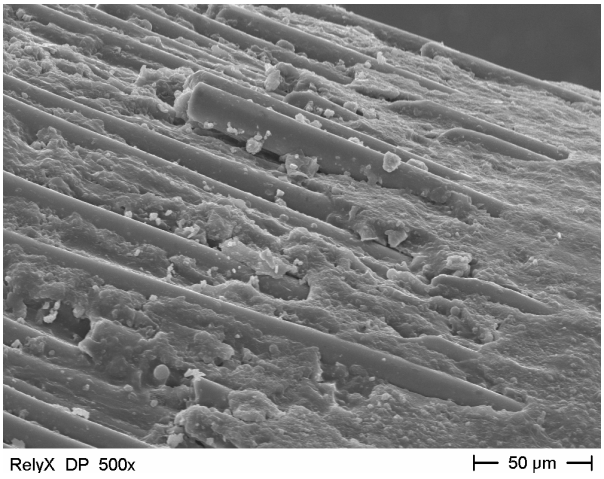

Abb. 51: Fasern sind in fest anhaftender Zementschicht eingebettet (V. 500x)

➢ Die gemachten Beobachtungen deuten auf ein adhäsives Versagen zwischen Zement und Kanaloberfläche als Hauptursache in dieser Versuchsreihe hin.

Versuchsgruppe 11: ER-Dentinpost und Bifix QM

Die Bilder dieser Versuchsreihe zeigen eine Kanalwand, die mit einer dicken Zementschicht stellenweise bedeckt ist. Daneben existieren aber auch materialfreie Areale (Abb. 52 und 53). Die Stiftoberfläche zeigt einen ähnlichen Zustand: neben zementfreien Flächen ist eine dicke Schicht aus Bifix QM zu beobachten (Abb. 54 und 55).

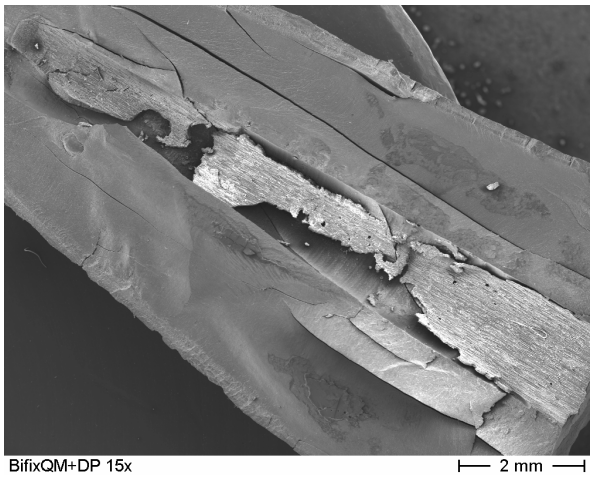

Abb. 52: Stellenweise dicke Zementschicht auf Kanaloberfläche (Vergr. 15x)

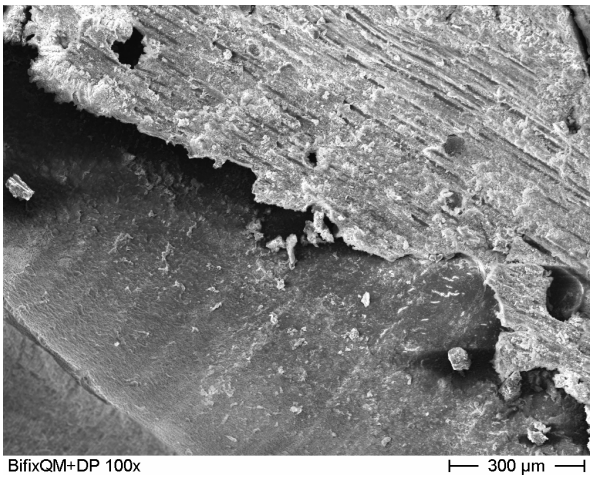

Abb. 53: Analog Abb. 53 (Vergr. 100x)

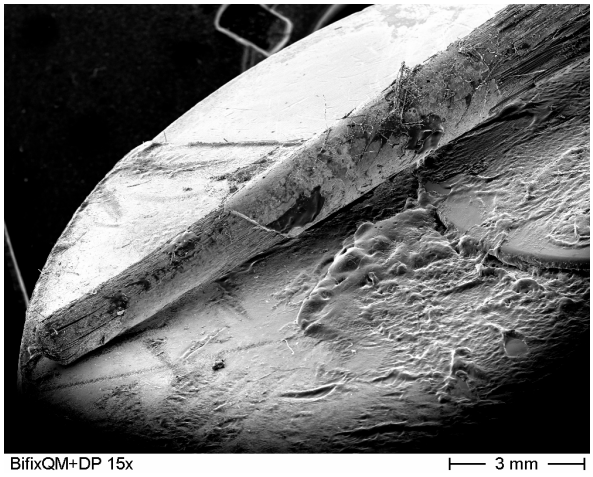

Abb. 54:Zementbedeckte neben zementfreien Arealen (Vergr. 15)

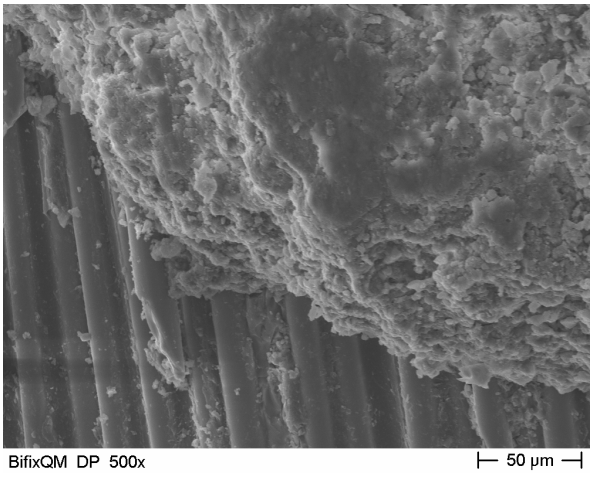

Abb. 55: Stellen mit Kompositzement neben freiliegenden Fasern (Vergr. 500x)

➢ Die Schwachstelle für den Retentionsverlust liegt zu gleichen Teilen in einem mangelnden Haftverbund sowohl zwischen Zement und Dentinoberfläche als auch zwischen Dualzement und Oberfläche des Dentinposts.

Versuchsgruppe 12: ER-Dentinpost und Nexus 2

Ein eindeutiges Ergebnis zeigen die Bilder von Versuchsreihe 12: Die Kanalwand ist komplett mit einer dicken Zementschicht bedeckt(Abb. 56 und 57). Dagegen befindet sich auf der Stiftoberfläche so gut wie kein Zement (Abb. 58 und 59).

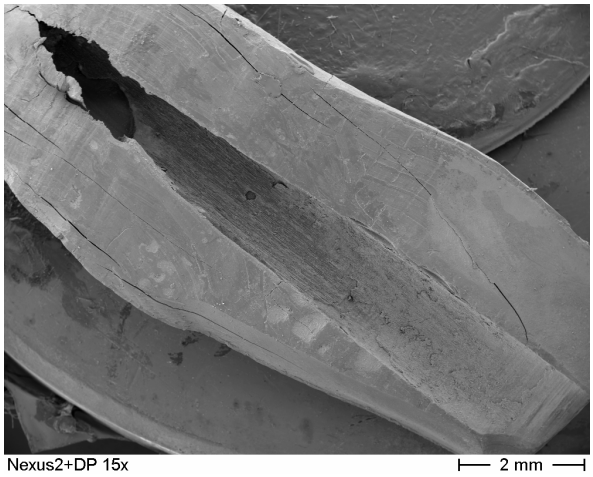

Abb. 56: Die gesamte Kanalwand ist von Dualzement bedeckt (Vergr. 15x)

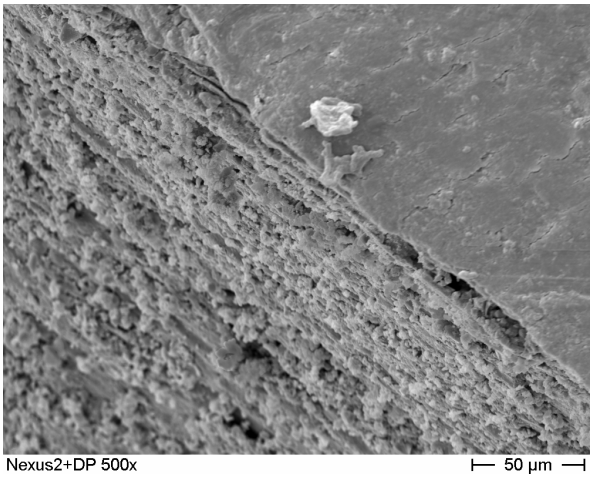

Abb. 57: An der Dentinoberfläche anhaftende dicke Materialschicht (Vergr. 500x)

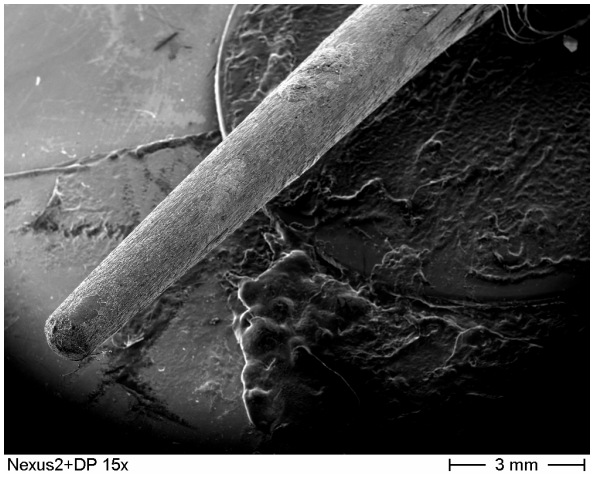

Abb. 58: Der ER-Dentinpost ist nahezu frei von Nexus 2 (Vergr. 15x)

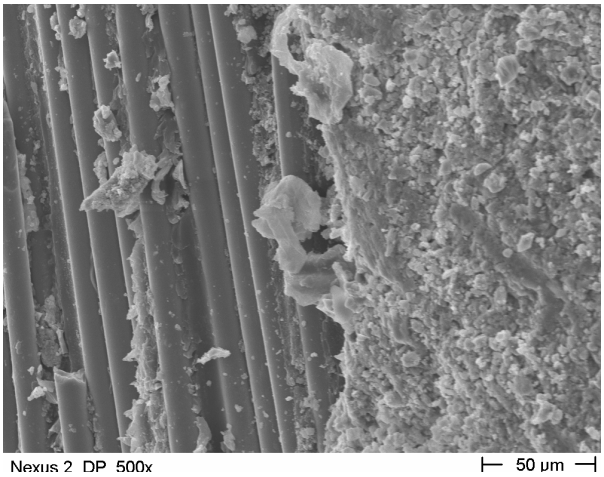

Abb. 59: Freiliegende Fasern neben Resten von Material (Vergr. 500x)

➢ Analog zur Versuchsgruppe 4 ist es auch in Verbindung mit einem Fiberglassstift zu keinem nennenswerten Haftverbund zwischen Nexus2 und Stiftoberfläche gekommen. Als Versagensmechanismus für den Retentionsverlust sind wiederum einzig adhäsive Probleme zwischen Zement und Stiftoberfläche zu nennen.

5.0 Diskussion

In der vorliegenden Studie wurden zwei zahnfarbene Wurzelstifte aus Zirkoniumoxid sowie Fiberglass mit vier dualhärtenden Kompositzementen kombiniert und unter Standardbedingungen Zugkräften ausgesetzt. Je nach Versuchsgruppe wurden die Stifte einer Vorbehandlung durch Abstrahlen mit Aluminiumoxid unterzogen oder unbehandelt in menschlichen Zähnen befestigt.
Ziel dieser Untersuchung war es, eine aussagekräftige Prognose über das Retentionsvermögen zahnfarbener Wurzelstifte in Abhängigkeit von dem Befestigungsmaterial sowie einer Vorbehandlungstechnik der Stiftoberfläche zu treffen.

5.1. Analyse des Versuchsaufbaus

Um das für Wurzelkanalstiftsysteme und Befestigungszemente wichtige Retentionsvermögen ermitteln zu können, wurden diese in-vitro-Versuche den In-vivo auftretenden Verhältnissen gegenüber stark vereinfacht. Die in dieser In-vitro-Studie erzielten Ergebnisse können daher nur mit Einschränkungen auf die realen Bedingungen der Mundhöhle übertragen werden. So sind die auf das Zahnsystem wirkenden Kräfte nicht allein auf Zug ausgerichtet, sondern beinhalten daneben eine horizontale, vertikale sowie eine extraaxiale Kraftkomponente (Kirchoff, 1978).
Während beispielsweise mit Scherversuchen versucht wird, eine relativ realitätsnahe Belastung der Materialien zu simulieren (Ludwig 2000), so wird die axiale Zugkomponente als Grundversuch der statistischen Festigkeitsprüfung betrachtet. Sie ermöglicht durch ihren einfachen Aufbau eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Zementarten und der Vorbehandlungsmethoden untereinander (Finger 2000).
Zahlreiche Untersuchungen zeigen, dass der axiale Zugversuch zur Ermittlung der Haftfestigkeit von Wurzelstiften häufig als bewährtes Verfahren angewandt wird (Boschian Pest 2002, Brett & Cohen 2000, Cohen et al. 2000, Nergiz et al. 1997, Purton & Love 2000, Sahafi et al. 2003, Schönbrodt et al. 2003, Wrbas 2005). Zudem stellt der axiale Zugversuch eine zügig durchzuführende Testmethode dar, ob ein neues Befestigungsmaterials grundsätzlich für die Anwendung mit Wurzelstiften geeignet ist.
In den meisten der o.g. Versuche wurden - genau wie in der vorliegenden Studie - extrahierte, kariesfreie menschliche Zähne verwendet. Diese sind nach der Extraktion und während der

Dauer der Untersuchung in einer isotonischen Kochsalzlösung aufbewahrt worden, um eine Austrocknung des Dentins zu verhindern.

Da die Anatomie menschlicher Zähne sich sehr unterschiedlich gestaltet, wurden sowohl hinsichtlich der Länge und Breite der Wurzel, als auch des Verlaufs des Wurzelkanals sehr ähnliche, jedoch keine identischen Geometrien der Versuchszähne vorgefunden.
Die endodontische Aufbereitungstechnik sowie Präparation des Wurzelkanals zur Aufnahme des Wurzelkanalstiftes mit genormten Instrumenten erlaubte jedoch eine annähernd identische Ausgangsposition für alle Versuchsproben.
Dabei muss aber berücksichtigt werden, dass die menschliche Hand nur begrenzt exakt arbeiten kann und daher bei manuell erzeugten Passungen immer mit geringen Abweichungen zwischen Stift und Stiftbett gerechnet werden muss.
Die große Vielfalt und die ständige Markteinführung neuer Materialien machen es unmöglich, alle Befestigungszemente des Dentalmarktes zu testen. Die in dieser Studie getesteten Befestigungsmaterialien sind zufällig aus dem Angebot der neueren dualhärtenden Kompositzemente ausgewählt worden.

Um alle physikalischen Eigenschaften maximal ausnutzen zu können, wurden die gewählten Befestigungsmaterialien streng nach Herstellerangaben mit höchster Sorgfaltspflicht verarbeitet.

Die für Kompositzemente geforderte absolute Trockenlegung konnte in dieser In-vitro-Studie optimal gewährleistet werden, da die Proben während der Anwendung der Zemente der Kochsalzlösung entnommen worden sind. Fraglich ist, ob sich unter In-vivo-Verhältnissen diese Bedingungen trotz obligater Anwendung von Kofferdam immer realisieren lassen.

Die vorausgehende Wurzelkanalaufbereitung mit den zugehörigen Wurzelfüllmaterialien hat keine Auswirkung auf die Eigenschaften von Befestigungsmaterialien und somit keinen Einfluß auf die Retention von Wurzelstiften im Kanal (Boone et al. 2001; Hagge et al. 2002).

In dieser Studie wurden die Wurzelstifte aller Proben bei einheitlich 10 mm im Wurzelkanal fixiert, um den direkten Vergleich zwischen den Versuchsreihen zu vereinfachen. Zudem ist die hier gewählte Insertionstiefe ein häufig bei dem Setzen von Stiften anzutreffender Mittelwert.

Die meisten Studien axialer Zugversuche verwenden Stiftlängen zwischen 8 und 15 mm, wodurch der unmittelbare Vergleich mit den Ergebnissen dieser Studie gering erschwert wird.

Daneben wurden in anderen Studien oftmals Wurzelkanalstiftsysteme verwendet, die sich in ihrem Aufbau und ihrer Funktion deutlich von dem eingesetzten System dieser Studie unterscheiden. Dies beeinträchtigt ebenfalls den direkten Vergleich mit der vorliegenden Untersuchung, da die Stiftform, Stiftlänge und Oberflächenbeschaffenheit beeinflussende Größen für die Haftung der Stifte im Kanal darstellen (Nergiz et al. 1997; Standlee et al. 1978).

5.2 Analyse der Ergebnisse

In allen Versuchsgruppen konnte eine Haftung der Stifte im Wurzelkanal nachgewiesen werden, jedoch mit signifikanten Unterschieden in den gemessenen Retentionswerten zwischen den einzelnen Gruppen. Die verschiedenen Retentionswerte der Versuchsgruppen innerhalb eines Stiftsystems korrelieren eindeutig mit den eingesetzten Befestigungszementen, waren aber unabhängig von der Vorbehandlung der Stiftoberfläche. Die mit Hilfe von axialen Zugversuchen ermitteltelten Ergebnisse für die beiden zahnfarbenen Wurzelkanalstifte ER-Cerapost und ER-Dentinpost können eingeschränkt mit den Erfahrungen anderer Autoren verglichen werden. Allerdings sind in der Literatur bislang nur wenige Studien beschrieben worden, die sich mit dem Retentionsverhalten zahnfarbener Wurzelstifte beschäftigen und damit einen Vergleich mit der vorliegenden Studie ermöglichen.

So untersuchten Cohen et al. (2000) in axialen Zugveruchen das Retentionsverhalten von vier endodontischen Stiften, darunter der zahnfarbene ER-Dentinpost. Als weitere Stifte wurden der schraubenartige Flexi-Flange® (EDS, USA) sowie Parapost® (Coltène/Whaledent, USA) und der parallelwandige und mit Retentionsnuten ausgestattete ExactaCast® (EDS, USA) verwendet. Alle Stifte wurden analog zu dieser Untersuchung auf 10 mm Länge in den Wurzelkanal eingesetzt, wobei Flexi-Flange®, Parapost® und ExactaCast® mit dem selbsthärtenden Komposit Flexi-Flow® Natural (EDS, USA) befestigt worden sind. Für den ER-Cerapost verwendeten die Autoren den Universal Post Cement (Brasseler,USA). Brett

und Cohen ermittelten für den Flexi-Flange® die mit 270,35 N im Mittel die höchsten und für den ER-Cerapost die im Mittel geringsten Haftwerte von 23,36 N. Die prägnante Differenz der von Brett und Cohen erzielten Haftkräfte ist vor allem in dem unterschiedlichen Design der Stifte begründet. Zudem wurde für den Keramikstift ein anderes Befestigungsmaterial eingesetzt. Im Vergleich liegen die von Brett und Cohen für den Cerapost ermittelten Haftwerte deutlich unter denen in dieser Untersuchung erzielten Werte und sind auf die Verwendung des anderen Befestigungsmaterials zurückzuführen.

Zum Retentionsverhalten von keramischen Wurzelstiften führten auch Purton und Love (2000) Untersuchungen durch: die Haftfestigkeit von ER-Ceraposts tiften der Grösse 2 wurde mit der von Parapost®-Stiften (Coltène/Whaledent, USA) aus Stahl verglichen. Während die Befestigung der Stahlstifte ohne Vorbehandlung mit Kompositzement erfolgte, wurde ein Teil der Keramikstifte einer Vorbehandlung durch Abstrahlen mit Aluminiumoxid unterzogen und anschließend mit dem gleichen Befestigungsmaterial eingeklebt.
Purton und Love konnten für Keramikstifte unabhängig von der Oberflächenbehandlung geringere Zugfestigkeiten als für die Parapost®-Stifte ermitteln. Als Ursache können einerseits die verschiedenen Stiftmaterialien und andererseits das abweichenden Design der Wurzelstifte in Betracht gezogen werden. Das Abstrahlen der Keramikstifte erzeugte in der Studie sehr unterschiedliche Ergebnisse, daher konnten die Autoren hierzu keine Empfehlung äußern und propagierten weitere Untersuchungen zu diesem Sachverhalt.

In einer weiteren In-vitro-Studie untersuchten Schönbrodt et al. (2003) die Haftfestigkeit zahnfarbener Wurzelstifte in Abhängigkeit von Vorbehandlungsmethoden sowie dem Befestigungskomposit. Zum Einsatz gelangten Stifte des Erlanger Systems (Komet, Lemgo) aus Zirkoniumoxid und glassfaserverstärktem Komposit im Vergleich mit Titanstiften. Zur Befestigung dienten der Dualzement Compolute (3M Espe) und das selbsthärtende Panavia 21® (Kuraray, Osaka, Japan), chemisch verwandt mit Panavia™ F 2.0. Das Stiftbett wurde allerdings auf einer Länge von 12 mm präpariert, was den Vergleich zu dieser Arbeit aber nicht nachhaltig beeinträchtigt.
In den beschriebenen Versuchen konnte der Autor für Cerapost bei unbehandelten und sandgestrahlten Oberflächen nur gering höhere Retentionswerte für den jeweiligen Befestigungszement ermitteln. Diese Beobachtung mit tendenziellem Charakter konnte auch in der vorliegenden Untersuchung gemacht werden (Gruppen 1-8). Die große Härte des Materials ermöglicht wahrscheinlich nur eine geringe zusätzliche Rauigkeit der Oberfläche

durch Abstrahlen. Mit 195 N für unbehandelte und 220 N für sandgestrahlte Keramikstifte liegen die Werte für Panavia® aber deutlich unter denen in dieser Studie gemessenen Haftfestigkeiten (290,47 N bzw. 417,97 N).
Zwischen Dentinpost und Cerapost konnten Schönbrodt et al. keine signifikanten Unterschiede bezüglich der eingesetzten Befestigungszemente ermitteln. Im Gegensatz dazu konnte in der vorliegenden Arbeit aber für drei der verwendeten Kompositzemente (Gruppen 10-12) eine höhere Haftfestigkeit erreicht werden als bei den Keramikstiften. Dies liegt offensichtlich an den eingesetzten Materialien.
Schönbrodt et al. empfehlen allerdings eine tribochemische Beschichtung von Keramik- und Fiberglassstiften zur Steigerung der Haftfestigkeit.

Sahafi et al. (2003) konnten die guten Eigenschaften von Panavia F 2.0™ als dualhärtendes Befestigungsmaterial für zahnfarbenen Wurzelstifte bestätigen: in einer In-vitro-Studie untersuchten sie in axialen Zugversuchen die Haftfestigkeit von Titanstiften (ParaPost®, Coltène Whaledent, USA), glasfaserverstärktem Kompositstiften (ParaPost Fiber White®, Coltène Whaledent, USA) und Zirkonium (ER-Cerapost, Komet, Lemgo). Als Befestigungsmaterial kam neben Panavia® der ebenso dualhärtende Kompositzement ParaPost Cement® (Coltène Whaledent, USA) zum Einsatz. Vor der Applikation mit Zement wurden die Stifte u.a. durch Sandstrahlen aufgeraut und danach mit Flusssäure angeätzt oder silanisiert.
Als Resultat erzielten Sahafi et al. gegenüber dem ParaPost Cement® signifikant höhere Retentionswerte für Panavia F 2.0 in allen Versuchsreihen der Untersuchung. Diese Beobachtung kann in der vorliegenden Untersuchung für die Cerapost-Stifte bestätigt werden, nicht aber auf die hier verwendeten Dentinpoststifte übertragen werden. Ein Grund dafür liefert das abweichende, parallelwandige Design der zahnfarbenen ParaPost Fiber White-Stifte. Abstrahlen mit anschließendem Silanisieren führte sowohl bei Fiberglassstiften als auch ER-Ceraposstiften zu einer signifikanten Retentionssteigerung und konnte von Sahafi et al. als die effektivste Vorbehandlung für beide Dualzemente ermittelt werden. Auch diese Beobachtung widerspricht den in dieser Studie gemachten Erfahrungen und kann nur mit dem zusätzlichen Silanisieren der Stiftoberflächen erklärt werden. Sahafi et al. haben aber gezeigt, das Dualzemente zur adhäsiven Befestigung zahnfarbener Wurzelstifte geeignet sind.
Mit dem Abzugsverhalten faserverstärkter Wurzelkanalstifte in Abhängigkeit adhäsiver Befestigungszemente beschäftigten sich Wrbas et al. (2005) in einer Untersuchung. In der In-vitro-Studie wurden zwei verschiedene glasfaserverstärkte Wurzelkanalstiftsysteme mit

konischem Design (ER-Dentinpost ®, Komet und DT-Light Post®, VDW) in Kombination mit fünf verschiedenen Adhäsivzementen untersucht. Als Befestigungsmaterialien gelangten analog zu dieser Studie neben RelyX™ Unicem auch Panavia™ F 2.0 und drei weitere Zemente zum Einsatz. Die Insertionstiefe der Stifte war mit 12 mm etwas größer gewählt als in der vorliegenden Arbeit.

Für Dentinpost-Stifte ergab die Kombination mit RelyX Unicem mittelwertige Abzugskräfte von 234,7 N und mit Panavia F 2.0 von 221,7 N. Damit liegen die Werte für Panavia F 2.0 in der gleichen Größenordnung wie die in dieser Untersuchung erreichten Haftkräfte (Gruppe 9). Mit 323,26 N im Mittel (Gruppe 10) konnten für RelyX™ Unicem und Dentinpost aber um 50 % höhere Abzugskräfte in dieser Studie gemessen werden und zeigt, dass RelyX Unicem durchaus eine gutes Befestigungsmaterial für Fiberglassstifte darstellt.

Warum Wrbas et al. trotz einer um 2 mm größeren Stifttiefe keine Steigerung der Retention, sondern geringere Werte erhalten haben als in dieser Studie, bleibt unklar. Für DT-Light Post-Stifte ermittelte der Autor der o.g. Studie bei Verwendung von RelyX Unicem mit 211,6 N im Mittel signifikant niedrigere Abzugskräfte im Vergleich zur Applikation mit Panavia F 2.0 bei mittelwertigen 321,7 N.

Somit konnten auch Wrbas et al. beobachten, dass die Kombination von Stift- und Befestigungsmaterial einen direkten Einfluss auf die Zugfestigkeit der Wurzelstifte hat.

In der vorliegenden Studie wurden dualhärtende Adhäsivzemente verwendet, deren Systeme zu einer unterschiedlichen Konditionierung der Dentinoberfläche führen. Während Nexus 2® und Bifix QM® den Haftverbund an der Dentinoberfläche durch Anätzen mit Phosphorsäure und Applikation eines chemisch härtendem Haftvermittlers erreichen, werden bei Panavia™ F 2.0 die Teilschritte der Dentinkonditionierung durch den selbstkonditionierenden ED-Primer II zusammengefasst. RelyX™ Unicem kommt ohne jeglichen Vorbehandlungsschritt aus. Der Haftverbund beruht laut Hersteller auf der Verwendung mehrfach funktioneller Monomere, die mit sauren Phosphatgruppen ausgestattet eine Anhaftung am Kanaldentin ermöglichen.

In dieser Untersuchung wurden die höchsten Abzugskräfte mit den neuartigen selbstkonditionierenden Adhäsivsystemen erzielt. Diese sind offenbar eine sicher funktionierende Alternative zu den klassischen Befestigungskompositen auf Säureätztechnik-Basis und diesen mitunter überlegen. Ob und bezüglich welcher Eigenschaften diese Einkomponentensysteme mit anderen Adhäsivtechnologien vergleichbar sind, wird in der Literatur diskutiert (Haller & Blunck 2003).

Für den glasfaserverstärkten ER-Dentinpost scheint es neben einer mikromechanischen Verankerung an den Faserrillen der Oberfläche auch einen chemischen Verbund mit den Kompositmaterialien zu geben. Hinweise darauf konnten auch die elektronenmikroskopischen Bilder dieser Studie liefern: hier wurde beobachtet, dass ein Großteil der ER-Dentinpost-Stifte nach den Zugversuchen mit Befestigungsmaterial bedeckt waren.
Faserverstärkte Wurzelstifte sind Kompositwerkstoffe, deren Bestandteile über eine Kunstharzmatrix, zumeist Epoxydharz, verbunden sind. In der Literatur wurde bereits die Eigenschaft der Epoxydharze beschrieben, über freie Radikale einen chemischen Verbund mit den Bis-GMA-haltigen Kompositen einzugehen (Malferrari & Monaco 2002). Warum diese Beobachtung aber nicht für den hier verwendeten Befestigungszement Nexus2® gemacht werden konnte, kann nicht genau erklärt werden und liegt vermutlich an den chemisch-physikalischen Eigenschaften dieses Dualzementes.

Aufgrund der von den Herstellerfirmen nicht deklarierten Zusammensetzung fällt es schwer zu erklären, inwiefern sich die Versuchsmaterialien genau in ihren chemischen Eigenschaften unterscheiden und welche Auswirkung dies auf den Haftverbund hat. Es kann aber als wahrscheinlich angesehen werden, dass die Stiftretention auch durch verschiedene physikalische Faktoren wie Dentinrauigkeit und Zementspaltbreite beeinflusst wird.
Darüber hinaus hat vermutlich auch die technisch schwierige Durchführung der Applikation von Adhäsivsystemen in den engen Wurzelkanälen einen Einfluss auf die Hafteigenschaften der Stifte. Dies könnte auch eine Erklärung für die teilweise weit gestreuten Werte in den einzelnen Versuchsgruppen sein.
Es ist also unsicher, die in dieser Untersuchung erzielten Abzugskräfte einzig den Eigenschaften der verwendeten Materialien zuzuschreiben.

Den gewonnenen Ergebnissen zufolge kann Panavia™ F 2.0 für die keramischen ER-Cerapost-Stifte als Befestigungsmaterial der Wahl angesehen werden. Für glasfaserverstärkte ER-Dentinpost-Stifte hingegen kann als Befestigungszement RelyX™ Unicem empfohlen werden. Dieser ist sowohl Panavia™ F 2.0 als Bifix QM® bezüglich Haftkraft und Verarbeitbarkeit geringfügig überlegen.
Eine Vorbehandlung der Keramikoberfläche von ER-Dentinpost durch Abstrahlen mit Aluminiumoxid scheint nach den in dieser Studie gemachten Ergebnissen nicht lohnenswert.

6.0 Zusammenfassung

Wurzelkanalstifte besitzen immer dann eine Indikation, wenn endodontisch behandelte Zähne mit künstlichen Kronen restauriert werden sollen, die natürliche Krone jedoch durch Karies oder Trauma einen hohen Destruktionsgrad aufweist und das Stumpfaufbaumaterial in der Haftung unterstützt werden muss. Die Verankerung der endodontischen Stifte im Wurzelkanal kann aktiv durch Gewinde oder passiv durch Zementierung erfolgen.

Aktive Schraubensysteme beinhalten jedoch die Gefahr von Frakturen durch unerwünschte Spannungen innerhalb der Wurzel während des Einsetzvorgangs oder bei Belastung. Mit passiven Stiftsystemen kann die Frakturgefahr vermindert werden. Sie werden nach ihrem Design in zylindrische, konische und Kombinationsformen unterteilt.
Da die Retention dieser Stifte im Wurzelkanal ausschließlich auf dem Einsatz von mischbaren Befestigungsmaterialien beruht, lösen sie kaum Spannungen innerhalb der Wurzel aus. Als Hauptkriterien für ihre retentiven Eigenschaften sind vor allem Stiftdesign, Stiftlänge, Oberflächenbeschaffenheit und die verwendete Zementart zu nennen.

Ziel der vorliegenden In-vitro-Studie war es, das Retentionsverhalten von zwei zahnfarbenen Wurzelstiften des Erlanger-Systems Abhängigkeit von dualhärtenden Kompositzementen und Vorbehandlungtechniken zu überprüfen.

Zu diesem Zweck wurde in den Wurzeln von 120 extrahierten und endodontisch behandelten Zähnen je ein 10 mm langer Wurzelkanalstift inseriert. Die in dieser Untersuchung verwendeten Stifte unterschieden sich in ihrem Material, nicht aber in ihrem Design. Es kamen in dieser Studie konische Wurzelstifte aus Zirkoniumoxid (Komet, Lemgo, D) sowie glasfaserverstärktem Komposit (Komet, Lemgo, D) zum Einsatz. Diese wurden je nach Versuchgruppe durch Abstrahlen mit Aluminiumoxidpulver vorbehandelt und anschließend mit den vier dualhärtenden Kompositzementen Panavia™ F 2.0 (Kuraray Co. Ltd., Japan), RelyX™ Unicem (3M Espe, Seefeld, D), Bifix QM® (Voco, Cuxhaven, D) und Nexus2® (Kerr, USA) im Wurzelkanal adhäsiv befestigt.
Nach der Befestigung der Stifte wurden die Proben für 24 Stunden in isotonischer Kochsalzlösung gelagert und anschließend axialen Zugkräften ausgesetzt.
Dabei ermittelte ein PC-Programm die maximale Kraft (in Newton), die zum vollständigen Abriss der Stifte aus dem Wurzelkanal führte. Diese wurde als ein Maß für das Retentionsvermögen der Stifte angesehen.

Die ermittelten Werte variierten sowohl zwischen den Befestigungszementen als auch innerhalb der Stiftmaterialien. Der statistische Vergleich zwischen den Versuchsgruppen erfolgte mittels der einfachen Varianzanalyse (ANOVA) und des Tukey's Studentized Range Tests sowie Bonferroni-Holm Tests.
Die ER-Cerapost-Stifte zeigten statistisch signifikante Unterschiede zwischen den verwendeten Befestigungsmaterialien: So wurden mit dem Befestigungskomposit Panavia™ F 2.0 signifikant höhere Retentionswerte erzielt als mit den übrigen Dualzementen. Der Einfluss der Vorbehandlung der Keramikoberfläche durch Abstrahlen hatte keinen messbaren Einfluss auf die Haftkraft.
Innerhalb der ER-Dentinpost-Versuchsreihe ergaben sich ebenfalls signifikante Unterschiede zwischen den Befestigungsmaterialien zugunsten des Komposites RelyX™ Unicem. Jedoch eignete sich auch hier Panavia™ F 2.0 neben Bifix QM® als Klebstoff für glasfaserverstärkte Kompositstifte. Einzig der Dualzement Nexus 2® vermochte bei beiden Stiften keine ausreichende Retention zu bieten.
Die mikroskopische Betrachtung der Versuchszähne hat gezeigt, dass der Versagensmechanismus für den Verlust der Stiftretention je nach Versuchsgruppe adhäsiv im Verbund von Befestigungszement zum Kanaldentin bzw. zur Stiftoberfläche lag oder kohäsiv innerhalb der Zementschicht beobachtet werden konnte.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit kann geschlussfolgert werden, dass Dualzemente grundsätzlich als Befestigungsmaterial für zahnfarbene Wurzelstifte aus Zirkoniumoxid oder Fiberglass geeignet sind. Allerdings sollte bei der Auswahl des Dualzementes berücksichtigt werden, aus welchem Material der verwendete Wurzelstift besteht. Allerdings ist die Vorbehandlung von Wurzelkanalstiften aus Zirkoniumoxid mit Aluminiumoxidpulver zur Erzielung einer höheren Haftkraft nicht lohnenswert.

Die in dieser Untersuchung ermittelten Daten bezüglich der Retention für Wurzelkanalstifte des Erlanger Systems beruhen einzig auf axialen Zugversuchen. Unter In-vivo-Bedingungen werden Wurzelstifte jedoch nicht nur axialen Abzugskräften ausgesetzt, sondern stehen im Mund auch unter Scher-, Druck- sowie weiteren physikalischen Belastungen während des Kauvorgangs.
Neben einer Folgestudie, die den Einfluss einer Wechsellast auf die Retention von Wurzelstiften untersuchen könnte, wäre zudem auch eine klinische Untersuchung über das Langzeitüberleben der eingesetzten Materialien interessant.

7. Literaturverzeichnis

1. American Association of Endodontics: Restoring endodontically treated teeth. American Assoc Endod 27, 1-4 (1995)

2. Assif D, Ferber A: Retention of dowels using a composit resin as a cementing medium. J Prosthet Dent 48 (1982) 292-296

3. Attin T, Hellwig E, Hilgers R.-D: Der Einfluss verstärkender Wurzelstifte auf die Frakturanfälligkeit endodontisch versorgter Zähne. Dtsch Zahnärztl Z 49 (1994) 586-589

4. Barnett F, Trope M., Khoja M, Tronstad L: Bacteriologic status of root canal after sonic, ultrasonic and hand instrumentation. Endodont Dent Traumatol 1 (1985) 228-231

5. Bateman, Ricketts & Saunders: Fibre-based post systems: A review. Br Dent J (2003) 195 (1):43-8

6. Baumann MA: Die Wurzelkanalfüllung. In: Heidemann D (Hrsg): Endodontie
Urban & Fischer, München/Jena, 2001, S. 124-164

7. Beer R, Baumann MA: Endodontologie. In: Rateitschak, K.H (Hrsg): Farbatlanten der Zahnmedizin. Band 7. Georg Thieme , Stuttgart/New York, 1997, S. 107-144

8. Boone KJ, Murchison DF, Schindler WG, Walher WA: Post retention: the effect of sequence of post-space preparation, cementation time and different sealers.
J Endod 27 (2001) 768-771

9. Boschian Pest L, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M: Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. Dent Mater 18 (2002) 596-602

10. Bystrom A, Sundqvist G: Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. Scand J Dent Res 89 (1981) 321-328

11. Caughman WF, O`Connor RP, Williams HA, Rueggeberg FA: Retention strengths of three cements using full crown preparations restored with amalgam.

12. Cathro PR, Chndler NP, Hood JA: Impact resistance of crowned endodontically treated central incisor with internal composit cores. Endod Dent Traumatol 12 (1996) 124-128

13. Chapman KW, Worley JL, von Frauenhofer JA: Retention of prefabricated posts by cements and resins. J Prosthet Dent 54 (1985) 649-652

14. Cohen BI, Condos S, Musikant BL, Deutsch AS: Pilot study comparing the photoelastic stress distribution for four endodontic post systems. J Oral Rehabil 23 (1996) 679-685

15. Cohen BI, Pagnillo M, Musikant BL, Deutsch AS: Comparison of the retentive and photoelastic properties of two prefabricated endodontic post systems. J Oral Rehabil 26 (1999) 488-494

16. Cohen BI, Pagnillo M, Newman I., Musikant BL, Deutsch AS: Retention of four endodontic post cemented with composite resin. Gen Dent May / June (2000) 320-324

17. Cooney JP, Caputo AA, Trabert KC: Retention and stress distribution of tapered-end endodontic posts. J Prosthet Dent 55 (1986) 540-546

18. Deutsch AS, Musikant BL, Cavallari J, Bernardi S: Retentive properties of a new post and core system. J Prosthet Dent 53 (1985) 12-14

19. DGZMK-Stellungsnahme: Wurzelkanalfüllpasten und –füllstifte. Dtsch Zahnärztl Z 55 (2000) 9-11

20. Dietschi D, Romelli M; Goretti A: Adaption of adhesive posts and cores to dentin after fatigue testing. Int J Prosthodont 10, 498-507 (1997)

21. Duncan JP, Pameijer CH: Retention of parallel-sided titanium posts cemented with six luting agents: A in vitro study. J Prosthet Dent 80 (1998) 423-428

23. Edelhoff D, Heidemann D, Kern M, Weigl P: Gemeinsame Stellungsnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ: Aufbau endodontisch behandelter Zähne.
Dtsch Zahnärztl Z 58 (2003) 199-201

24. Fauchard P: Le chirurgien dentiste on trâite des dents. Tome 2, 2ieme edition Mariette Paris (Repr.)

25. Fava L: The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation.
J Endodont 9 (1983) 76-80

26. Finger W: Bergiffsbestimmung der Werkstoffprüfung. In: Eichner K, Kappert HF (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 7. Aufl. (2000) Georg Thieme Verlag. Stuttgart-New York S. 385-397

27. Frederiksson M, Astbäck J, Pamenius M, Arvidson K: A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon-fiber-reinforced epoxy resin posts. J Prost Dent 80 (1998), 151-157

28. Gilpatrick RO, Ross JA, Simonsen RJ: Resine-to-enamel bond strengths with various etching times. Quintessence Int 22 (1991) 47-49

29. Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH: Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. J Endodont 8 (1982) 550-554

30. Goldman M, De Vitre R, Pier M: Effect of the dentin smeared layer on tensile strength of cemented posts. J Prosthet Dent 52 (1984) 485-488

31. Goldstein GR, Hudis SI, Weintraub DE: Comparison of four techniques for the cementation of posts. J Prosthet Dent 55 (1986) 209-211

32. Goodacre CJ, Spolnik KJ: The prosthodontic management of endodotically treated teeth: a literatur review. J Prosthodont 4 (1995) 122-128

33. Goreva LA, Petrikas AZ: Postobturation pain associated with endodontic treatment. Stomatologiia (2004); 83(2) 14-6

34. Guzy GE, Nicholls JI: In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. J Prosthet Dent 42 (1979) 39-44

35. Hagge MS, Wong RD, Lindemuth JS: Effect of three root canal sealers on the retentive strength of endodontic posts luted with a resin cement. Int Endod J 35 (2002) 372-378

36. Haller B, Blunck U: Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme. Zahnärztliche Mitteilungen 93 (2003) 48-58

37. Hansen EK, Asmussen E, Christiansen NC: In vivo fractures of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam. Endod Dent Traumatol 6 (1990) 49-55

38. Helfer AR, Melnick S, Schilder H: Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. Oral Surg 34 (1972) 661-670

39. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Endodontologie. In: Einführung in die Zahnerhaltung. 2. Aufl., Urban & Fischer, München/Jena, 1999a, S. 217-295

40. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Restauration mit plastischen Füllungsmaterialien. In: Einführung in die Zahnerhaltung. 2.Aufl., Urban & Fischer, München/Jena, 1999b, S. 122-190

41. Howe CA, McKendry DJ: Effect of endodontic access preparation on resistance to crown root fracture. J Am Dent Assoc 121 (1990) 712-715

42. Huang TG, Schilder H, Nathanson D: Effect of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin. J Endodont 18 (1992) 209-215

43. Huber K, Thoma M, Wrbas T, Hanning M: Adhäsiver Verbund faserverstärkter und keramischer Wurzelstifte. Autoreferateband der 16. Jahrestagung der Deutschen Gesllschaft für Zahnerhaltung in Leipzig (2002)

44. Hülsmann M: Die Wurzelkanalspülung – Ziele, Mittel und Techniken.
Endodontie 6 (1997) 47

45. Hülsmann M: Die Aufbereitung des Wurzelkanals. In: Heidemann D (Hrsg): Endodontie, Urban & Fischer, München/Jena, 2001, S. 80-122

46. Ingle JI: A standardized endodontic technique using newly designed instruments and filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14 (1961) 83-91

47. Johnson JK, Sakumura JS: Dowel form and tensile force.
J Prosthet Dent 40 (1978) 645-649

48. Kantor ME, Pines MS: A comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. J Prosthet Dent 38 (1983) 1007-1014

49. Kent BE, Wilson AD: The properties of glas ionomer cement.
Br Dent J 135 (1973) 322-326

50. Kern M, Neikes MJ, Strub JR: Haftfestigkeit des Klebeverbundes auf In-Ceram nach unterschiedlicher Oberflächenkonditionierung. Dtsch Zahnärztl Z 46 (1991) 758

51. King PA, Setchell DJ: An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth. J Oral Rehabil. 17 (1990) 599-609

52. Kirchoff W: Untersuchungen über die axiale und horizontale Belastbarkeit verschiedener intraradikulärer Stiftverankerungen an natürlichen Zähnen. 1. und 2. Teil. Zahnärztl Welt 87 (1978) 1014-1063

53. Körber KH, Ludwig K: Maximale Kaukraft als Berechnungsfaktor zahntechnischer Restaurationen. Dent Labor 31 (1983) 55

54. Kwiatkowski SJ, Geller W: A preliminary consideration of the glassceramic dowel post and core. Int J Prosthodont 2 (1989) 51

55. Langeland K.: Management of the inflamed pulp associated with deep carious lesion.
J Endodont 7 (1981) 169-181

56. Lau VM: The reinforcement of endodontically treated teeth.
Dent Clin N Am 20 (1976) 313-328

57. Lauer HC, Ottl P, Weigl P : Mechanische Belastbarkeit verschiedener Stiftaufbausysteme.
Deutsche Zahnärztl Z 49 (1994) 985-989

58. Lin L, Langeland K: Innervation of the inflammatory periapical lesion.
Oral Surg 51 (1981) 535-543

59. Linn J, Messer HH: Effect of restorative procedures on the strength of endodontically treated molars. J Endodont 20 (1994) 479-485

60. Ludwig K: Metall-Kunststoff-Verbundsysteme. In: Eichner K, Kappert HF (Hrsg.): Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 7. Aufl. (2000) Georg Thieme Verlag. Stuttgart-New York S. 251-272

61. Lüthy H, Schärer P, Gauckler L : New materials in dentistry : Zirconia posts. In: The Monte Verità Conference on biocompatible materials systems , Acona, Schweiz 1993, S. IV

62. Malferrari S, Monaco C, Scotti R: Composition, microstructure and morphology of the posts. In: Ferrari M, Scotti R (Hrsg.): Fiber posts characteristics and clinical applications. Milano (2002)

63. Mannocci F, Ferrari M, Watson TF: Intermittent loadinget of teeth restored with quartz fiber, carbon-quartz fiber and zirconium dioxide ceramic root canal posts. J Adhes Dent 1 (1999) 153-158

64. Martinez-Insua A, da Silva L, Rilo B, Santana U: Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core.
J Prosthet Dent 80 (1998) 527-532

65 Marxkors R: Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln/München, 2000

66. Mendoza DB, Eakle WS: Retention of post cemented with various dentinal bonding cements. J Prosthet Dent 72 (1994) 591-594

67. Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, HO R: Rott reinforcement with a resin-bonded preformed post. J Prosthet Dent 78 (1997) 10-15

68. Mentink AG, Meeuwissen R, Kayser AF, Mulder J: Survival rate and failure characteristics of the all metal post and core restoration. J Oral Rehabil 20 (1993) 455-461

69. Meyenberg KH, Luthy H, Scharer P: Zirconia posts: A new all-ceramic concept for nonvital abutment teeth. J Esthet Dent 7 (1995) 73-80

70. Michnick BT, Raskin BB: A multiple post-core technique.
J Prosthet Dent 39 (1978) 622-626

71. Naumann M, Blankenstein F: Adhäsive Restauration endodontisch behandelter Zähne mit Hilfe glasfaserverstärkter Kompositstifte. Qintessenz 53 (2002) 539-547

72. Nergiz I, Schmage P, Platzer U, McMullan-Vogel CG: Effect of different surface textures on retentive strength of tapered posts. J Prosthet Dent 78 (1997) 451-457

73. Nergiz I, Schmage P, Özcan M, Platzer U: Effect of length and diameter of tapered posts on the retention. J Oral Rehabil 29 (2002) 28-34

74. Nolden R: Die Stiftverankerte Krone aus sicht der Zahnerhaltung.
Deutsch Zahnärztl Z 40 (1985) 1083-1088

75. Ottl P, Hahn L, Lauer H-Ch, Fay M: Fracture characteristics of carbon fibre, ceramic and non-palladium endodontic post systems at monotonously increasing loads.
J Oral Rehabil 29 (2002) 175-183

76. Papa J, Cain C, Messer HH: Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol 10 (1994) 91-93

77. Peters LB: Präparation der endodontischen Zugangskavität und Darstellung der Kanäle. I. Schneidezähne und Eckzähne. Endodontie 1 (1992) 57

78. Pissis P: Fabrication of a metal-free ceramic restoration utilizing the monobloc technique. Pract Periodontics. Aesthet Dent 7 (1995) 83-94

79. Purton D G, Love R M, Chandler N P: Rigidity and retention of ceramic root canal posts. Oper Dent 25 (2000) 223-7

80. Radke RA, Barkhordor RA, Podesta RE: Retention of cast posts: Comparison of cementing agents. J Prosthet Dent 59 (1988) 318-320

81. Randow K, Glantz PO: On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study. Acta Odontol Scand 44 (1986) 271-277

82. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH: Reduction in tooth stiffness as a results of endodontic and restorative procedures. J Endodont 15 (1989) 512-516

83. Riedling W, Kappert HF: Veränderung einer Gingivaverfärbung nach Austausch eines Wurzelstiftes und Versorgung mittels Glaskeramik – Ein Fallbericht.
Quintessenz 39 (1988) 1919-1925

84. de Rijk WG: Removal of fiber posts from endodontically treatet teeth. Am J Dent 13 (2000) 19B-21B

85. Rocke H, Kerschbaum Th, Fehn C: Zur Verweildauer wurzelkanalbehandelter Zähne.
Dtsch Zahnärztl Z 52 (1997) 783-786

86. Rosentritt M, Fürer C, Behr M, Lang R, Handel G: Comparison of in vitro fracture of metallic and tooth-colored posts and cores. J Oral Rehab 27 (2000) 595-601

87. Ruemping DR, Lund MR, Schnell RJ: Retention of dowels subjected to tensile and torosional forces. J Prosthet Dent 41 (1979) 159-162

88. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K: Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated posts of titanium alloy, glass fiber, and zirconia.
J Adhes Dent 5 (2003) 153-162

89. Schäfer E: Struktur der Pulpa und ihre Erkrankungsformen In: Heidemann D (Hrsg): Endodontie. Urban & Fischer, München/Jena, 2001, S. 1-24

90. Schmalz G: Die Gewebeverträglichkeit zahnärztlicher Materialien.
Georg Thieme, Stuttgart, 1981

91. Schönbrodt M, Schmage P, Nergiz I, Platzer U: Haftfestigkeit zahnfarbener Wurzelstifte abhängig von der Oberflächenbehandlung und dem Befestigungskomposit. Dtsch Zahnärzt Z 58 (2003) 55-59

92. Schroeder HE: Pathobiologie oraler Strukturen. Krager, Basel, 1991, S. 117

93. Sedgley CM, Messer HH: Are endodontically treated teeth more brittle?.
J Endodont 18 (1992) 332-335

94. Shillingburg HT, Kessler JC: Restauration von Wurzelbehandelten Zähnen. Quintessenz Verlag 1982

95. Sidoli GE, King PA, Derrick J: An in vitro evaluation of carbon fiber-based post and core system. J Prosthet Dent 78 (1997) 5-9

96. Simon MHP, Paffrath J: Neue Perspektiven zur vollkeramischen Stabilisierung und zum Aufbau devitaler Zähne. Quintessenz 46 (1995) 1-17

97. Sirimai S, Riis DN, Morgano SM: An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-cores-systems. J Prosthet Dent 81 (1999) 262-269

98. Smith CT, Schuman N: Restoration of endodontically treated teeth: A guide for the restorative dentist. Qunintessence Int 28 (1997) 457-462

99. Sorensen JA, Martinoff JT: Inracoronal reinforcement and coronal coverage: A study of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 51 (1984a) 780-784

100. Sorensen JA, Martinoff JT: Clinically significant factors in dowel designe.
J Prosthet Dent 52 (1984b) 28-35

101. Sorensen JA, Martinoff JT: Endodontically treated teeth as abutments.
J Prosthet Dent 52 (1985) 631-636

102. Spångberg L: Biological effects of root canal filling materials.
Odont Revy 20 (1969) 123-145

103. Standlee JP, Caputo AA, Collrad EW, Pollack MH: Analysis of stress distribution by endodontic posts. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 33 (1972) 952-960

104. Standlee JP, Caputo AA, Hanson EC: Retention of endodontic dowels: Effects of cement, dowel length, diameter and design. J Prosthet Dent 39 (1978) 401-405

105. Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J, Trabert KC: The retentive and stress-distributing properties of a theraded endodontic dowel. J Prosthet Dent 44 (1980) 398-404

106. Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J: The dentatus screw: coparative stress analysis with other endodontic dowel designs. J Oral Rehabil 9 (1982) 23-33

107. Standlee JP, Caputo AA: Endodontic dowel retention with resinous cements. J Prosthet Dent 68 (1992) 913-917

108. Standlee JP, Caputo AA: Effect of surface design on retention of dowels cemented with a resin. J Prosthet Dent 70 (1993) 403-405

109. Stiefenhofer A, Stark H, Hackhofer T: Biomechanische Untersuchungen von Stiftaufbauten mit Hilfe der Finite-Element-Analyse. Dtsch Zahnärztl Z 49 (1994) 711-715

110. Strub, J.R., Trüp, J.C., Witkowski, S., Hürzel, M.B., Kern, M.: Curriculum Prothetik I. Quintessenz Verlag , Berlin, 1994, S. 265-291

111. Trabert KC, Caputo AA, Abou-Rass M: Tooth fracture: a comparison of endodontic and restorative treatments. J Endodont 4 (1978) 341-345

112. Trope M, Maltz M, Tronstad L:Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. Endodont Dent Traumatol 1 (1985) 108-111

113. Voß A: Die Wurzelkanallängenbestimmung – Röntgenologisch oder endometrisch. In: APW (Hrsg): Endodontie. Hanser, München, 1993, S. 49

114. Weine FS, Wax AH, Wenckus ChS: Retrospective study of tapered, smooth, post systems in place for 10 years or more. J Endodont 17 (1991) 293-297

115. Wirtz J: Der gegossene Frontzahnaufbau – materialkundliche Aspekte. Schweiz Monatsschr Zahnmed 93 (1983) 1090-1103

116. Wood WW: Retention of posts in teeth with nonvital pulps. J Prosthet Dent 49 (1983) 504-506

117. Wrbas KT, Kampe M, Schirrmeister JF, Altenburger MJ, Schemionek W, Hellwig E: Abzugskräfte faserverstärkter Wurzelkanalstifte in Abhängigkeit adhäsiver Befestigungsmaterialien. Dissertation zur Erlangung des Akademischen Grades Dr. med. dent (2005)

8. Thesen

1. Der pulpaerkrankte Zahn kann oftmals nur durch eine endodontische Behandlung erhalten werden. Dabei werden erkranktes Pulpagewebe entfernt, die Wurzelkanäle mit Spüllösungen desinfiziert sowie mit einer bakteriendichten Wurzelfüllung versehen und die Zugangskavität koronal verschlossen. Diese Behandlung ist Vorraussetzung für eine spätere Rekonstruktion des pulpatoten Zahnes.

2. Die physikalischen Eigenschaften der Zahnhartsubstanz werden durch die endodontische Behandlung nicht wesentlich verändert. Die Schwächung dieser Zähne resultiert aus dem Zahnhartsubstanzverlust, der durch Schaffen der Zugangskavität und Entfernung des Pulpakammerdaches entsteht.

3. Je nach Zerstörungsgrad der klinischen Krone können endodontisch behandelte Zähne mit Kompositfüllungen, Teilkronen oder Kronen versorgt werden.

4. Ist die natürliche Krone endodontisch behandelte Zähne übermäßig stark zerstört, so wird diese vor einer Kronenversorgung mit Stumpfaufbaumaterialien rekonstruiert. Der intraradikulär verankerte Wurzelkanalstift dient dem Stumpfaufbau dabei lediglich als zusätzliches Verankerungselement am Zahn, erhöht aber nicht die Festigkeit endodontisch behandelter Zähne.

5. Metallische Wurzelkanalstifte können das ästhetische Erscheinungsbild einer Kronenversorgung negativ beeinflussen. Die Verwendung zahnfarbene Wurzelstifte stellt daher eine viel versprechende Alternative zur metallfreien Stiftversorgung dar.

6. Stiftform und -oberflächenbeschaffenheit, Stiftlänge und -dimensionierung können die Haftkraft von passiv verankerten Wurzelkanalstiften maßgeblich beeinflussen.

7. Die vorliegende In-vitro-Studie ermöglichte es, an Wurzeln extrahierter menschlicher Zähne den Einfluss von vier dualhärtenden Befestigungscompositen und Vorbehandlungstechniken der Stiftoberfläche auf die Haftkraft von zahnfarbenen Wurzelstiften aus Zirkoniumoxid und Fiberglass durch axiale Zugversuche zu untersuchen.

8. Der axiale Zugversuch gilt als Grundversuch der statistischen Festigkeitsprüfung. Mit seiner Hilfe kann die Haftkraft für die jeweilige Kombination aus Wurzelkanalstiftsystem, Zementart und Vorbehandlung der Stiftoberfläche bestimmt und anschließend statistisch ausgewertet werden.

9. Das Rasterelektronenmikroskop ermöglicht eine Analyse aller Versuchsproben nach erfolgtem Zugversuch bezüglich der Zementhaftung an Stift und Kanalwand. Der Versagensmechanismus liegt je nach Versuchgruppe im Verbund zwischen der Kanalwand und dem Zement oder zwischen dem Zement und der Stiftoberfläche sowie innerhalb der Zementschicht.

10. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass zur Erzielung einer hohen Retention von zahnfarbenen Wurzelstiften die Wahl des Befestigungsmaterials, nicht aber die Oberflächenvorbehandlung entscheident ist. Die Untersuchung zeigt auch, dass dualhärtende Kompositzemente als Befestigungszement für zahnfarbene Wurzelstifte geeignet sind.

11. Abstrahlen der Oberfläche von Zirkoniumoxidstiften mit Aluminiumoxid führt zu keiner signifikanten Erhöhung der Retention.

12. Die in dieser Untersuchung erzielten Ergebnisse zeigen, dass die Wahl der Zementart von dem verwendeten Wurzelkanalstift abhängig ist. Neuartige selbstkonditionierende Befestigungskomposite stellen eine viel versprechende Alternative zu Kompositen mit klassischer Phosphorsäureapplikation dar.

13. Der axiale Zugversuch stellt die Standardmethode zur Bestimmung der Haftkraft verschiedener Befestigungszemente in Verbindung mit Wurzelkanalstiften dar. Sinnvoll wären jedoch weiterführende Unersuchungen, die den Einfluss einer Wechsellast auf die Retention dieser Stiftsysteme bestimmen.

Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Holger Vorderwülbecke
Anschrift:	Kanalstrasse 32 in 48147 Münster
Geboren am:	24.07.1978
Geburtsort:	Münster/Westfalen
Familienstand:	ledig

Schulausbildung

August 1985 - Juli 1989	Johannes Grundschule Mesum
August 1989 - Juni 1998	Arnold-Janssen-Gymnasium Neuenkirchen **Allgemeine Hochschulreife**

Zivildienst

1. Juli 1998 - 31. Juli 1999	Mathias-Spital Rheine

Studium

Okt. 1999	Immatrikulation an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg **Studium der Zahnheilkunde**
Juli 2000	Naturwissenschaftliche Vorprüfung
Mrz. 2002	Zahnärztliche Vorprüfung
Juli 2004 - Oktober 2004	**Staatsexamen (Zahnärztliche Prüfung) und Approbation zum Zahnarzt**

Berufliche Tätigkeit

seit 1. Januar 2005 in freier Praxis

Eidesstattliche Erklärung gemäß § 6 Abs. 1a der Promotionsordnung

Hiermit erkläre ich, **Holger Vorderwülbecke**, eidesstattlich, dass ich die vorliegende Arbeit mit dem Titel

Die Retention zahnfarbener Wurzelkanalstifte des Erlanger Systems
in Abhängigkeit von
dualhärtenden Zementen und Vorbehandlungstechniken
Eine in-vitro-Studie

ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation nicht vorher oder zeitgleich bei einer anderen Fakultät eingereicht habe und diese bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt worden ist.

Halle / Saale, den 28. Januar 2007

Holger Vorderwülbecke