

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



**Die Retention verschiedener Wurzelkanalstiftsysteme
in Abhängigkeit von
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 Martin Paul Widera
geboren am 17.11.1975 in Nikolai

Gutachter:

1. Prof. Dr. H.-G. Schaller (Halle/S.)
2. Prof. Dr. J. Setz (Halle/S.)
3. Prof. Dr. A. Kielbassa (Berlin)

Verteidigt am 25.11.2004

urn:nbn:de:gbv:3-000007846

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000007846>]

Endodontisch behandelte Zähne, die einen starken Destruktionsgrad der klinischen Krone aufweisen, werden im Kern aufgebaut und mit einer indirekt gefertigten Restauration im Sinne einer Überkronung versorgt. Zur Schaffung einer zuverlässigen Retention für das Stumpfaufbaumaterial müssen endodontische Wurzelkanalstifte zum Einsatz kommen. Diese werden im Wurzelkanal mittels Zement befestigt und vermitteln dem Stumpfaufbau eine zusätzliche Haftung am Zahn. Die Retention der Wurzelkanalstifte ist wiederum von vielen Faktoren abhängig. Ziel dieser in vitro Studie ist es, den Einfluss von zwei unterschiedlichen Zementarten und Vorbehandlungstechniken auf die Retention drei verschiedener Wurzelkanalstiftsysteme zu überprüfen. Untersucht wurden Carbonfaserstifte, Reintitanstifte und Zirkondioxidkeramikstifte in Kombination mit dem Glasionomerezement Ketac-Cem Aplicap® und dem Kompositzement Panavia™ F. In sieben der 13 Versuchsgruppen wurden die Stifte mit Aluminiumoxid sandgestrahlt. Die restlichen sechs Gruppen beinhalteten nicht vorbehandelte Stifte mit glatter Oberfläche. 130 kariesfreie, menschliche Frontzähne wurden zu diesem Zweck verwendet. Mit Hilfe einer Universalprüfmaschine wurde die Zugfestigkeit für die verschiedenen Verarbeitungsweisen ermittelt. Unter den Carbonfaserstiften erzielten die in Kombination mit Panavia™ F, mit 448,4 N bzw. 395,71 N im Mittel, signifikant höchste Zugfestigkeit (Tukey's Studentized Range Test). Die Vorbehandlung führte nicht zu Erhöhung der Retention. Die höchste Haftung bei den Titanstiften zwischen 410,12 N und 440,83 N wurde unabhängig von der Zementart durch Sandstrahlung erzielt. Beim Keramikstiftsystem konnte der höchste Haftwert von 362,45 N im Mittel nur bei vorbehandelten Stiften in Kombination mit Ketac-Cem Aplicap® erzielt werden. Die in der Untersuchung erzielten Ergebnisse lassen -mit den Einschränkungen einer in vitro Studie- die Vermutung zu, dass auch in der klinischen Anwendung kein universeller Einsatz einer Zementart und Vorbehandlungstechnik zur Erzielung einer hohen Retention bei der Befestigung von untersuchten Wurzelkanalstiften möglich ist. Die Wahl des Zementes und der Vorbehandlungstechnik ist somit abhängig von dem verwendeten Wurzelkanalstiftsystem. Folgende Untersuchungen sollten den Einfluss einer Wechsellast auf die Retention, der in dieser Studie verwendeten Stiftsysteme und Zemente ermitteln.

Widera, Martin Paul: Die Retention verschiedener Wurzelkanalstiftsysteme in Abhängigkeit von Zementen und Vorbehandlungstechniken. Eine in-vitro-Studie.
Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 71 Seiten, 2003

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.....	3
2.1.3 Spülung des Wurzelkanals.....	6
2.1.4 Wurzelkanalfüllung.....	6
2.2 Prognose endodontisch behandelter Zähne.....	6
2.3 Folgen der endodontischen Behandlung.....	7
2.4 Restauration endodontisch behandelter Zähne.....	7
2.5 Stiftaufbausysteme.....	8
2.5.1 Individuelle Stiftaufbauten.....	9
2.5.2 Halbkonfektionierte Stiftaufbauten.....	9
2.5.3 Vollkonfektionierte Stiftaufbauten.....	10
2.6 Anforderungen an Stiftaufbausysteme.....	10
2.6.1 Stiftlänge.....	11
2.6.2 Stiftdimension.....	12
2.6.3 Stiftform und -oberflächenbeschaffenheit.....	12
2.6.4 Befestigungsmaterial.....	13
2.6.5 Befestigungsmethoden.....	15
2.7 Ziel dieser Untersuchung.....	15

3. Material und Methode	17
3.1 Material	17
3.1.1 Versuchszähne.....	17
3.1.2 Angewandte Wurzelkanalinstrumente und Wurzelkanalfüllmaterialien.....	17
3.1.3 Verwendete Wurzelkanalstiftsysteme.....	17
3.1.4 Angewandte Befestigungsmaterialien.....	19
3.1.5 Verwendete Lösungen.....	21
3.1.6 AH Plus™ Sealer.....	22
3.1.7Guttaperchastifte.....	22
3.2 Methode	23
3.2.1 Probenvorbereitung.....	23
3.2.2 Versuchseinteilung.....	24
3.2.3 Probenherstellung.....	25
3.2.4 Zugversuche.....	26
3.2.5 Elektronenmikroskopie.....	28
3.2.6 Statistische Auswertung.....	28
4. Ergebnisse	29
4.1 Quantitative Analyse.....	29
4.2 Statistische Auswertung.....	31
4.3 Qualitative Analyse.....	33

5. Diskussion	47
5.1 Versuchsaufbau.....	46
5.2 Ergebnisanalyse.....	48
6. Zusammenfassung	57
7. Literaturverzeichnis	60
8. Thesen	69

1. Einleitung

Ein oft großes Problem bei wurzelkanalbehandelten Zähnen ist die dauerhafte Befestigung des Stumpfaufbaumaterials, um eine spätere Versorgung des Zahnes mit künstlicher Krone zu ermöglichen.

Diese Tatsache ist meistens auf den hohen Zahnhartsubstanzverlust durch Karies und auf die Wurzelkanalbehandlung zurückzuführen. Die adhäsive Säureätztechnik erlaubt uns heute eine Befestigung des Stumpfaufbaumaterials am Zahnschmelz und am Dentin mit einer Haftkraft von bis zu ca. 20 MPa (Gilpatrick et al. 1991).

Allerdings kann diese Haftkraft bei stark zerstörten Zähnen oft den auftretenden Kaukräften nicht standhalten. Die Folge ist der Verlust des Aufbaustumpfes und der künstlichen Krone. Aus diesem Grund muss das Stumpfaufbaumaterial bei nicht ausreichender koronaler Zahnhartsubstanz in seiner Befestigung unterstützt werden. Der Einsatz von endodontischen Wurzelkanalstiften kann dieses ermöglichen (Smith et al. 1997).

Schon Pierre Fauchard beschrieb 1728 die Möglichkeit eine künstliche Zahnkrone über einen Metallstift im Wurzelkanal ohne zusätzlichen Zement zu verankern. Diese Befestigungsform konnte jedoch keinen ausreichenden Halt für die Krone bieten.

Die Retention des Wurzelkanalstiftes in der Wurzel ist ein wesentlicher Faktor, der das Überleben der Restauration (künstl. Krone) mitbestimmt. Ist die Retention des Stiftes im Wurzelkanal nicht ausreichend, kann es zum Verlust des Stumpfaufbaus mitsamt der Krone kommen.

Heute werden stabile Stiftsysteme verwendet, die mit unterschiedlichen Materialien im Wurzelkanal des endodontisch behandelten Zahnes befestigt werden, wodurch ein schneller Verlust des Stumpfaufbaus und damit der künstlichen Krone verhindert werden soll.

Wir unterscheiden nach dem Retentionsprinzip zwei Gruppen von Stiftsystemen:

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

Die Stiftsysteme, die nach dem passiven Retentionsprinzip im Wurzelkanal mit Hilfe von verschiedenen Zementen befestigt werden, unterscheiden sich untereinander in ihrer Form, Dicke, Beschaffenheit der Oberfläche und dem Material. So gibt es in dieser Gruppe viele unterschiedliche Wurzelkanalstifte, die parallele oder konische Wände haben, breit oder schmal sind, eine glatte oder gewindeartige Oberfläche besitzen und aus Metall, Keramik oder anderen Materialien bestehen.

Das umfangreiche Angebot von endodontischen Wurzelkanalstiften zwingt den heutigen Zahnarzt die Vor- und Nachteile der verschiedenen Stiftsysteme zu kennen, um indikationsabhängig das richtige Stiftsystem einzusetzen.

Die Restauration des devitalen Zahnes ist für den Therapieerfolg von großer Bedeutung. Der Einsatz von Wurzelkanalstiften zur Unterstützung des Stumpfaufbaus bei endodontisch behandelten Zähnen mit geringer Restzahnhartsubstanz ist eine immer noch häufig anzutreffende Notwendigkeit.

Die feste Verankerung des Wurzelstiftes im Wurzelkanal ist mitentscheidend für den Langzeiterfolg des stiftverankerten Stumpfaufbaus.

Untersuchungen zum Retentionsverhalten von Wurzelkanalstiften haben gezeigt, dass neben der Stiftlänge, dem Stiftdesign und der Oberflächenbeschaffenheit des Stiftes, das Befestigungsmaterial von entscheidender Bedeutung ist.

Die passiven Stiftsysteme mit einem konischen Design erzielen geringere Retentionskräfte als parallelwandigen Stifte und Schraubensysteme, zementiert mit gleichem Zementmedium (Johnson et al. 1978; Cohen et al. 1999). Ihre Form entspricht jedoch dem anatomischen Verlauf der Zahnwurzel. Deswegen kann bei Verwendung von konischen Stiftsystemen eine apikal schonende Erweiterung des Wurzelkanals durchgeführt werden, ohne Schwächung der apikalen Region. Ebenfalls kann die unerwünschte Spannung innerhalb der Wurzel, die bei der Verwendung von Schraubensystemen auftritt, durch den Einsatz von passiven Stiftsystemen aufgehoben werden (Standlee et al. 1980; 1992).

Um den Nachteil der geringen Retention zu kompensieren, versucht man heute durch den Einsatz verschiedener Zementarten die unterschiedlichen konischen Stiftsysteme adäquat zu befestigen.

Ziel der folgenden Untersuchung war, es den Einfluss zwei verschiedener Zementarten - Ketac-Cem Aplicap® und Panavia™ F - auf die Retention von drei Stiftsystemen - Mirafit Carbon, ER-Cerapost und ER-System Reintitan- in Kombination mit deren unterschiedlicher Vorbehandlung zu untersuchen.

2. Literaturübersicht

2.1 Endodontische Behandlung

2.1.1 Erkrankung der Pulpa und ihre Folgen

Das Ziel der endodontischen Behandlung ist die Erhaltung des erkrankten Zahnes und die Verhinderung von Krankheiten, die von einem erkrankten Zahn ausgehen können.

Die Erkrankung der Zahnpulpa ist eine entzündliche Antwort des Pulpagewebes auf Reizstoffe. Die Ursachen dafür sind Bakterien und deren Stoffwechsel- und Zerfallsprodukte, die z.B. bei Karies vorkommen und zu einer irreversiblen Pulpitis führen können (Langeland, 1981).

Die pulpale Entzündung (sog. Pulpitis) kann wie o.g. durch Bakterieninvasion beim kariösen Defekt hervorgerufen werden oder aufgrund von physikalischen, chemischen und toxischen Irritationen eingeleitet werden. Dazu zählen iatrogene Faktoren, wie mechanische Bearbeitung der Zahnhartsubstanzen sowie zahnärztliche Füllungsmaterialien und Medikamente, aber auch traumatisch bedingte Zahnverletzungen und marginale Parodontopathien. Jedoch stellt Karies mit etwa 95% die Hauptursache aller Pulpaerkrankungen dar (Schäfer, 2001).

Erreicht Karies die Pulpa und legt sie frei, so tritt immer eine Nekrotisierung (Zell- o. Gewebstod) des Kronenpulpagewebes auf (Lin, 1981).

Damit erkennt man, dass die Ursache für eine Pulpanekrose oder eine Pulpitis hauptsächlich die bakterielle Infektion ist (Schroeder, 1991). Das Ziel der endodontischen Behandlung ist die Beseitigung pathogener Keime und des infizierten Pulpagewebes, sowie das Verhindern einer bakteriellen Reinfektion des Zahnes.

2.1.2 Wurzelkanalaufbereitung

Die endodontische Behandlung besteht in der Entfernung des erkrankten oder nekrotischen Pulpagewebes, Reinigung und antibakterielle Spülung des Wurzelkanals, einer bakteriendichten Füllung des Wurzelkanals sowie dem koronalen Verschluss zu Verhinderung eines neuen Infekts (Sundquist, 1992).

Um das erkrankte oder nekrotische Pulpagewebe aus dem Wurzelkanal zu entfernen, sind eine vollständige Entfernung der Karies, Präparation einer Zugangskavität und das Abtragen des Pulpadaches nötig. Dabei soll möglichst viel der gesunden Zahnhartsubstanz erhalten werden (Peters, 1992), was jedoch bei ausgedehnter Karies nicht immer möglich ist.

Nach Abtragung des Pulpadaches und Darstellung der Kanäleingänge werden die Länge des zu behandelnden Wurzelkanals und die endodontische Arbeitslänge röntgenologisch oder endometrisch bestimmt.

Dabei soll die endodontische Arbeitslänge und damit die Länge der Wurzelkanalaufbereitung 0,5- 1,0 mm vor dem röntgenologischen Apex enden (Voß, 1993).

Das Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanals und die Formgebung zur Aufnahme einer dichten und wandständigen Wurzelkanalfüllung.

Bei der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung mit bohrenden und schabenden Instrumenten wird die Keimzahl im Kanal durch den zirkulären Abtrag des infizierten Kanaldentins reduziert. Da aber Bakterien trotz mechanischer Reinigung in den Dentinkanälchen verbleiben, ist eine chemisch-medikamentöse Desinfektion des Wurzelkanals mit desinfizierenden Spülmitteln nötig (Bystrom & Sundqvist, 1981). Während der Aufbereitung wird das abgeschabte bakterienhaltige Dentin zudem nicht vollständig aus dem Wurzelkanal abtransportiert. Deshalb ist das Auflösen und Abtransportieren von infiziertem Gewebe bei gleichzeitiger antimikrobieller Wirkung die Aufgabe dieser desinfizierten Spülflüssigkeiten (Barnett et al. 1985; Hülsmann, 1997).

Die Formgebung für eine Wurzelfüllung kann durch verschiedene manuelle und maschinelle Wurzelkanalaufbereitungstechniken gewährleistet werden.

Man unterscheidet zwischen der apikal-koronalen und der koronal-apikalen Aufbereitungstechnik. Bei der apikal-koronalen Technik wird zuerst der apikale Bereich vollständig aufbereitet und anschließend der Kanal nach koronal konisch erweitert. Zu dieser Methode zählen u.a. die Step-back-Technik und die standardisierte Technik.

Die standardisierte Technik führt durch den Einsatz von Instrumenten in aufsteigender ISO-Größe bei gleich bleibender Arbeitslänge zu einer geringen Konizität des Kanals, die annähernd der Konizität des zuletzt verwendeten Instrumentes entspricht (Ingle, 1961). Mit dieser Technik aufbereitete Kanäle eignen sich für die Wurzelfüllmethode mit einem einzelnen Zentralstift, weil die laterale Kondensationstechnik aufgrund der geringen Konizität des Kanals kaum anwendbar ist (Hülsmann, 2001).

Bei der Step-back-Technik wird der Kanal zuerst apikal aufbereitet und anschließend nach koronal konisch ausgeformt. Das erste auf Arbeitslänge gebrachte Instrument wird als initiale Apikalfeile (IAF) bezeichnet. Von der IAF ausgehend, wird der Kanal um 3-5 ISO-Größen zirkulär erweitert.

Die zuletzt auf Arbeitslänge eingebrachte Feile wird als apikale Masterfeile (MAF) bezeichnet. Anschließend erfolgt eine konische Aufbereitung des Kanals im Sinne der Step-back-Technik. Dabei werden die nachfolgenden 3-4 Feilen zunehmender ISO-Größe um jeweils 1 mm verkürzt. Das letzte Instrument wird als Finalfeile (FF) bezeichnet. Aus dieser Technik resultiert eine konische Form des Wurzelkanals, die den Füllvorgang erleichtert und die laterale Kondensationstechnik als Wurzelkanalfülltechnik zulässt (Beer & Baumann, 1997; Hellwig et al. 1999a; Hülsmann, 2001).

Die koronal-apikalen Aufbereitungsmethoden, wie z.B. die Step-down-Technik oder Double-flare-Technik, sind durch frühe koronale Erweiterung und spätere apikale Aufbereitung charakterisiert.

So erfolgt bei der Step-down-Technik zunächst die koronale und mittlere Erweiterung des Wurzelkanals mit dünnen Handinstrumenten und Gates-Glidden-Bohrern. Erst dann wird die apikale Region mit voller Arbeitslänge der Handinstrumente aufbereitet (Goerig et al. 1982). Bevorzugt wird diese Technik bei gekrümmten Wurzelkanälen, da das Risiko der Begradigung des Kanals durch die initiale Erweiterung des koronalen und mittleren Kanalbereiches verringert wird.

Bei der Double-flare-Technik handelt es sich um eine Kombination aus der Step-down- und der Step-back-Technik. Die Erweiterung des Wurzelkanals erfolgt durch Abnahme der ISO-Größe, beginnend mit dicken Instrumenten und Zunahme der Eindringtiefe der Instrumente von koronal nach apikal, bis ein dünnes Instrument letztendlich auf volle Arbeitslänge eingeführt werden kann. Anschließend wird die Konizität des Kanals durch Anwendung der Step-back-Technik erhöht (Fava, 1983). Auch diese Methode eignet sich für die Aufbereitung stark gekrümmter Kanäle.

2.1.3 Spülung des Wurzelkanals

Die Spülung des Wurzelkanals mit antibakteriell wirksamen und gewebeauflösenden Lösungen stellt einen wesentlichen Bestandteil der Wurzelkanalaufbereitung dar (Barnett et al. 1985). Sie führt zur Auflösung des organischen und anorganischen Kanalinhaltes, Desinfektion des Kanallumens, zum Abtransport der Dentinspäne und dient schließlich als Gleitmittel für die Wurzelkanalinstrumente. Zu den Spülflüssigkeiten, die in der Lage sind diese Aufgaben zu erfüllen, gehört u.a. Natriumhypochlorit (NaOCl), Wasserstoffperoxid (H₂O₂) und Chlorhexidin (CHX) (Hülsmann, 1997).

2.1.4 Wurzelkanalfüllung

Am Ende der endodontischen Behandlung steht die Füllung des Wurzelkanals mit dem Ziel, das aufbereitete Kanallumen (von der Pulkakammer bis zum apikalen Endpunkt) durch eine biokompatible und bakteriedichte Wurzelkanalfüllung zu verschließen (ESE 1994). Sie kann mit Guttaperchastiften in Verbindung mit einem Sealer gebildet werden. Da Guttapercha und Sealer gute Gewebeverträglichkeit aufweisen, (Spångberg, 1969; Schmalz, 1981; DGZMK 2000) werden sie heute als gängiges Wurzelkanalfüllmaterial eingesetzt und können nach der Methode der lateralen und vertikalen Kondensationstechnik in den Kanal appliziert werden (Baumann, 2001).

2.2 Prognose endodontisch behandelte Zähne

Die Anzahl der Wurzelkanalbehandlungen in den alten Bundesländern hat sich in den Jahren 1970 bis 1996 laut der KZBV-Jahresbücher von 3,2 auf 6,5 Millionen mehr als verdoppelt (Hellwig et al. 1999a). Dabei kann die Überlebensrate eines endodontisch behandelten Zahnes nach 10 Jahren bis zu 81% betragen (Rocke et al. 1997).

Dies lässt erkennen, dass Zahnärzte zunehmend mit restaurativer Versorgung von wurzelkanalbehandelten Zähnen konfrontiert werden. Die endodontische Behandlung endet also erst mit einer adäquaten Restauration des Zahnes (AAE 1995).

2.3 Folgen der endodontischen Behandlung

Frakturen der klinischen Krone bei wurzelkanalbehandelten Zähnen wurden häufig auf den Verlust von Feuchtigkeit und der daraus resultierenden Sprödigkeit des Dentins zurückgeführt (Helfer et al. 1972; Hansen et al. 1990).

Diese Argumentation konnte jedoch in neuen Studien widerlegt werden, in denen gezeigt wurde, dass der Feuchtigkeitsgehalt endodontisch behandelter Zähne sich im Vergleich zu vitalen Zähnen nicht wesentlich ändert (Papa et al. 1994).

Die erhöhte Frakturanfälligkeit endodontisch behandelter Zähne ist also nicht auf die vermutete Änderung der Dentineigenschaften zurückzuführen (Sedgley & Messer 1992; Huang et al. 1992), sondern vielmehr auf den Verlust von Zahnhartsubstanz durch die Entfernung der Randleisten und des Pulpakammerdaches (Howe & McKendry 1990). Damit wird deutlich, dass die endodontische Zugangskavität und eine zusätzliche MOD-Kavität die Stabilität des Zahnes stark beeinträchtigen (Reeh et al. 1989). Um das Frakturrisiko dieser Zähne zu mindern, sollen sie deswegen zumindest mit einer höckerfassenden Restauration, z.B. einer Teilkrone, versorgt werden (Linn & Messer 1994). Ein zusätzlicher Faktor für das erhöhte Frakturrisiko wurzelkanalbehandelter Zähne liegt in der Abnahme der Mechanorezeptorenzahl des Zahnes nach der Entfernung der Pulpa mit der Folge, dass die Druckbelastung dieser Zähne doppelt so hoch sein muss als bei pulpavitalen Zähnen, um als solche empfunden zu werden (Randow & Glantz 1986). Damit ist der Schutzreflex gegenüber zu hohen Kaukräften deutlich eingeschränkt.

2.4 Restauration endodontisch behandelter Zähne

Um das Frakturrisiko zu minimieren, ist die Art der Versorgung von wurzelkanalbehandelten Zähnen vom Ausmaß der Zerstörung der klinischen Krone durch Karies, Trauma oder Ausdehnung der vorausgehenden Füllung abhängig.

Während endodontisch behandelte Seitenzähne mit einer MOD-Kavität und damit freistehenden Schmelzwänden durch eine höckerfassende Restauration restauriert werden müssen (Linn & Messer 1994; Reeh et al. 1989), können pulpatote Frontzähne mit nur einer Kompositfüllung versorgt werden, wenn der Zahnhartsubstanzdefekt die Zugangskavität nicht überschreitet (Sorensen et al. 1985).

Bei Zähnen, die durch einen ausgedehnten Kariesbefall oder ein Trauma ihre klinische Krone fast vollständig verloren haben, wird empfohlen, einen Wurzelkanalstift in den Zahn einzusetzen, um diesen in seiner Bruchresistenz zu verstärken und dem Stumpfaufbaumaterial mehr Retention zu vermitteln (Lau, 1976).

In der klinischen Studie von Sorensen und Martinoff (1984a) zeigten die Autoren jedoch, dass das Einsetzen von Wurzelkanalstiftsystemen bei endodontisch behandelten Zähnen das Überleben dieser Zähne nicht signifikant erhöht. Zum gleichen Ergebnis kamen Guzy et al. (1979) in einer in-vitro Untersuchung. So wurde die verstärkende Wirkung von Stiften auf endodontisch behandelte Zähne schon sehr früh infrage gestellt (Trabert et al. 1978; Trope et al. 1985). Damit wird es deutlich, dass Wurzelkanalstifte den endodontisch behandelten Zahn primär nicht verstärken, sondern als Retentionselement für Stumpfaufbaumaterial und Krone dienen (Attin et al. 1994; Mendoza & Eakle 1994). Die Indikation für das Einsetzen von Wurzelkanalstiften beschränkt sich somit auf stark zerstörte Zähne, bei denen das Stumpfaufbaumaterial und der Kronenersatz ausreichend befestigt werden müssen (Smith & Schuman 1997). Ein z.B. fast äquingivaler Zahnhartsubstanzdefekt an den Frontzähnen würde nach Cathro (1996) dieser Indikation entsprechen.

Die Empfehlung von einigen Autoren (Lau, 1976; Michnick et al. 1978), wurzelkanalbehandelte Frontzähne immer mit Stiftsystemen zu versorgen, kann damit skeptisch gesehen werden. Die früher kontrovers diskutierte Frage über die Notwendigkeit einer zusätzlichen Verstärkung pulpalosen Zähne mit Hilfe von Wurzelkanalstiften (Gordon et al. 1987; Plasmans et al. 1986) kann auch heute von Autoren immer noch nicht entscheidend beantwortet werden (Ottl et al. 2002). Die DGZMK, die DGZPW und die DGZ postulieren den Einsatz von Wurzelkanalstiften nur bei endodontisch behandelten Zähnen mit einem starken Destruktionsgrad der klinischen Krone (Edelhoff et al. 2003).

2.5 Stiftaufbausysteme

Die wachsende Anzahl der wurzelkanalbehandelten Zähne und die verstärkte Nachfrage nach adäquater Versorgung dieser Zähne, führte zur Markteinführung vieler unterschiedlicher Wurzelkanalstiftsysteme durch die Industrie. Grundsätzlich können Stiftaufbauten individuell, halbkonfektioniert oder vollkonfektioniert angefertigt werden.

2.5.1 Individuelle Stiftaufbauten

Die Modellation eines individuell hergestellten Aufbaus kann direkt oder indirekt durchgeführt werden (Strub et al. 1994).

Das erstgenannte Verfahren ermöglicht es, den Stiftkernaufbau direkt im Mund des Patienten zu modellieren, um anschließend im zahntechnischen Labor gegossen zu werden. Bei der indirekten Methode werden das Kanallumen und die Präparation des Zahnes abgeformt und dann im Labor über ein Sägeschnittmodell der Stiftkernaufbau hergestellt.

Beide Techniken führen zur Entstehung eines individuell gegossenen Stiftaufbaus mit genauer Passung zwischen Stiftoberfläche und Kanalwand (Nolden, 1985), bei dem der Stift und der Aufbau aus demselben Material, zumeist einer hochgoldhaltigen Legierung, bestehen.

Der Gussvorgang der individuellen Stiftaufbauten kann jedoch zu Lunkerbildung führen und dadurch zu einer erniedrigten Bruchresistenz und zu Einbußen in der Stabilität des Stiftes. Daher werden heute v.a. vorgefertigte kaltverformte Stiftsysteme eingesetzt (Wirz, 1983).

2.5.2 Halbkonfektionierte Stiftaufbauten

Halbkonfektionierte Stiftsysteme bestehen aus genormten Wurzelkanalstiften, die heute von der Dentalindustrie aus Metall, Keramik und karbonfaserverstärktem Komposit hergestellt werden. Der Stumpfaufbau kann an den halbkonfektionierten Stift aus Metall angegossen oder aus plastischem Material, z.B. Komposit angeklebt werden. Die materialkundlichen Eigenschaften dieser Stiftart sind durch deren Kaltverformungsverfahren gegenüber den individuell gegossenen Stiftaufbauten vom Vorteil (Wirz, 1983).

Bei den halbkonfektionierten Stiften lassen sich verschiedene Systeme unterscheiden:

- zylindrische Stifte
- konische Stifte
- zylindrisch-konische Stifte
- Schraubensysteme

Auch bei diesen Stiftaufbauten wird zwischen der direkten und der indirekten Stumpfaufbaumethode unterschieden.

Die direkte Aufbautechnik ist durch die Modellation des Stumpfaufbaus mit Hilfe von Kompositen im Mund des Patienten charakterisiert. Sie erfolgt nach dem Einsetzen vom Stiftsystem und führt dadurch zum geringeren zeitlichen Aufwand bei gleichzeitiger Schonung der koronalen Zahnhartrestsubstanz. Der Zahn muss bei dieser Technik nicht auf ein äquigingivales Niveau dekapitiert werden, dünne Schmelz- und Dentinwände bleiben bestehen und werden durch das Stumpfaufbaumaterial miteinander adhäsiv verbunden.

Bei der indirekten Aufbaumethode wird ein metallisches Stumpfaufbaumaterial im Labor an einen angussfähigen Stift angegossen und anschließend in den vorbehandelten Zahn eingesetzt. Der Vorteil dieser Technik liegt in der höheren mechanischen Festigkeit des Stumpfaufbaumaterials. Der größere zeitliche Aufwand und die höheren Kosten können als Nachteil angesehen werden.

2.5.3 Vollkonfektionierte Stiftaufbauten

Die vollkonfektionierten Stiftaufbausysteme verfügen über genormte Wurzelkanalstifte und ebenfalls genormte, vorgefertigte Stumpfaufbauten. Der Nachteil dieser Systeme ist das zeitaufwendige Zurechtschleifen des Stumpfaufbaus.

2.6 Anforderungen an Stiftaufbausysteme

Da Stiftaufbausysteme in der Regel über Jahre hinweg in wurzelkanalbehandelten Zähnen verbleiben, müssen sie bestimmte Anforderungen erfüllen.

Metallische Stiftsysteme müssen aus einer korrosionsresistenten Legierung bestehen, weil eine Einlagerung korrosiver Produkte in das gingivale Gewebe möglich ist (Riedling et al. 1988).

Neben der Biokompatibilität der Stiftsysteme wird auch deren hohe Stabilität und mechanische Belastbarkeit gefordert (Lauer et al. 1994), die jedoch wie in vielen Belastungs-untersuchungen gezeigt wurde, zu Frakturen der Wurzel führen kann und damit den endodontisch behandelten Zahn zum Extraktionsfall macht (Sirimai et al. 1999; Martinez-Insua et al. 1998).

Die Ursache dafür ist die hohe Differenz zwischen dem E-Modul des Dentins und dem des Stiftes. Klinisch konnten Ottl & Lauer (1998) die erhöhte Bruchanfälligkeit endodontisch behandelter Zähne, versorgt mit einem metallischen Wurzelkanalstift, nicht bestätigen. Diese Tatsache kann damit zusammenhängen, dass die Elastizitätsgrenze des Stiftmaterials bei physiologischer Belastung gewöhnlich nicht erreicht wird (Körber & Ludwig 1983).

Die Antwort der Dentalindustrie auf dieses „Problem“ bestand in der Markteinführung neuer Systeme aus karbonfaserverstärkten Kompositstiften, die ein ähnliches E-Modul aufweisen wie das Dentin (Ottl et al. 2002), jedoch mit Verlust der Stabilität des Stiftes (Sidoli et al. 1997).

Wurzelkanalstifte sollen nicht die Festigkeit des endodontisch behandelten Zahnes steigern, sondern als wurzelverankertes Retentionselement für den Stumpfaufbau und die anschließende Kronenrestauration dienen (Cohen et al. 2000; Guzy et al. 1979).

Nach Lewis & Smith (1988) lassen sich Misserfolge von stiftverankerten Restaurationen im Allgemeinen in Retentionsverlust des Stiftes, Stiftbrüche und Zahnfrakturen untergliedern. Deswegen ist eine gute Retention des Stiftes im Wurzelkanal entscheidend für den Langzeiterfolg der Restauration (Mentink et al. 1993; Trabert et al. 1978).

In vielen Untersuchungen wurde gezeigt, dass die Retention der Wurzelkanalstifte abhängig von der Stiftlänge, der Stiftform und der Oberflächenbeschaffenheit sowie von dem verwendeten Befestigungsmedium ist (Standlee et al. 1978; Johnson & Sakumura 1978).

2.6.1 Stiftlänge

Viele Untersuchungen verweisen auf einen direkten Zusammenhang zwischen der Stiftlänge und der Retention des Stiftes (Cooney et al. 1986; Nergiz et al. 2002; Standlee et al. 1978). Daraus resultiert, dass die Zunahme der Stiftlänge die Retention des Stiftes erhöht. Die Forderung vieler Autoren nach der optimalen Stiftlänge führt zur Empfehlung, Stifte, deren Länge mindestens $\frac{2}{3}$ der Wurzellänge des betroffenen Zahnes beträgt oder der Länge der künstlichen Krone entspricht, zu verwenden (Sorensen & Martinoff 1984).

Die zunehmende Länge des Stiftes hat aber nicht nur einen positiven Einfluss auf die Retention, sondern auch auf die günstigere Frakturlokalisierung der Wurzel bei max. in-vitro-Belastung (Attin et al. 1994). So soll die Stiftlänge der Kronenlänge entsprechen, um das Verhältnis Kraftarm = Lastarm zu erreichen (Kantor & Pines 1983).

2.6.2 Stiftdimension

Der Durchmesser des Wurzelkanalstiftes spielt hinsichtlich der Retention im Vergleich zur Stiftlänge eine eher untergeordnete Rolle (Standlee et al. 1978). Die Auswahl eines dickeren Stiftes führt nur geringfügig zur Erhöhung der Retention, aber mit der Folge des unnötigen Dentinabtrages bei der Präparation und führt damit zu einer zusätzlichen Schwächung der Zahnwurzel (Johnson & Sakumura 1978). Deswegen muss die Stiftdicke so gewählt werden, dass das Dentin bei der Kavitätenpräparation geschont wird und das Risiko einer Wurzelperforation sowie die Schwächung der Zahnwurzel vermindert werden (Standlee et al. 1980). Nach Goodacre & Spolnik (1995) soll der Stiftdurchmesser $\frac{1}{3}$ des Wurzeldurchmessers an keiner Stelle überschreiten.

2.6.3 Stiftform und -oberflächenbeschaffenheit

Das Design der halbkonfektionierten Stiftsysteme ist sehr unterschiedlich. Neben der passiven Form, bei der die Wurzelkanalstifte ihre retentiven Kräfte nur durch den Zement gewinnen, können endodontisch behandelte Zähne auch mit aktiven Wurzelkanalstiftsystemen versorgt werden. Die Stifte kommen in Form von Schraubensystemen vor, die durch das Eindrehen der Schraube in den vorbereiteten Wurzelkanal eine sehr hohe Retention erzielen (Cohen et al. 1996; Deutsch et al. 1985; Standlee et al. 1978; 1980). Diese aktiven Schraubensysteme rufen jedoch im Vergleich zu passiven Stiftsystemen unerwünschte Spannung innerhalb der Zahnwurzel während des Einsetzens und unter einer Belastung hervor (Standlee et al. 1972; 1980; 1982).

Neuere Schraubensysteme mit einem geteilten Schraubenschaft, wie z.B. Flexi Post® (Essential Dental Systems, New York, USA), erreichen stattdessen eine hohe Retention bei geringerer Spannungserzeugung innerhalb der Wurzel (Cohen et al. 1996).

Passive Stiftsysteme, deren Retention im Vergleich zu aktiven Schraubensystemen deutlich geringer ausfällt (Standlee et al. 1978), werden in drei Grundformen angeboten.

Bei der ersten Stiftform handelt es sich um parallelwandige Wurzelkanalstifte, die unterschiedliche Oberflächenbeschaffenheit aufweisen. Diese zylindrischen Stiftsysteme können als raue, sandgestrahlte oder mechanisch konturierte mit gewindeartiger Oberfläche vorkommen und weisen stets eine höhere Retention als die konische Grundform

auf (Standlee et al. 1978; Cohen et al. 2000). Der Einsatz zylindrischer Stifte bedeutet aber auch eine stärkere Wurzelschwächung durch höheren Substanzverlust bei der Präparation im apikalen Bereich und damit ein erhöhtes Perforationsrisiko der Wurzel (Weine et al. 1991). Verwendet man demnach einen kürzeren Stift, um der Gefahr einer Wurzelforation zu entgehen, muss eine Abnahme der Retention in Kauf genommen werden (Marxkors, 2000). Die konische Stiftform erlaubt eine apikal schonende Präparation, weil der Stift in seinem Design den anatomischen Verlauf der Zahnwurzel nachahmt (Weine et al. 1991). Der Retentionswert dieser konischen Wurzelkanalstifte ist allerdings geringer als der der zylindrischen und zylindrisch-konischen Stifte bei gleicher Oberflächenbeschaffenheit (Ruemping et al. 1979; Standlee et al. 1978). Er lässt sich jedoch durch verschiedene Oberflächenbehandlung steigern. So zeigte Nergiz et al. (1997) in einer Studie, dass die Retention von konischen Wurzelkanalstiften verdoppelt bis verdreifacht werden kann, wenn die Stiftoberfläche sandgestrahlt oder durch mechanische Konturierung verändert wird. Trotz der schlechteren retentiven Eigenschaften konischer Stiftsysteme im Vergleich mit Schrauben, zylindrischen und zylindrisch-konischen Stiften, werden diese von vielen Autoren zum generellen Einsatz empfohlen, nicht zuletzt wegen dem großen Vorteil in dem anatomisch-morphologischen Design dieser Stifte, der leichten Anpassung bei größtmöglicher Passgenauigkeit und der klinischen Bewährung (Strub et al. 1994; Weine et al. 1991). Zylindrisch-konische Stifte, deren Form im apikalen Bereich aus dem parallelwandigen in ein konisches Design übergeht, können bei guten retentiven Eigenschaften die schonende apikale Präparation gewährleisten (Cooney et al. 1986).

2.6.4 Befestigungsmaterial

Bei der Befestigung von Wurzelkanalstiften mit Zementen treten u.a. chemische und mechanische Kräfte auf, welche für die Retention der Stifte im Kanal relevant sind.

Der mechanische Verbund entsteht durch Makro- und Mikroverzahnungen des Befestigungsmittels zwischen der Kanalwandung und dem Stift.

Während konventionelle Zemente wie z.B. Zinkphosphatzement oder Glasionomierzement durch reine Makroverzahnung die Retention vermitteln, spielt bei Kompositzementen die mikromechanische Retention im Bereich des intertubulären Dentins eine sehr wichtige Rolle (Hellwig et al. 1999b).

Die Konditionierung der Zahnhartsubstanz mit sauren Substanzen und die darauf folgende Verwendung von Dentinhaftvermittlern in Verbindung mit niedrigviskösen Kompositen ermöglicht den Kompositzementen eine optimale Adaptation an das Dentin und hilft so den mikromechanischen Haftmechanismus vollständig auszunutzen. Bei Adhäsivsystemen ohne separate Ätzung der Zahnhartsubstanz, wie es z.B. bei ED Primer (Kuraray, Osaka, J) der Fall ist, kommt es über Konditionierung von Dentin und Ausbildung einer Hybridschicht durch Aufbringen eines sauren Primer-Adhäsiv-Gemischs zu Haftung des Dentinadhäsivs und des Kompositzementes an der Zahnhartsubstanz.

Eine chemische Haftung entsteht durch die Reaktion zweier Stoffe miteinander zu einer chemischen Verbindung. Dabei können u.a. ionische Bindungen, Wasserstoffbrückenbindungen und kovalente Bindungen vorkommen. Eine chemische Adhäsion ist zwischen Kompositmaterialien und Zahnhartsubstanzen bisher noch nicht nachgewiesen worden (Hellwig et al. 1999b).

Im Gegenteil zu Kompositen und anderen Zementen können Glasionomerezemente eine chemische Verbindung mit Zahnhartsubstanzen eingehen. Hier treten ionische und kovalente Bindungen zwischen den Carboxylgruppen der Polyacrylsäure und anorganischen Schmelz- bzw. Dentinbestandteilen auf (Kent & Wilson).

Eine große Auswahl an Zementen führte zu zahlreichen Untersuchungen hinsichtlich der Retention unterschiedlicher Stiftsysteme in Verbindung mit verschiedenen Zementarten. Zinkphosphatzement, Glasionomerezement und Zemente auf Kompositbasis wurden dabei meistens verwendet.

Wegen den mikroretentiven Eigenschaften von Kompositen am Dentin und Schmelz wurde ein höherer Retentionswert bei Wurzelkanalstiften erwartet, die mittels Kompositzementen befestigt waren, als jene zementiert mit konventionellen Zementen. Diese Annahme konnte von mehreren Autoren in vielen Studien bestätigt werden (Assif et al. 1982; Duncan et al. 1998; Goldman et al. 1984; Standlee et al. 1992).

Andere Untersuchungen zeigten jedoch keinen oder sogar einen niedrigeren Retentionswert bei der Verwendung von Kompositzementen im Vergleich zu konventionellen Zementen in Verbindung mit gängigen Stiftsystemen und konnten damit die gestellten Erwartungen nicht erfüllen (Chapman et al. 1985; Mendoza et al. 1994; Radke et al. 1988; Wood, 1983).

Die Benutzung von Kompositmaterialien als Befestigungszemente für Wurzelkanalstifte führt zur höheren Stifretention und ermöglicht bei gleichzeitiger Verwendung von Kompositen als Stumpfaufbaumaterial auch eine erhebliche Zeitersparnis. Die Überschüsse des Kompositzementes müssen nicht entfernt werden, sondern können aufgrund der chemischen Kompatibilität beider Materialien belassen und in den Stumpfaufbau integriert werden (Assif et al. 1982).

2.6.5 Befestigungsmethoden

Vor der definitiven Befestigung des Wurzelkanalstiftes sollte die Stiftoberfläche gründlich mit Alkohol gesäubert und entfettet werden.

Die Applikation des Zementes kann in verschiedener Art und Weise stattfinden.

Bei der ersten und einfachsten Methode wird der Zement auf die gesäuberte Stiftoberfläche gleichmäßig aufgetragen. Anschließend wird der Stift in den vorbereiteten Wurzelkanallumen mit leicht rotierenden Bewegungen eingebracht und unter geringem Druck bis zum Abbinden des Zementes gehalten.

Die anderen Befestigungstechniken basieren auf der Applikation des Zementes direkt in den vorbereiteten Wurzelkanal mit Hilfe von Lentulos oder Papierspitzen. Erst dann wird der gesäuberte Stift eingeführt.

Untersuchungen zeigen, dass die Lentulo-Technik zwar zu einer gleichmäßigen Zementverteilung innerhalb des Wurzelkanals führt, aber im Vergleich zu anderen Methoden den Retentionseffekt nicht erhöht (Goldstein et al. 1986).

Da jedoch nicht alle Zementarten aus Gründen der Viskosität sich mit der Lentulomethode in den Wurzelkanal einbringen lassen, stellt die Applikationstechnik des Zementes auf den Stift eine einfache und schnelle Befestigungsmethode dar.

2.7 Ziel dieser Untersuchung

In dieser Studie wurde die Retention von drei halbkonfektionierten Wurzelkanalstiftsystemen, welche für die direkte Stumpfaufbaumethode verwendet werden, in axialen Zugversuchen bestimmt. Um den Einfluss des Befestigungszementes und der

Oberflächenbehandlung dieser Stifte auf deren Retention zu untersuchen, wurden jeweils sandgestrahlte und nicht vorbehandelte Wurzelkanalstifte mit zwei verschiedenen Zementen in extrahierten, menschlichen Schneidezähnen befestigt und anschließend axialen Zugkräften ausgesetzt. Die gemessene Abzugskraft (in Newton [N]) war maßgebend für die Haftung des jeweiligen Stiftsystems im Wurzelkanal. Sie war von dem verwendeten Befestigungsmaterial sowie der Vorbehandlungstechnik der Stiftoberfläche abhängig.

3. Material und Methode

3.1 Material

3.1.1 Versuchszähne

Bei der Durchführung der Versuche wurden 130 extrahierte menschliche Schneidezähne und Eckzähne verwendet. Diese Zähne wurden sofort nach der Extraktion in einer 0,9%-igen Kochsalzlösung bei Zimmertemperatur aufbewahrt.

Alle Zähne waren kariesfrei. Sie waren nicht endodontisch behandelt, wiesen ein abgeschlossenes Wurzelwachstum auf und waren im Bereich der Wurzel nicht frakturiert.

3.1.2 Angewandte Wurzelkanalinstrumente und Wurzelkanalfüllmaterialien

Für die endodontische Behandlung der Versuchszähne wurden verwendet:

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

3.1.3 Verwendete Wurzelkanalstiftsysteme

Für die Versuche wurden drei Stiftsysteme mittlerer Radiusstärke verwendet.

1. Mirafit Carbon (Hager Werken, Duisburg, D)

Die neu entwickelten Carbonfaserstifte besitzen laut Hersteller ähnliche physikalische Eigenschaften (v.a. das E-Modul) wie das Dentin. Die verwendeten Carbonfaserstifte haben einen Durchmesser von 1,35mm und bestehen aus Karbonfasern, die in eine Epoxidharz-Matrix eingebettet sind. Sie haben eine zylindrische Form mit gerundeter Spitze.



Abb. 1: Carbonfaserstift

2. ER-System Reintitan (Komet, Lemgo, D)

Die verwendeten Reintitan-Stifte der ISO-Größe 90 sind aus reinem Titan hergestellt worden.

Das Stiftdesign hat eine konische Form und glatte Oberfläche (Abb.2). Neben 98,82% Ti enthalten die Stifte max. 0,35% O, 0,05% N, 0,06% C, 0,013% H, 0,3% Fe und 0,4% sonstige Zusätze.



Abb. 2: Titanstift des ER-Systems Reintitan

3. ER-Cerapost (Komet, Lemgo, D)

Diese Wurzelkanalstifte sind aus Zirkondioxidkeramik (ZrO_2) hergestellt. In diesem Versuch wurden konische Cerapost-Stifte der ISO-Größe 90 mit folgender Zusammensetzung verwendet: $ZrO_2 > 94 \%$, $Y_2O_3 5,15\%$, $Al_2O_3 < 0,1\%$, $SiO_2 < 0,02\%$, $Fe_2O_3 < 0,01\%$, $Na_2O_3 < 0,04\%$



Abb. 3: ER-Cerapoststift

3.1.4 Angewandte Befestigungsmaterialien

In den Versuchen wurden zwei Befestigungsmedien verwendet:

1. Ketac-Cem Aplicap® (3M ESPE, Seefeld, D)

Ketac-Cem Aplicap® ist ein konventioneller Glasionomerzement, der als Befestigungszement vom Hersteller empfohlen wird. Die Anwendungsgebiete umfassen u.a. die Befestigung von Wurzelkanalstiften.

Zusammensetzung:

- Glaspulver
- Pigmente
- Polycarbonsäure
- Weinsäure
- H₂O
- Konservierungsmittel

2. Panavia™ F (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J)

Panavia™ F ist ein fluoridfreisetzendes, dualhärtendes Zementsystem auf Kunststoffbasis mit einem breiten Anwendungsgebiet. Es wird vom Hersteller zur Befestigung von endodontischen Stiften, Metallkronen und Brücken, Keramikronen und keramischen Einlagefüllungen empfohlen. Panavia F enthält folgende Komponenten:

ED Primer: ein aus Flüssigkeit A (4 ml) und B (4 ml) bestehendes selbstätzendes Dentinhaftvermittlersystem. Zusammensetzung:

- Hydroxyethylmethacrylat (HEMA)
- 10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogen-phosphat (MDP)
- N-methacryloyloxy-5-aminosalicyl Säure
- N,N-Diethanol-p-toluidin
- Destilliertes Wasser

Alloy Primer: laut Hersteller eine auf Metall haftende Grundierung, die hohe Haftung der metallischen Konstruktionen vermittelt. Dieser enthält:

- 6-[N-(4-Vinylbenzyl)propylamino]-1,3,5-triazine-2,4-dithion
- 10-Methacryloyloxydecryl-dihydrogen-phosphat
- Aceton

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

- Silanisiertes α -Quartzpulver
- Silanisiertes Bariumglaspulver
- Silanisierte Titaniumdioxide
- Natriumfluoride
- 2,2-Bis[methacryloxy(poly)ethoxyphenyl]propan
- 10-Methacryloyloxydecyl-dihydrogen-phosphat
- 1,2-Bis(3-methacryloxy-2-hydroxypropoxy)ethan
- Neopentylglycol-dimethylacrylat
- 2,4,6-Trimethylbenzoyl-diphenyl-phosphinoxide
- Natrium-2,4,6-triisopropyl-benzen-sulfinat
- N,N-Diethanol-p-toluidine
- Triethanolamine
- Polymerisationsinhibitoren
- Farbzusätze

3.1.5 Verwendete Lösungen

1. Physiologische Kochsalzlösung

Die 0,9%-ige sterile Kochsalzlösung diente zur Aufbewahrung der frisch extrahierten Zähne bis zum Versuchsbeginn.

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

Es ist ein Bisbiguanid und wird wegen der antibakteriellen Eigenschaft zur Desinfektion des Wurzelkanals in der Endodontie verwendet. Die 0,1%-ige Lösung enthält:

- Chlorhexidindigluconat
- Ethanol

- Glycerol
- Macrogol-Glycerolhydroxystearat
- Aromastoffe
- Cochenillrot A (E 124)
- Wasser

3. Natriumhypochloritlösung

Diese 1%-ige Lösung dient in der Endodontie als Wurzelkanalspülmittel zur Reduktion der Keimzahl und Reinigung des Kanals durch Aufschäumen. 1000 ml Spüllösung enthalten im gereinigten Wasser 10,5 g Natriumhypochlorit.

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

AH Plus™ Sealer ist ein Zweikomponenten-Wurzelkanalfüllmaterial auf Epoxid-Amin-Polymer-Basis, das in Verbindung mit Guttaperchastiften verwendet wird.

AH Plus Paste A enthält:

- Epoxidharze
- Calciumwolframat
- Zirkoniumoxid
- Aerosil
- Eisenoxid

AH Plus Paste B enthält:

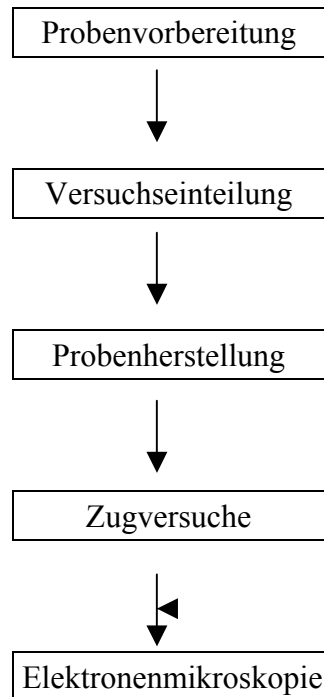
- Amine
- Calciumwolframat
- Zirkoniumoxid
- Aerosil
- Silikonöl

3.1.7 Guttaperchastifte (Roeko, Langenau, D)

Die normierten Guttaperchastifte werden für die Wurzelkanalfüllung verwendet und setzen sich zusammen aus:

- | | |
|---------------|----------------|
| - Guttapercha | - Bariumsulfat |
| - Zinkoxid | - Farbstoffe |

3.2 Methode



3.2.1 Probenvorbereitung

Die Versuchszähne wurden zuerst an der Schmelz-Zement-Grenze mit einem FG-Stück (KaVo, Biberach, D) getrennt, so dass eine plane Fläche entstand, die als Referenzpunkt für die Wurzelkanalbehandlung diene.

Die abgetrennte Wurzel wurde auf Karies untersucht und anschließend endodontisch behandelt. Der Wurzelkanal jeder Wurzel wurde mit K-Feilen (VDW, München, D) und Hedström-Feilen (VDW, München, D) nach der Step-back-Technik aufbereitet.

Die endodontische Arbeitslänge der K-Feilen (IAF – MAF) reichte bis 1 mm vor dem Foramen apikale. So wurde der Kanal mit zunehmender ISO-Größe und gleich bleibender Arbeitslänge der Instrumente erweitert:

- 1. K-Feile (IAF): ISO-Größe 20, Arbeitslänge
- 2. K-Feile: ISO-Größe 25, Arbeitslänge
- 3. K-Feile: ISO-Größe 30, Arbeitslänge
- 4. K-Feile: ISO-Größe 35, Arbeitslänge
- 5. K-Feile (MAF): ISO-Größe 40, Arbeitslänge

Nach dem Erreichen der MAF wird die Arbeitslänge sukzessiv um 1 mm verkürzt bei zunehmender ISO-Größe:

- 7. K-Feile: ISO-Größe 45, Arbeitslänge minus 1 mm
- 8. K-Feile: ISO-Größe 50, Arbeitslänge minus 2 mm
- 9. K-Feile (FF): ISO-Größe 55, Arbeitslänge minus 3 mm

Um die Verbolzung des Wurzelkanals durch die Ansammlung von Dentinspänen im apikalen Drittel zu verhindern, wurde dieser nach jedem Einsatz von K-Feilen mit einer ISO-Größe kleineren Hedström-Feile rekapituliert.

Die Spülung des Kanals erfolgte abwechselnd mit CHX und mit 1%-iger Natriumhypochloritlösung. Nach der vollständigen Aufbereitung und Trocknung (Papierspitzen, Roeko, Langenau, D) des Wurzelkanals wurde eine Wurzelkanalfüllung mit Guttaperchastiften (Roeko, Langenau, D) und dem AH Plus™ Sealer (Dentsply De Trey, Konstanz, D) nach der lateralen Kondensationstechnik durchgeführt.

Danach wurden alle behandelten Wurzeln wieder in einer 0,9%-igen Kochsalzlösung bis zum Beginn der Probenherstellung aufbewahrt.

3.2.2 Versuchseinteilung

Die gesamte Untersuchungsreihe wurde in drei Versuchsblöcke mit jeweils vier Versuchsgruppen á 10 Proben eingeteilt. Im ersten Versuchsblock wurde das Mirafit-Carbon-Stiftsystem, im zweiten das ER-System-Reintitan und im dritten das ER-Cerapost-System untersucht. In jedem Versuchsblock wurden diese Systeme als unbehandelte und oberflächenbehandelte Wurzelkanalstifte in Verbindung mit Ketac-Cem Aplicap® (3M ESPE, Seefeld, D) und Panavia™ F (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) als Befestigungsmaterial verwendet. Die Oberflächenbehandlung der Stifte erfolgte durch Sandstrahlen mit Aluminiumoxidpulver (Korngröße 50 µm, BEGO, Bremen, D). Im Versuchsblock III wurde eine zusätzliche Versuchsgruppe (Nr. 13) eingeführt. Hier wurde die sandgestrahlte Oberfläche der ER-Cerapostsifte, der Herstellerempfehlung von Panavia™ F nach, zusätzlich mit dem Silansystem Clearfil Porcelan Bond Activator + Clearfil Newbond (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) behandelt.

	Mirafit Carbon sand- gestrahlt	Mirafit Carbon nicht sand- gestrahlt	ER- System Reintitan sand- gestrahlt	ER- System Reintitan nicht sand- gestrahlt	ER- Cerapost sand- gestrahlt	ER- Cerapost nicht sand- gestrahlt	ER- Cerapost sand- gestrahlt, silanisiert
Ketac- Cem Aplicap®	Gruppe: 1	Gruppe: 2	Gruppe: 5	Gruppe: 6	Gruppe: 9	Gruppe: 10	
Panavia[†] F	Gruppe: 3	Gruppe: 4	Gruppe: 7	Gruppe: 8	Gruppe: 11	Gruppe: 12	Gruppe: 13

Tab.1 Einteilung der Versuchsgruppen

3.2.3 Probenherstellung

Die endodontisch behandelten Wurzeln wurden zum Versuchsbeginn aus der 0,9%-igen Kochsalzlösung entnommen.

In jeder Versuchsreihe eines Versuchsblocks wurde in allen Proben mit einem vom jeweiligen Hersteller empfohlenen Pilotbohrer die Wurzelkanalfüllung entfernt und der Kanal passend zum gewählten Stift erweitert. Die Aufbereitungslänge betrug bei jeder Probe genau 10 mm. Nach der Überprüfung der Stiftpassung wurde der erweiterte Kanal jeder Probe mit CHX desinfiziert und mit Papierspitzen (Roeko, Langenau, D) getrocknet. Anschließend wurden die mit 70%-igen Ethanol gereinigten Wurzelkanalstifte nach Herstellerempfehlungen zementiert:

- Die Kapseln mit dem Befestigungszement Ketac-Cem Aplicap® wurden nach Herstellerangaben 2 sec. mit dem Aplicap Aktivator aktiviert und mit einem Hochfrequenzmischgerät (SED, Germany) bei 4300 Schwingungen / min, 10 sec. lang gemischt. Anschließend wurden die jeweiligen Stifte gleichmäßig mit dem Zement bestrichen und in den vorbereiteten Wurzelkanal eingeführt.

- Die adhäsive Befestigungsform wurde mit Panavia™ F nach Herstellerangaben durchgeführt. Zuerst wurde der ED Primer aus Flüssigkeit A und Flüssigkeit B im Verhältnis 1:1 gemischt und mit einem Pinsel (Kuraray, Co. Ltd., Osaka, J) in den Wurzelkanal 60 sec. einmassiert, dann mit ölfreier Luft getrocknet. Danach wurden die gleichen Mengen der Paste A und B des Zementes vermischt und auf den jeweiligen Stift appliziert. Anschließend wurden die Stifte in den Wurzelkanal eingeführt, die Überreste entfernt und die Proben für 20 sec. lichtgehärtet (Optilux 401, Kerr, Karlsruhe, D). Beim Stiftsystem aus Reintitan wurde die Stiftoberfläche vor dem Auftragen der Panavia F-Paste bei allen Proben der Gruppe 7 und 8 zusätzlich mit o.g. Alloy Primer bestrichen. In der Versuchsreihe 13 wurden die ER-Cerapost Stifte zusätzlich mit K-Etchant-Gel (40%-ige Phosphorsäure, Kuraray Co. Ltd, Osaka, J) angeätzt und dann mit dem Silansystem Clearfil® Porcelain Bond Activator (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) in Verbindung mit dem Dentinhaftvermittler Clearfil® New Bond (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) vorbehandelt.

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

3.2.4 Zugversuche

Zwecks Bestimmung der Haftkraft der Zementsysteme wurde die nötige Kraft (in N) gemessen, die zum vollständigen Abriss der endodontischen Stifte aus dem Wurzelkanal führte. Die Zugversuche wurden mit der Universalprüfmaschine Zwick Z007 (Zwick, Ulm, D) durchgeführt. Die für die Proben benötigte Haltevorrichtung wurde neu konstruiert.

Zur Ausübung einer zum Wurzelkanal senkerechten Zugkraft wurden die Proben über eine selbst ausrichtende Haltevorrichtung in der Zugmaschine befestigt (Abb. 4). Damit war gewährleistet, dass die Proben parallel zur Zugrichtung befestigt waren.

Die Zugmaschine besteht aus einem beweglichen Oberteil (Querhaupt) und einem unbeweglichen Unterteil, in dem die Versuchsproben verankert wurden.

Bei einer Messung wandert das Querhaupt, das über eine Haltevorrichtung mit dem endodontischen Stift verbunden ist (Abb.4), nach oben und übt gleichzeitig eine Zugkraft auf die Probe aus.

Die Proben wurden vor der Messung zuerst in dem beweglichen Teil der Maschine an den endodontischen Stift befestigt, und später über die Wurzel in dem unbeweglichen Teil der Maschine in einer Haltevorrichtung mit Technovit 4071 (Heraeus Kulzer, Wehrheim, D) eingebettet (Abb. 4). Nach dem Aushärtevorgang von Technovit 4071 konnte dann der Zugzyklus gestartet werden. Dabei bewegte sich das Querhaupt der Prüfmaschine mit einer Geschwindigkeit von 1mm / min und der angeschlossene PC registrierte die Kraft (in N), die zum vollständigen Abriss des Stiftes aus dem Wurzelkanal führte (Abb. 5).



Abb. 4: Eingespannte Probe in der Zugprüfmaschine



Abb. 5: Vollständiger Abriss des Stiftes aus dem Wurzelkanal

3.2.5 Elektronenmikroskopie

Für die qualitative Analyse wurden aus jeder Untersuchungsgruppe 2 Proben im Rasterelektronenmikroskop vom Typ Tesla BS 301 (Fa. Tesla, CZ) auf die Haftung und Verteilung des Zementes am Dentin und Stift hin untersucht.

Die jeweiligen Proben wurden dabei nach der Zugprüfung aus der Einbettmasse Technovit 4071 befreit und anschließend wurde die Zahnwurzel vertikal gespalten. Dieses Vorgehen erlaubte die Einsicht in das Kanallumen und die mikroskopische Beurteilung über die Haftung der verwendeten Zemente an der Zahnhartsubstanz.

Zur Ermöglichung der mikroskopischen Betrachtung mussten die Proben vorher auf Präparatträger fixiert und mit einer 30 nm dicken Goldschicht besputtert werden (Sputtergerät SCD 050, Balzer, Liechtenstein, HL).

Anschließend wurden Übersichtsaufnahmen in 20- bis 35-facher Vergrößerung, sowie Aufnahmen in 500-facher Vergrößerung angefertigt.

3.2.6 Statistische Auswertung

Die aus den Zugversuchen gewonnenen Daten wurden mit Hilfe des Statistikprogramms SPSS 10.0 ausgewertet. Die einfache Varianzanalyse (ANOVA) in Verbindung mit dem Tukey's-Studentized-Range-Test und der Bonferroni-Holm-Korrektur untersuchte die Ergebnisse auf statistisch signifikante Unterschiede.

4. Ergebnisse

Die axialen Abzugskräfte wurden in allen Versuchsreihen mittels der Universalprüfmaschine Zwick Z007 (Zwick, Ulm, D) gemessen. Die maximale Abzugskraft wurde mit dem Lösen des Stiftes aus dem Wurzelkanal bestimmt und als Verlust der Retention gewertet. Die Werte für alle Proben der jeweiligen Versuchsgruppe wurden in der Tab. 2 aufgeführt.

System	Carb. (A)	Carb. (NA)	Carb. (A)	Carb. (NA)	Tit. (A)	Tit. (NA)	Tit. (A)	Tit. (NA)	CP (A)	CP (NA)	CP (A)	CP (NA)	CP (A) + sil.
Zement	Ketac.	Ketac.	Panav.	Panav.	Ketac.	Ketac.	Panav.	Panav.	Ketac.	Ketac.	Panav.	Panav.	Panav.
Gruppe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Probe	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]	F max. [N]
1	116,68	182,91	545,11	486,49	435,19	114,17	289,78	241,26	413,98	280,31	204,15	196,02	167,12
2	78,44	213,71	322,72	272,51	369,08	138,00	583,73	253,09	326,02	213,93	178,28	288,00	227,84
3	215,04	180,14	427,96	410,70	378,38	145,61	575,50	276,46	359,96	287,75	347,95	209,77	257,54
4	274,70	105,09	480,02	381,85	312,64	121,25	449,25	299,70	334,03	169,50	125,55	194,98	131,77
5	216,56	161,66	635,23	318,00	432,19	56,23	265,65	291,04	278,72	142,81	192,63	108,31	344,80
6	221,13	157,00	528,10	534,61	532,58	148,76	535,33	379,67	437,28	283,25	196,55	213,75	211,00
7	277,91	119,01	305,44	432,62	444,87	42,31	460,47	274,02	377,29	330,83	254,36	184,53	274,87
8	273,98	315,57	350,70	311,76	467,26	92,16	558,12	172,46	365,46	160,66	235,44	227,98	317,31
9	200,22	239,68	484,00	530,99	295,71	60,53	305,98	320,83	383,91	216,16	110,46	201,24	294,84
10	234,86	93,41	404,77	277,62	433,27	227,12	384,48	494,31	347,89	344,08	276,81	249,49	195,73
x	210,95	176,82	448,40	395,71	410,12	114,61	440,83	300,28	362,45	242,93	212,22	207,41	242,28
s	66,50	67,23	105,92	99,90	71,80	55,22	123,18	86,77	45,10	72,06	70,41	46,43	67,83
Max.	277,91	315,57	635,23	534,61	532,58	227,12	583,73	494,31	437,28	344,08	347,95	288,00	344,80
Min.	78,44	93,41	305,44	272,51	295,71	42,31	265,65	172,46	278,72	142,81	110,46	108,31	131,77

Tab.2 Abzugskraft F_{max} der untersuchten Stiftsysteme

Carb. (A) = abgestrahlte Mirafit Carbon Stifte

CP (A) = abgestrahlte ER-Cerapost Stifte

Carb. (NA) = nicht abgestrahlte Mirafit Carbon Stifte

CP (NA) = nicht abgestrahlte ER-Cerapost Stifte

Tit. (A) = abgestrahlte ER-Reintitan Stifte

Ketac. = Ketac-Cem Aplicap®

Tit. (NA) = nicht abgestrahlte ER-Reintitan Stifte

Panav. = Panavia™ F

x = arithmetischer Mittelwert

s = Standartabweichung

Max. = maximaler Haftwert

Min. = minimaler Haftwert

4.1 Quantitative Analyse

Die gemessenen Retentionswerte variierten sowohl zwischen den Befestigungsmitteln als auch zwischen den Stiftsystemen.

Die vorbehandelten, carbonfaserverstärkten Kompositstifte Mirafit Carbon, zementiert mit dem Kompositzement Panavia™ F (Gruppe 3), zeigten mit einem arithmetischen Mittelwert von 448,40 N den höchsten Retentionswert unter den Carbonfaserstiften. Den geringsten Retentionseffekt dieses Stiftsystems erreichten die nicht vorbehandelten Kompositstifte - befestigt mit dem Glasionomerezement Ketac-Cem Aplicap® - mit dem Mittelwert von 176,82 N.

Bei dem ER-Reintitan-Stiftsystem zeigten die mit Aluminiumoxidpulver vorbehandelten Stifte - zementiert mit dem Kompositzement Panavia™ F (Gruppe 7) - einen Mittelwert in Höhe von 440,83 N. Damit wurde der höchste Retentionswert in diesem Stiftsystem ermittelt, gefolgt von vorbehandelten Titanstiften in Verbindung mit Ketac-Cem Aplicap® mit dem Mittelwert von 410,12 N und den nicht abgestrahlten Titanstiften - zementiert mit Panavia™ F - mit 300,28 N im Durchschnitt. Die niedrigste Retention in Höhe von 114,61 N erzielten die nicht abgestrahlten Titanstifte, befestigt mit Ketac-Cem Aplicap®.

Die vorbehandelten Cerapost-Stifte aus Zirkondioxidkeramik - befestigt mittels Ketac-Cem Aplicap® (Gruppe 9) - erzielten unter den Keramikstiften die höchsten Retentionswerte mit 362,45 N im Mittel. In absteigender Reihenfolge folgten mit 242,93 N die nicht vorbehandelten Cerapost-Stifte - zementiert mit Ketac-Cem Aplicap®, die abgestrahlten silanisierten Cerapost-Stifte - befestigt mit Panavia™ F - mit 242,28 N und die nur abgestrahlten Cerapost-Stifte in Verbindung mit Panavia™ F, mit einer mittleren Abzugskraft $F_{\max.}$ von 212,22 N. Die im Mittel niedrigste Retention in Höhe von 207,41 N, zeigten unter den Cerapost-Stiften die nicht vorbehandelten Stifte, die mit dem Kompositzement Panavia™ F befestigt wurden.

Die höchsten Abzugskräfte $F_{\max.}$, die Verteilung der Werte innerhalb jeder Versuchsgruppe, die arithmetischen Mittelwerte und die Standardabweichungen werden in der Abb. 6 und 7 dargestellt.

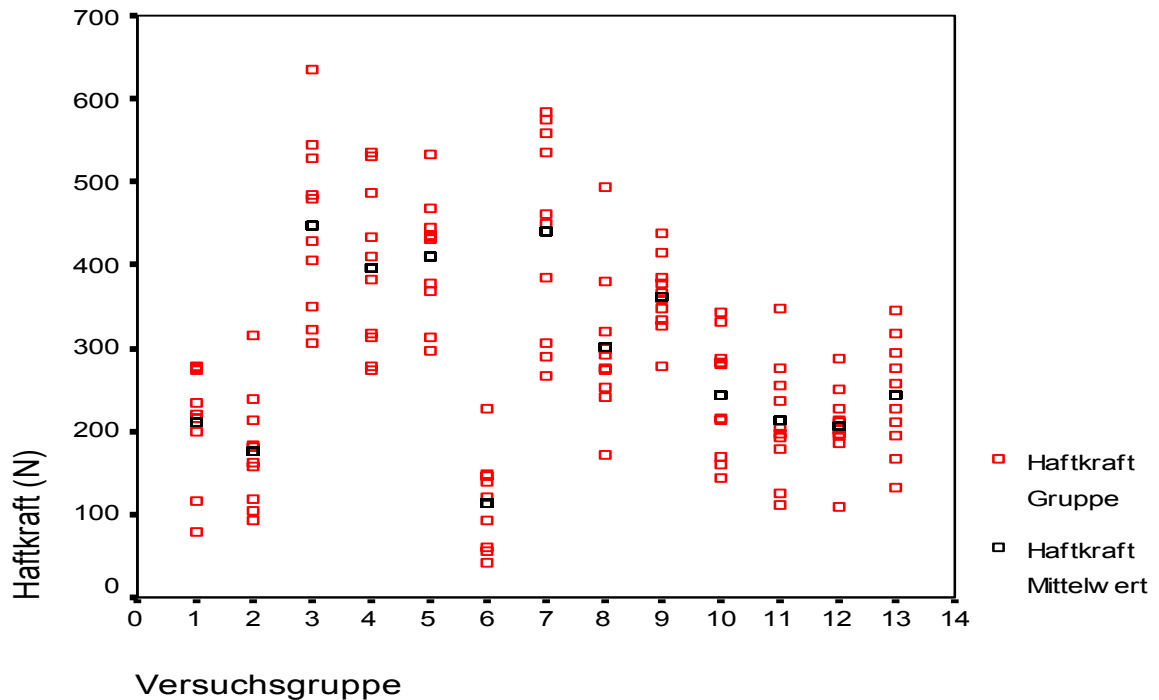


Abb.6 Verteilung der Einzel- und Mittelwerte [N] in den Versuchsgruppen 1-13.

4.2 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit der einfachen Varianzanalyse des Tukey- und Bonferroni-Tests bei einem Konfidenzintervall von 95%.

Die aus der Untersuchung gewonnenen Daten wurden somit auf statistisch signifikante Unterschiede hin verglichen. Die Auswertung ergab statistisch signifikante Unterschiede zwischen den verwendeten Zementen und den Stiftsystemen.

Mirafit Carbon:

Hinsichtlich der Abzugskraft F_{max} ergab die statistische Auswertung signifikant höhere Retentionswerte bei allen Carbonfaserstiften, befestigt mit Panavia™ F - mit 448,40 N (Gruppe 3) und 395,71 N (Gruppe 4) im Mittel - im Vergleich zu den Carbonfaserstiften, zementiert mit Ketac-Cem Aplicap® mit den Mittelwerten von 210,95 N (Gruppe 1) und 176,82 N (Gruppe 2). Die Vorbehandlung der Carbonfaserstifte mit Aluminiumoxid führte bei beiden Befestigungsmaterialien nicht zur signifikanten Erhöhung der Retention.

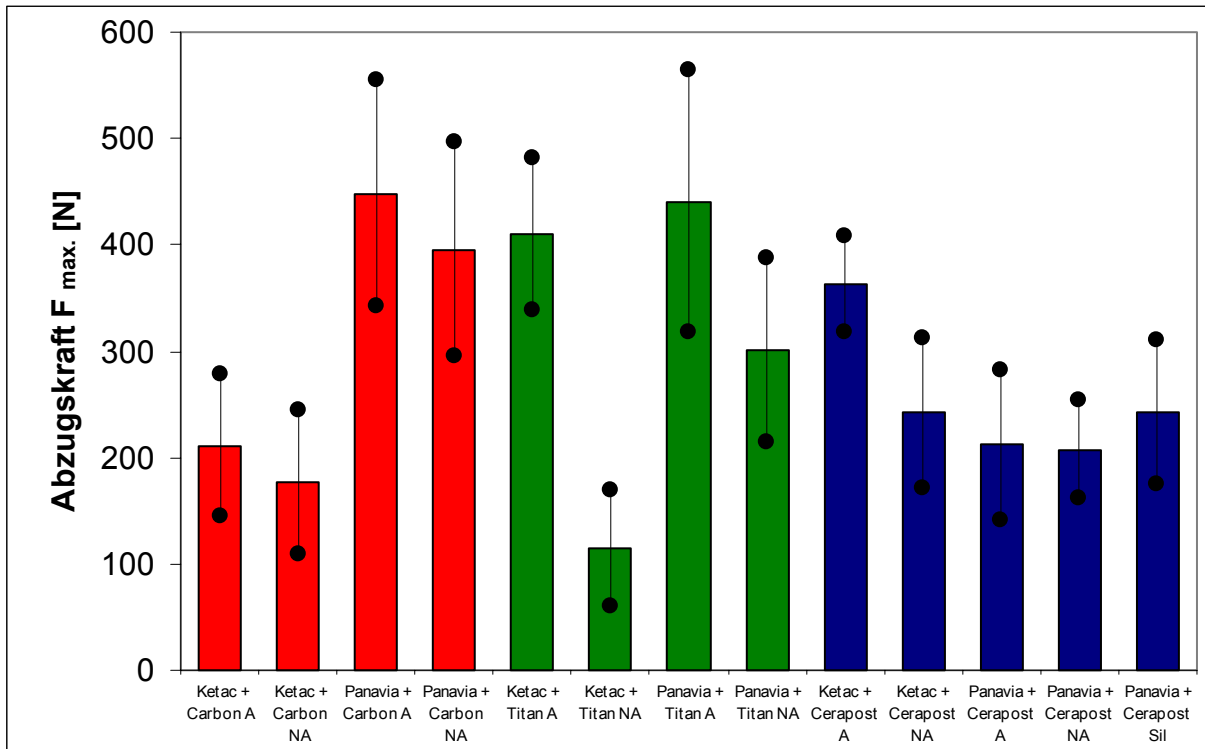


Abb.7 Abzugskräfte F_{\max} [N] und Standardabweichungen.

ER-System Reintitan:

Unter den vorbehandelten Titanstiften der Gruppe 5 (410,12 N) und 7 (440,83 N) konnte hinsichtlich der Retention kein signifikanter Unterschied festgestellt werden, gleich ob sie mit Ketac-Cem Aplicap® oder mit Panavia™ F befestigt worden sind.

Bei den nicht abgestrahlten Titanstiften der Gruppe 6 (114,61 N) und 8 (300,28 N) konnte der Kompositzement Panavia™ F jedoch eine signifikant höhere Retention vermitteln als der Glasionomerezement Ketac-Cem Aplicap®.

Betrachtet man die abgestrahlten Titanstifte, zementiert mit Ketac-Cem Aplicap® - 410,12 N im Mittel - und die nicht abgestrahlten Titanstifte in Verbindung mit Panavia™ F - 300,28 N im Mittel - , so konnte hinsichtlich der Retention beider Befestigungsformen kein statistisch signifikanter Unterschied festgestellt werden.

ER-Cerapost:

Die Keramikstifte der Gruppe 9 - abgestrahlte Stifte, zementiert mit Ketac-Cem Aplicap® - erreichten mit dem Mittelwert von 362,45 N signifikant den höchsten Retentionswert unter den untersuchten Cerapostsiften.

Zwischen den übrigen Keramikstiften - Gruppe 10 (242,93 N), 11 (212, 22 N), 12 (207,41 N) und 13 (242,28 N) - konnte weder der Einsatz von Panavia™ F, die Silanisierung der Keramik, noch die Vorbehandlung der Keramikstifte durch Sandstrahlen mit Aluminiumoxid, die Retention signifikant verändern.

4.3 Qualitative Analyse

Nach den Zugversuchen wurden Proben aus allen Versuchsgruppen auf die Ursachen für den Verlust der Retention der Stifte hin untersucht.

Dazu wurden die Kanalwand und die Stiftoberfläche im Rasterelektronenmikroskop betrachtet.

Je nach Versuchsgruppe lag die Schwachstelle adhäsiv im Verbund zwischen der Kanalwand und dem Zement, oder zwischen dem Zement und der Stiftoberfläche, sowie kohäsiv innerhalb der Zementschicht.

Adhäsive Versagensmechanismen nur einer Art, z.B. zwischen dem Zement und der Stiftoberfläche, kamen zwar isoliert vor, in vielen Fällen konnte jedoch eine Kombination von Schwachstellen an beiden Verbundgrenzen beobachtet werden.

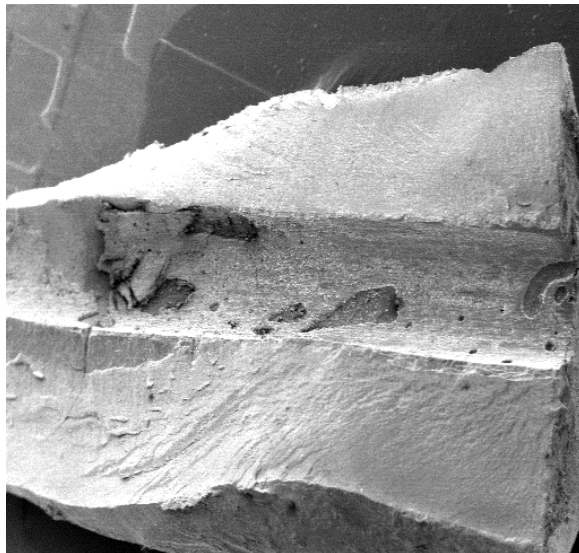
Manche Versuchsgruppen zeigten sogar eine Abwechslung von adhäsiven und kohäsiven Versagensmechanismen innerhalb einer Probe.

Die nachfolgenden Abbildungen stellen die Ergebnisse der mikroskopischen Untersuchung dar.

Versuchsgruppe 1: abgestrahlte Carbonfaserstifte + Ketac-Cem Aplicap®

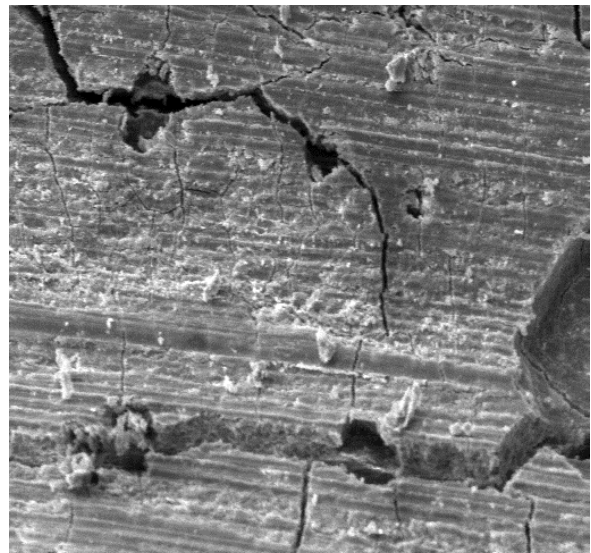
In dieser Gruppe ist die gesamte Kanalwand mit einer dicken Zementschicht bedeckt (Abb. 8 u. 9). Die abgestrahlten Carbonfaserstifte sind frei vom Zement und zeigen die durch Vorbehandlung mit Aluminiumoxid freigelegten Karbonfaser (Abb. 10 u. 11).

Die Schwachstelle lag im Verbundsystem zwischen dem Zement und der Stiftoberfläche.



w027, Carb(A)+Ketac-Cem., v30 3mm

Abb. 8: Kanalwand vollständig mit Zement bedeckt (V.30)



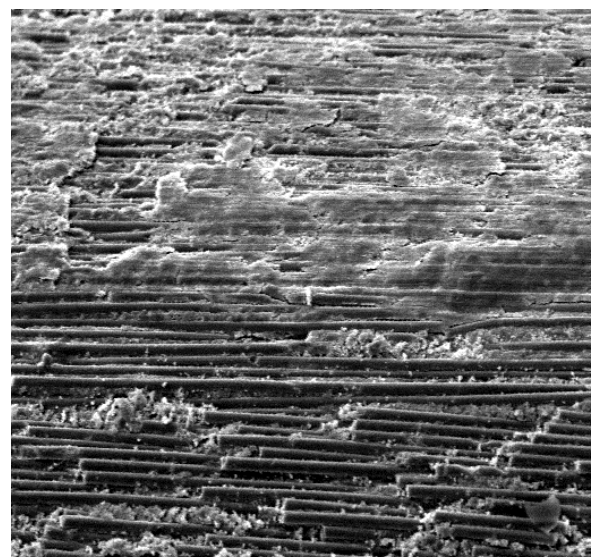
w026, Carb(A)+Ketac-Cem., v500 100µm

Abb. 9: Fest haftender Zement am Dentin des Wurzelkanals (V. 500)



w028, Carb(A)+Ketac-Cem.StiftB v20 3mm

Abb. 10: Carbonfaserstifte frei von Zement (V. 20)

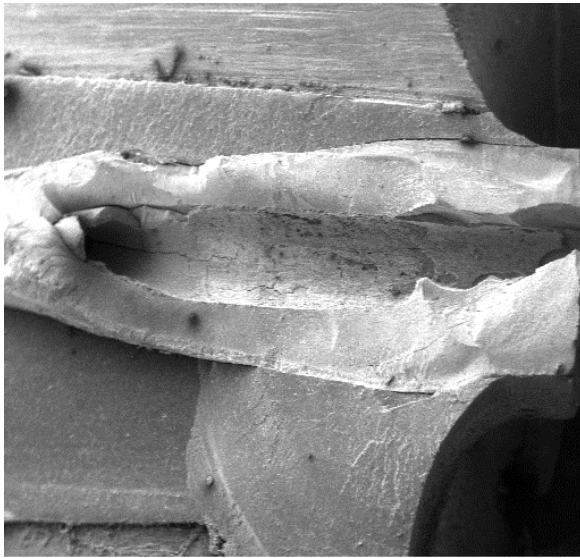


w028, Carb(A)+Ketac-Cem.StiftB v500 100µm

Abb. 11: Nur geringste Zementrückstände sind bei 500-facher Vergrößerung erkennbar.

Versuchsgruppe 2: nicht abgestrahlte Carbonfaserstifte + Ketac-Cem Aplicap®

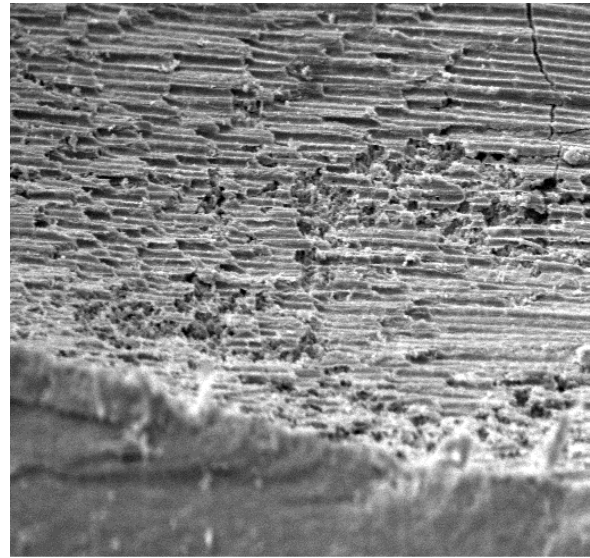
Auch in dieser Gruppe wurde ein adhäsiver Versagensmechanismus zwischen dem Zement und der Stiftoberfläche beobachtet. Während die Kanalwand vollständig mit anhaftendem Zement bedeckt ist (Abb. 12 u. 13), konnten keine Zementreste an den Stiften festgestellt werden (Abb. 14 u. 15).



w030, Carb(NA)+Ketac-Cem., v25

3mm

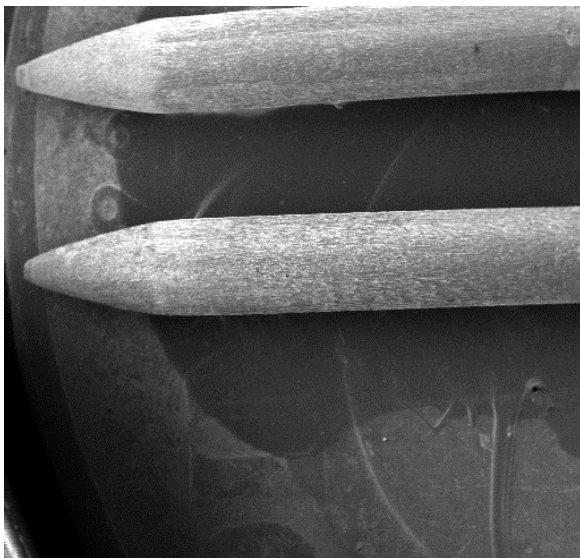
Abb. 12: Kanalwand mit dicker Zementschicht bedeckt (V. 25)



w030, Carb(NA)+Ketac-Cem., v500

100µm

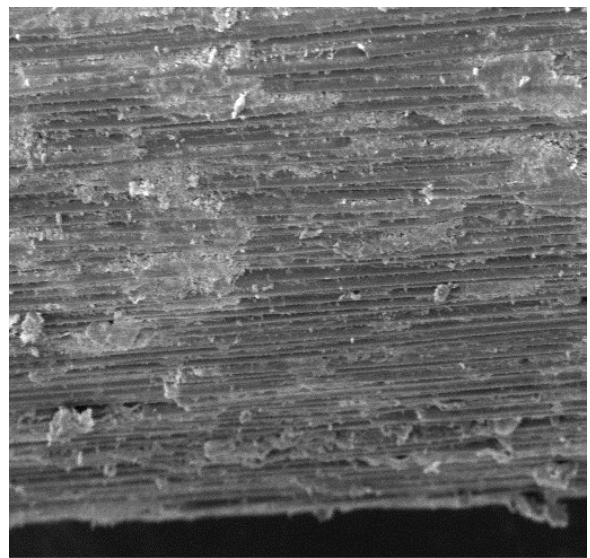
Abb. 13: Zement haftet fest an der Kanalwand (V. 500)



w031, Carb(NA)+Ketac-Cem.Stifta, v20

3mm

Abb. 14: Carbonfaserstifte frei von Zement (V. 20)



w031, Carb(NA)+Ketac-Cem.Stifta, v500

100µm

Abb. 15: Geringste Zementreste sind bei (V.500) zu beobachten

Versuchsgruppe 3: abgestrahlte Carbonfaserstifte + Panavia™ F

Die Kanalwand dieser Proben ist frei von Kompositzement (Abb. 16 u.17) und an den Carbonfaserstiften ist eine dicke Schicht von diesem Zement zu beobachten (Abb. 18 u. 19). Demnach lag der Versagensmechanismus adhäsiv im Verbund zwischen Dentin und Zement.

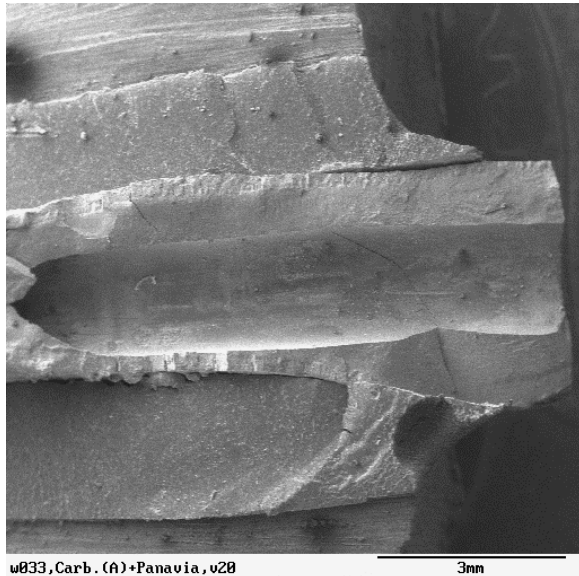


Abb. 16: Kanalwand frei von Zement (V. 20)

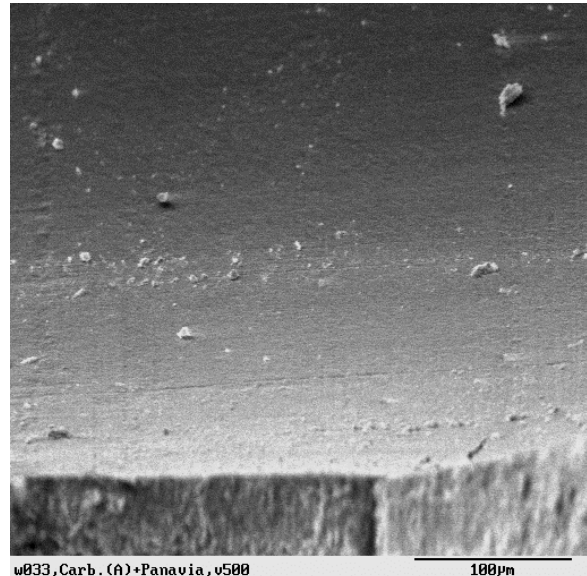


Abb. 17: Keine Zementreste am Wurzeldentin (V. 500)

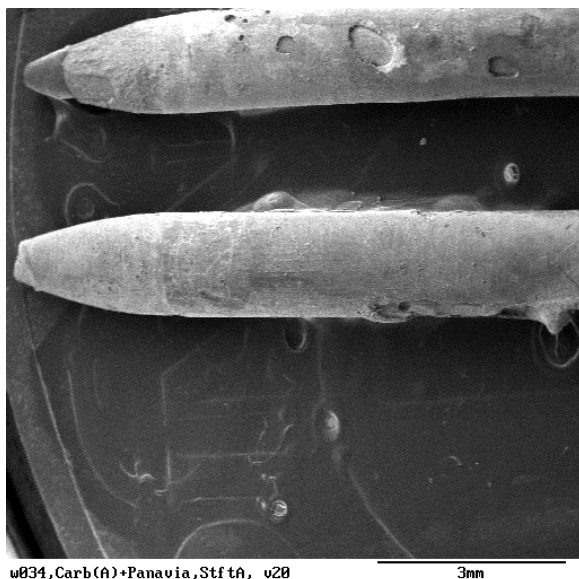


Abb. 18: Carbonfaserstifte fast vollständig mit Panavia™ F bedeckt (V. 20)

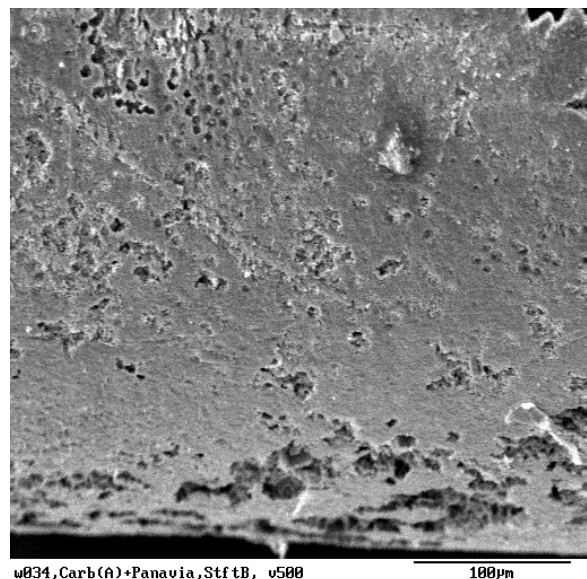


Abb. 19: Fester Verbund des Kompositzementes zum Stift (V.500)

Versuchsgruppe 4: nicht abgestrahlte Carbonfaserstifte + Panavia™ F

In dieser Gruppe ist die Kanalwand fast vollständig frei von Zement, nur an einigen Stellen sind minimale Zementreste zu beobachten (Abb. 20 u. 21). Die Carbonfaserstifte sind nicht gleichmäßig mit fest anhaftendem Zement bedeckt (Abb. 22 u. 23). Diese Beobachtung deutet darauf hin, dass es sich abwechselnd um ein Versagen zwischen Dentin und Zement, sowie Zement und Stift handelt.

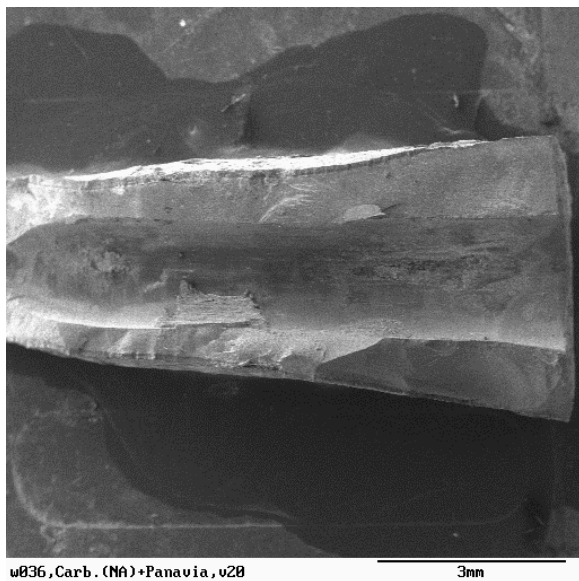


Abb. 20: Kleine Zementreste an der Kanalwand (V. 20)

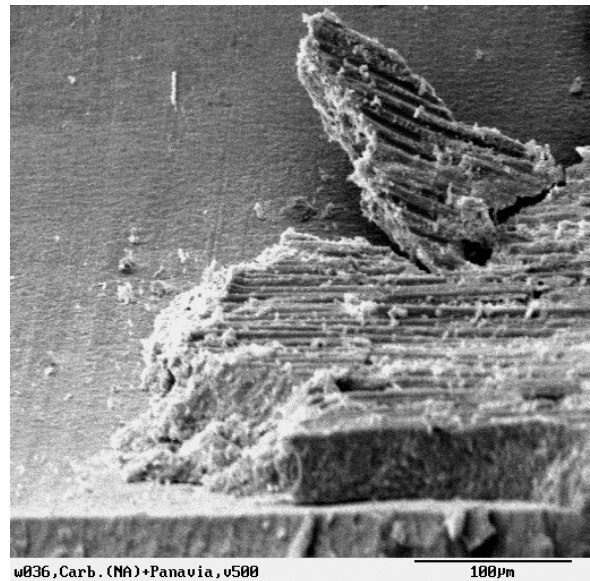


Abb. 21: Nur an wenigen Stellen sind Zementreste zu sehen (V. 500)

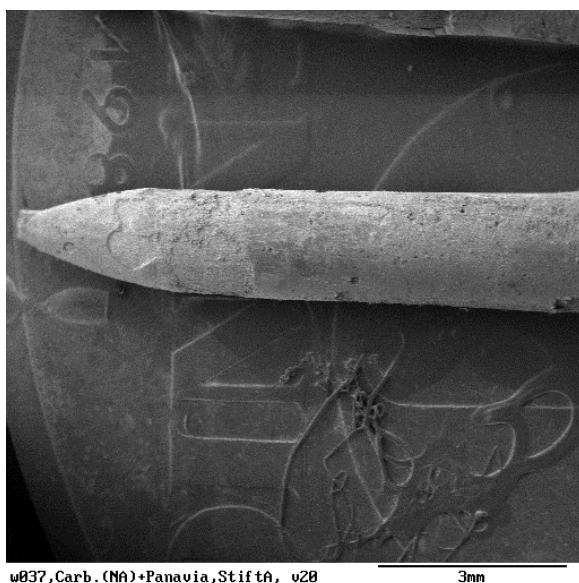


Abb. 22: Carbonfaserstift mit einigen Stellen ohne anhaftenden Zement (V. 20)

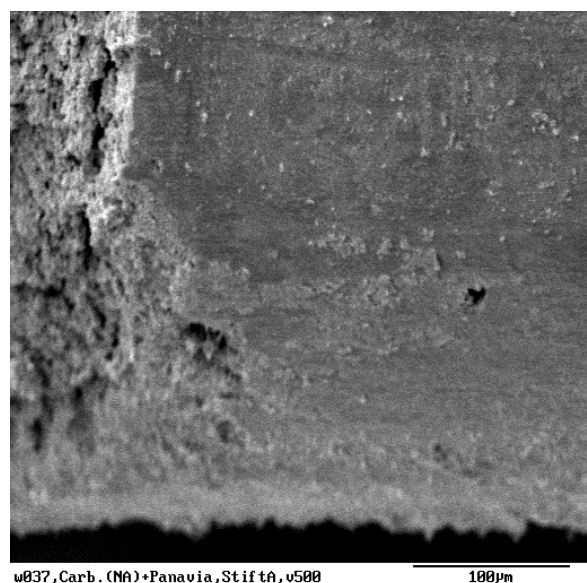


Abb. 23: Feste Zementhaftung an überwiegenden Stellen des Stiftes (V. 500)

Versuchsgruppe 5: abgestrahlte Titanstifte + Ketac-Cem Aplicap®

Die Proben dieser Gruppe zeigen eine gleichmäßige, dünne Zementschicht, die am Dentin des Wurzelkanals fest haftet (Abb. 24 u. 25). Die vorbehandelten Titanstifte sind mit einer dicken, festhaftenden Zementschicht bedeckt (Abb. 26 u. 27). Der Versagensmechanismus lag in diesem Fall kohäsiv innerhalb der Zementschicht.

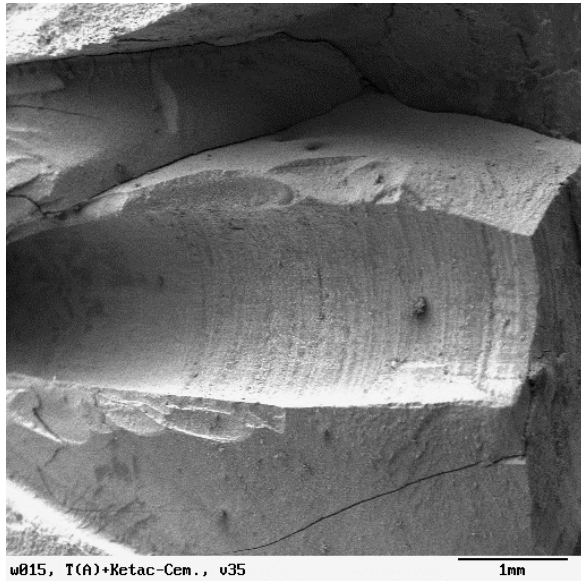


Abb. 24: Kanalwand mit dünner Zementschicht bedeckt (V. 35)

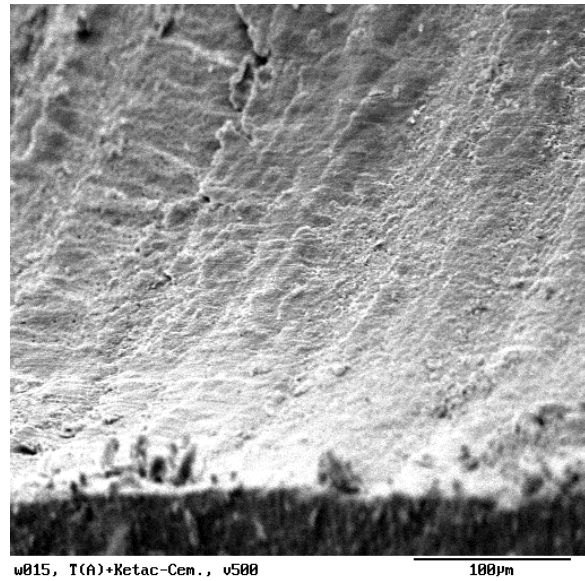


Abb. 25: Dünne Zementschicht haftet am Wurzelkanaldentin (V. 500)

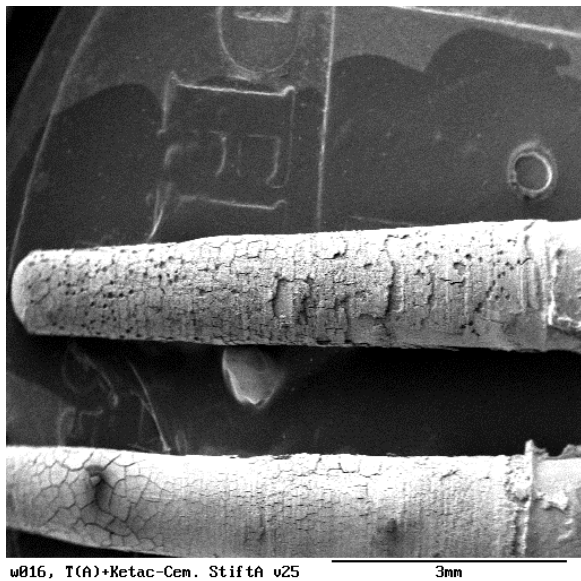


Abb. 26: Titanstifte vollständig mit Zement Bedeckt (V. 25)

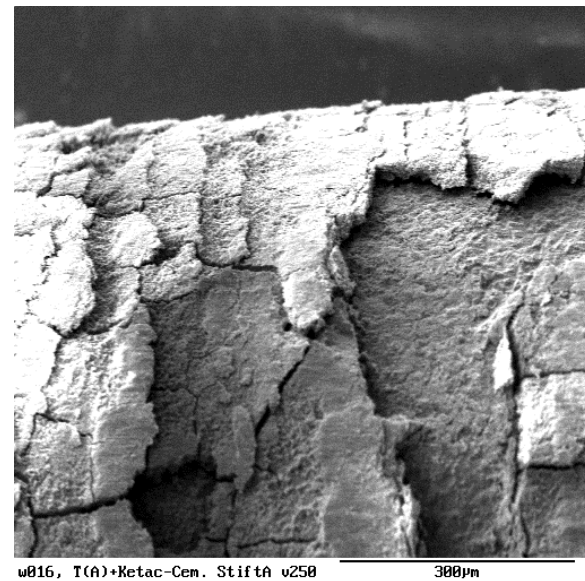


Abb. 27: Dicke Zementschicht haftet am abgestrahlten Titanstift (V. 250)

Versuchsgruppe 6: nicht abgestrahlte Titanstifte + Ketac-Cem Aplicap®

Im Gegenteil zu den Proben mit abgestrahlten Titanstiften, zeigt diese Gruppe eine dicke Zementschicht an der Kanalwand (Abb.28 u. 29) und eine glatte Stiftoberfläche, frei vom Zement (Abb. 30). Die Schwachstelle lag adhäsiv zwischen Zement und der glatten Stiftoberfläche.

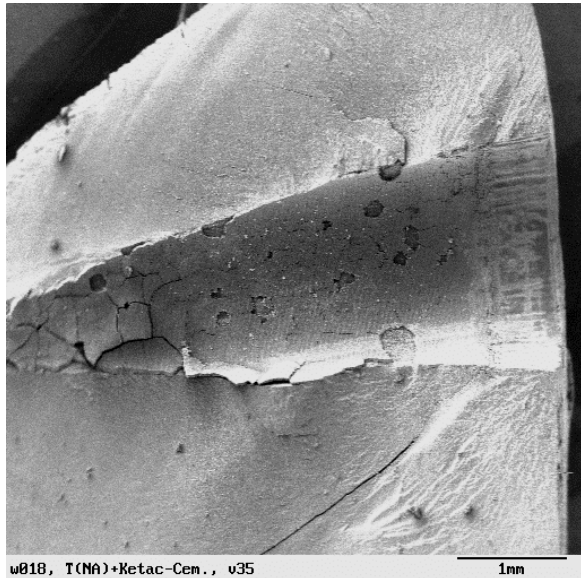


Abb. 28: Kanalwand vollständig mit Zement bedeckt (V. 35)

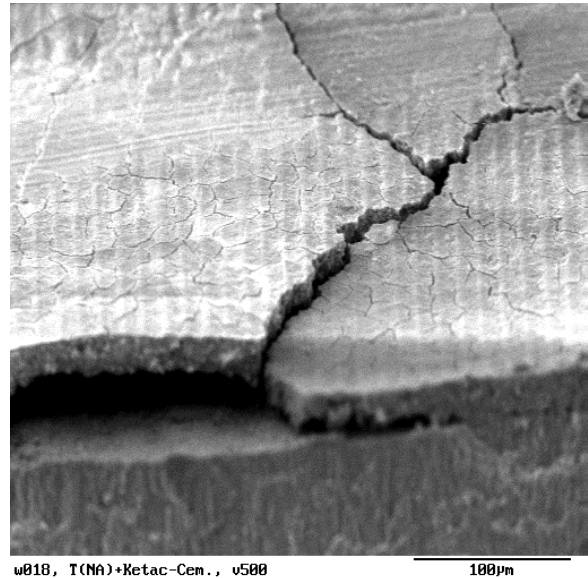


Abb. 29: Dicke Zementschicht haftet am Dentin (V. 500)

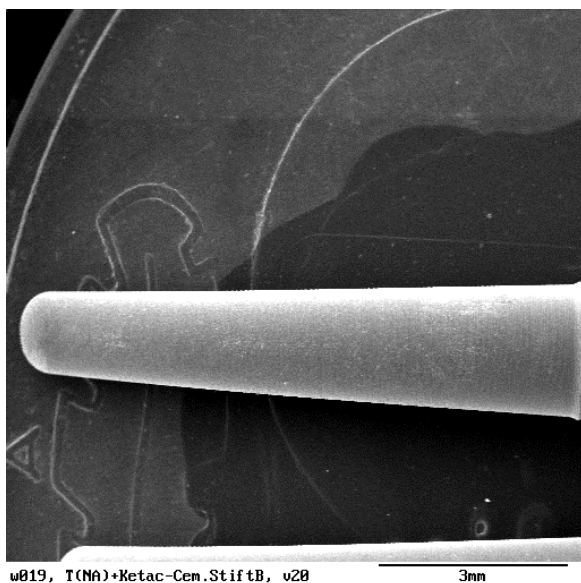


Abb. 30: Titanstifte sind glatt und frei von Zementspuren (V. 20)

Versuchsgruppe 7: abgestrahlte Titanstifte + Panavia™ F

Die Kanalwand der Proben dieser Versuchsgruppe ist fast vollständig mit dem Kompositzement bedeckt und zeigt nur wenige zementfreie Stellen (Abb. 31 u. 32). Die Titanstifte zeigen großflächige mit Zement bedeckte Areale und einige Stellen ohne Zement (Abb. 33 u. 34). Die Schwachstelle liegt damit in einer Kombination vom adhäsiven und kohäsiven Versagensmechanismus.

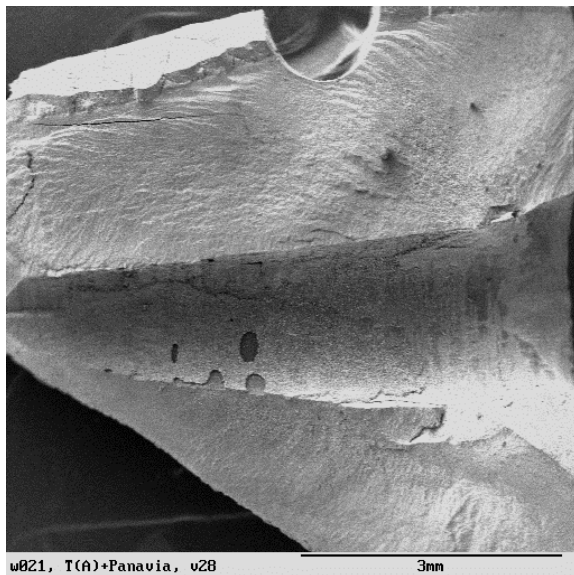


Abb. 31: Fast vollständige Bedeckung der Kanalwand mit Zement (V. 20)

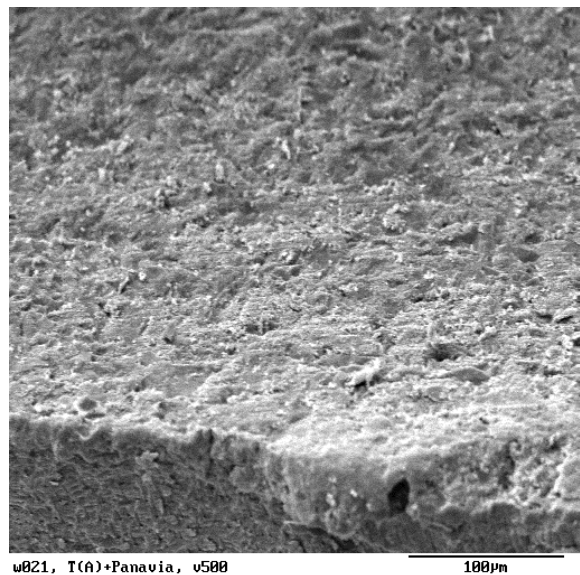


Abb. 32: Der Kompositzement haftet fest am Wurzelkanalentin (V. 500)



Abb. 33: Titanstifte mit Zementbedeckten und zementfreien Arealen (V. 20)

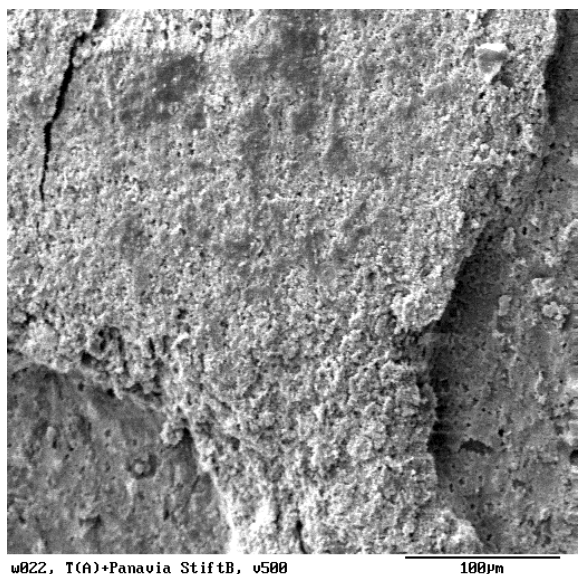


Abb. 34: Stellen mit und ohne Zement wechseln sich ab (V. 500)

Versuchsgruppe 8: nicht abgestrahlte Titanstifte + Panavia™ F

Auch in dieser Gruppe findet sich eine dünne und vollständige Bedeckung der Kanalwand mit dem Kompositzement (Abb. 35 u. 36). Auf den glatten, nicht abgestrahlten Titanstiften wechseln sich zementbedeckte und zementfreie Areale ab. Ebenso liegt auch hier die Schwachstelle im Verbund zwischen Zement und Stiftoberfläche sowie kohäsiv innerhalb der Zementschicht.

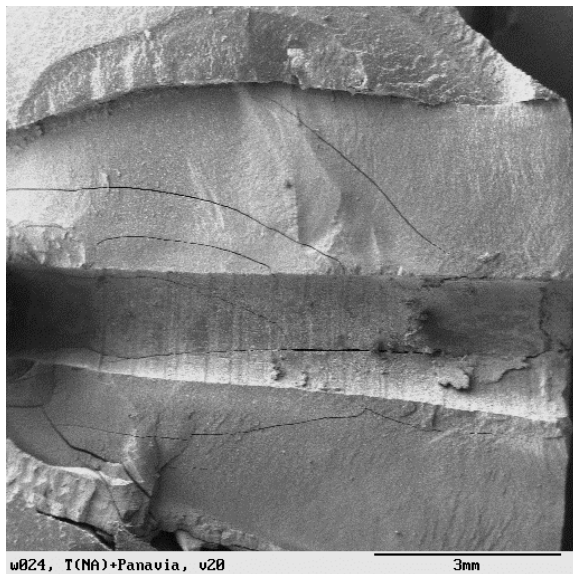


Abb. 35: Dünne Zementschicht über die ganze Kanalwand, eine Stelle mit dicker Schicht (V. 20)

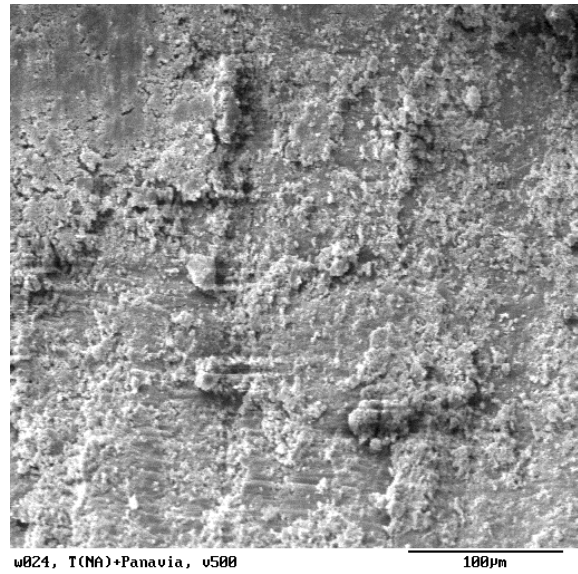


Abb. 36: Panavia™ F haftet fest am Dentin (V. 500)

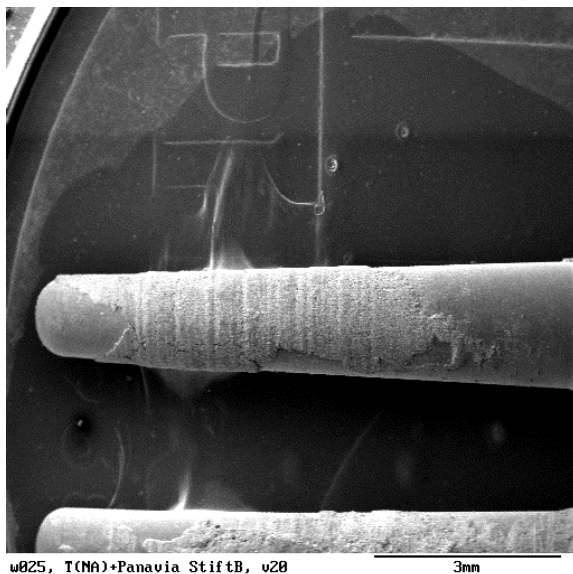


Abb. 37: Zementbedeckte Stellen wechseln sich mit zementfreien ab (V. 20)

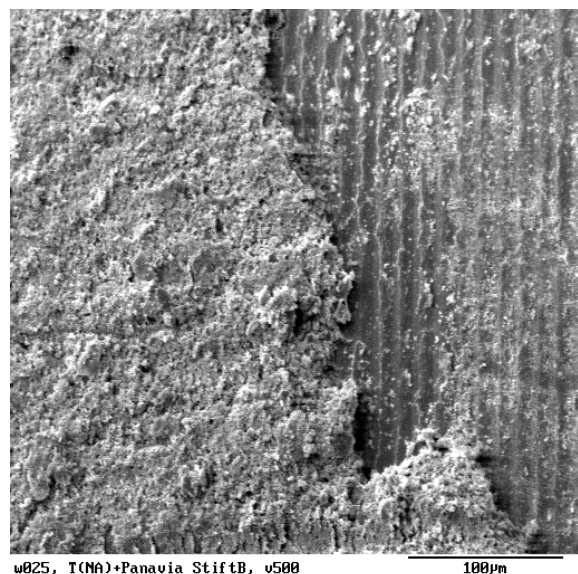
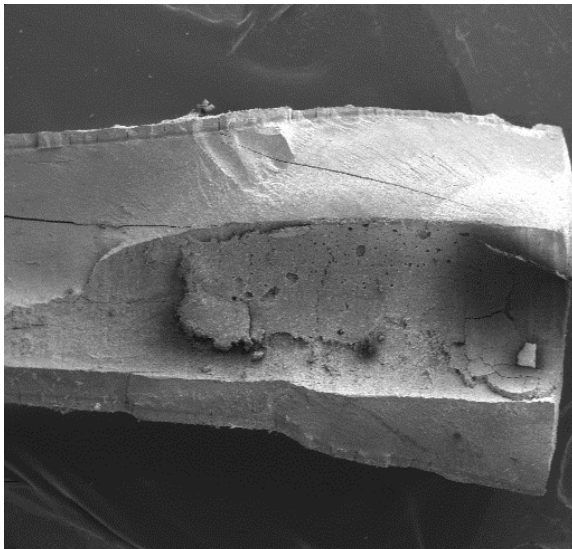


Abb. 38: Stellen mit und ohne Zement kommen vor (V. 500)

Versuchsgruppe 9: abgestrahlte Keramikstifte + Ketac-Cem Aplicap®

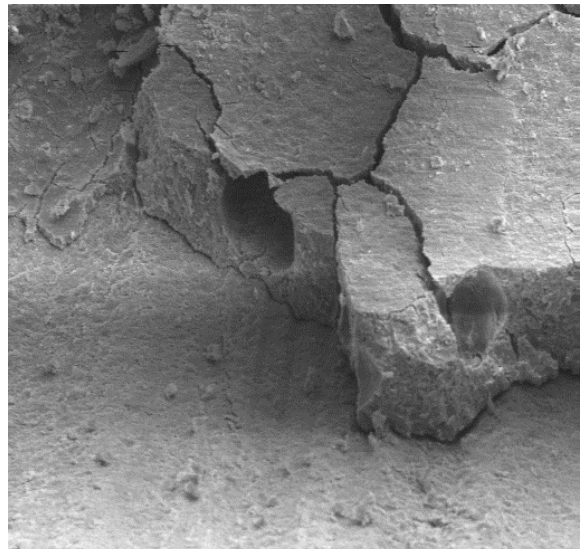
Der Zement liegt großflächig im Wurzelkanal verteilt, Stellen mit Zement und ohne Zement wechseln sich ab (Abb. 39 u. 40). Die mit Aluminiumoxid vorbehandelten Keramikstifte zeigen das gleiche Verhalten (Abb. 41 u. 42). Die Schwachstelle liegt damit abwechselnd im adhäsiven Verbund zwischen Dentin und Zement, sowie zwischen Zement und Stiftoberfläche.



W001, CP(A)+Ketac-Cem., v35

1mm

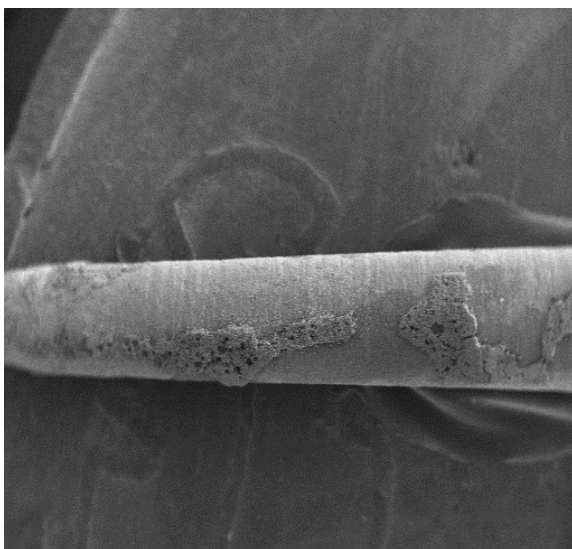
Abb. 39: Stellen mit und ohne Zement wechseln sich ab (V. 35)



W001, CP(A)+Ketac-Cem., v500

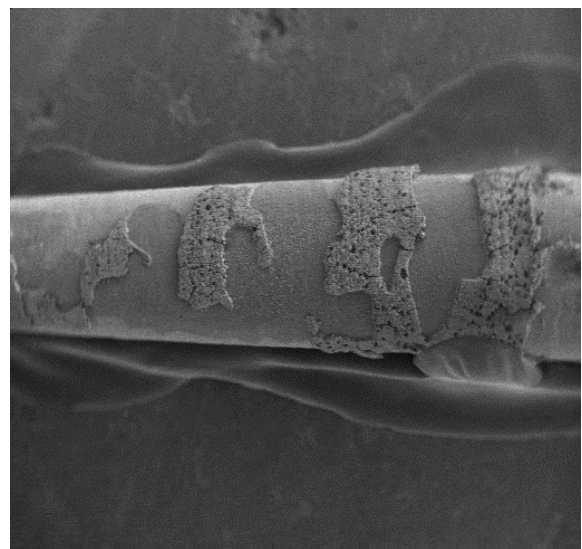
100µm

Abb. 40: Dicke Zementschicht haftet fest am Dentin (V. 500)



W003, CP(A)+Ketac-CEM, v35b

1mm



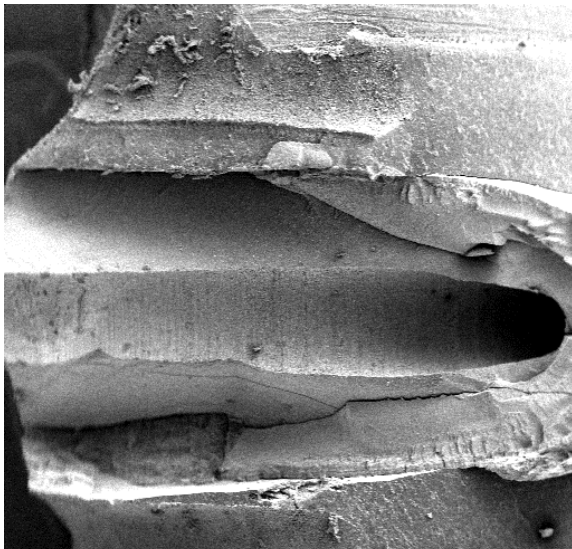
W003, CP(A)+Ketac-CEM, v35b

1mm

Abb. 41 und 42: Der Zement haftet an vielen Stellen der vorbehandelten Keramikoberfläche (V. 35)

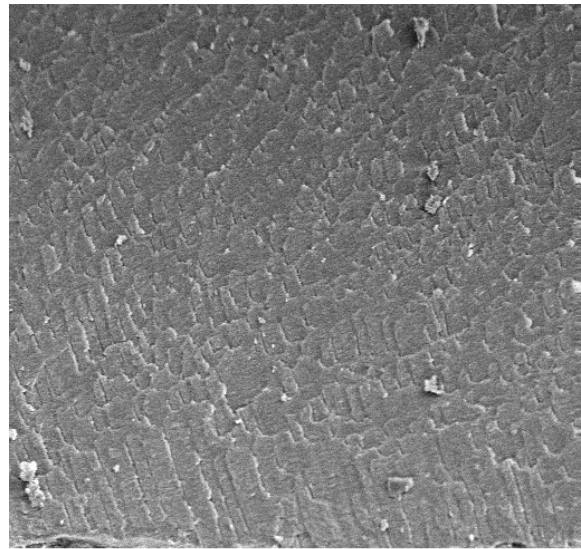
Versuchsgruppe 10: nicht abgestrahlte Keramikstifte + Ketac-Cem Aplicap®

Die Proben dieser Versuchsgruppe zeigen eine Zementhaftung entlang der gesamten Kanalwand (Abb. 43 u. 44). Die glatten Keramikstifte sind überwiegend frei von Zement, nur sporadisch sind sehr kleine Zementreste zu beobachten (Abb. 45 u. 46). Ein adhäsiver Versagensmechanismus zwischen Zement und der glatten Stiftoberfläche liegt hier zugrunde.



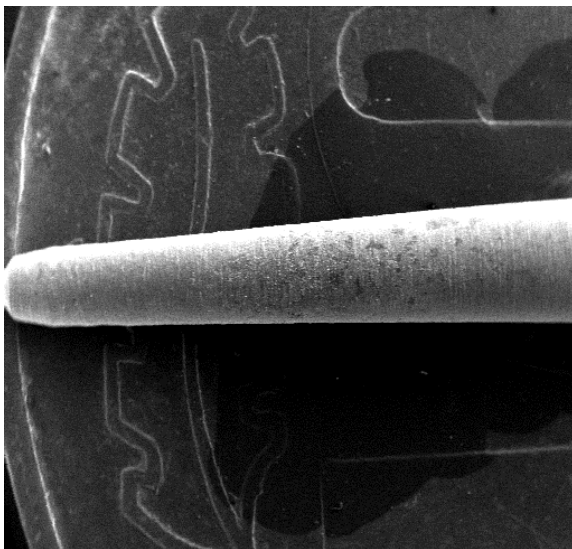
W010, CP(NA)+Ketac-Cem, v25 3mm

Abb. 43: Die gesamte Kanalwand ist mit Zement bedeckt (V. 25)



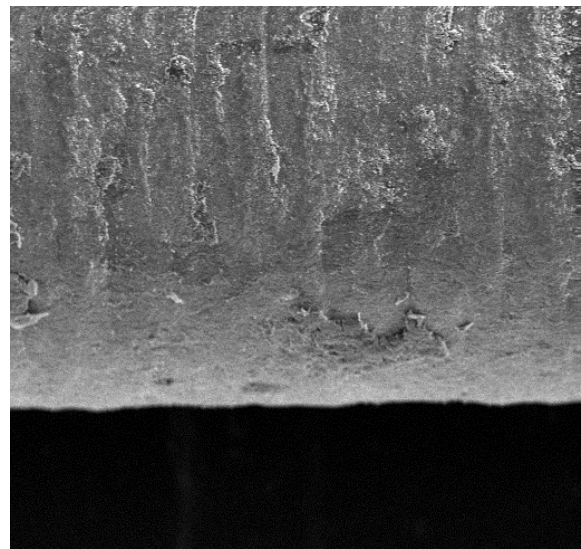
W010, CP(NA)+Ketac-Cem, v500 100µm

Abb. 44: Gleichmäßige Zementschicht haftet am Dentin (V. 500)



W010, CP(NA)+Ketac-Cem Stift, v25 3mm

Abb. 45: Glatte Keramikstifte ohne Zement (V. 25)



W010, CP(NA)+Ketac-Cem Stift, v220 300µm

Abb. 46: Nur an wenigen Stellen befinden sich kleine Zementreste (V. 220)

Versuchsgruppe 11: abgestrahlte Keramikstifte + Panavia™ F

Der Kompositzement bedeckt fast die gesamte Kanalwand (Abb. 47 u. 48). Die Keramikoberfläche der Stifte ist ebenfalls vollständig mit Zement bedeckt (Abb. 49 u. 50). Diese Beobachtung deutet auf ein Versagen überwiegend innerhalb der Zementschicht hin. Geringe adhäsive Probleme zwischen Dentin und Zement traten ebenfalls auf.

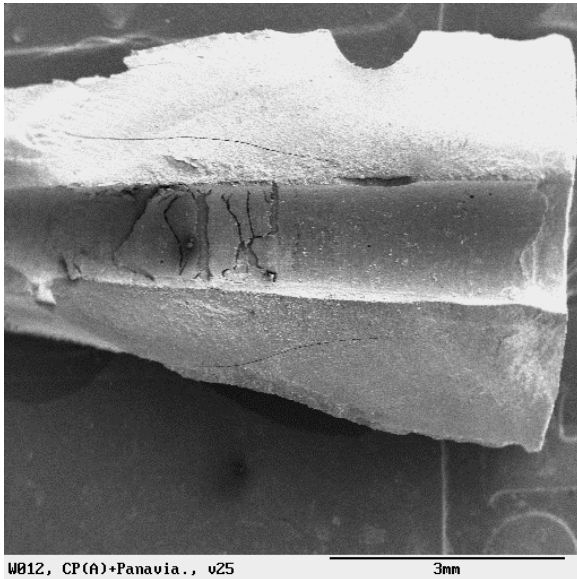


Abb. 47: Panavia™ F bedeckt die gesamte Kanalwand (V. 25)

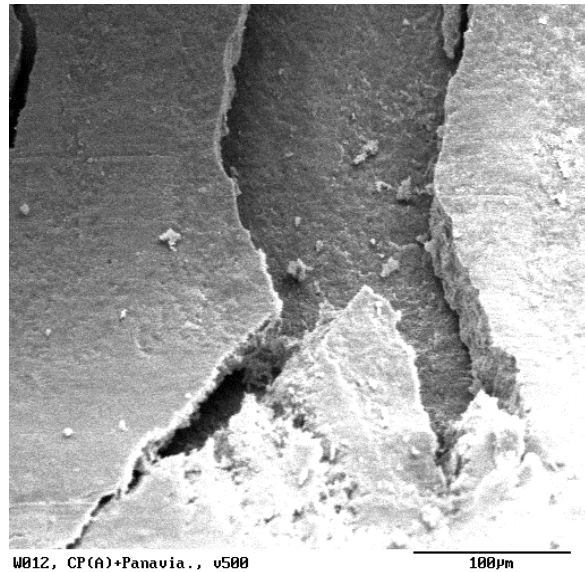


Abb. 48: Nur kleine Stellen sind frei von Zement (V. 500)

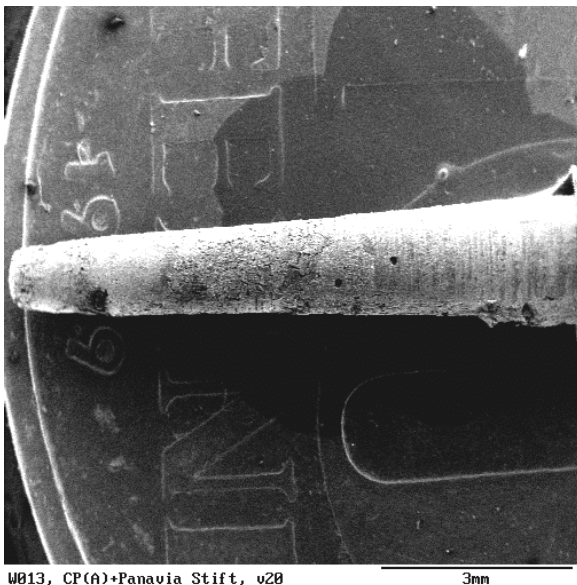


Abb. 49: Die Keramikoberfläche der Stifte ist vollständig mit Zement bedeckt (V. 20)

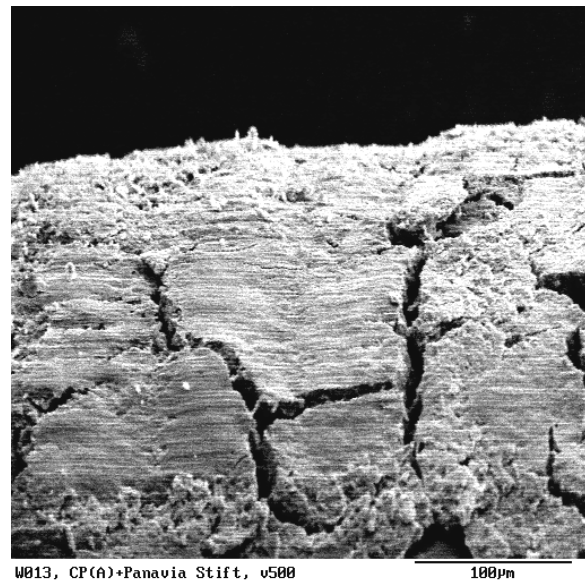
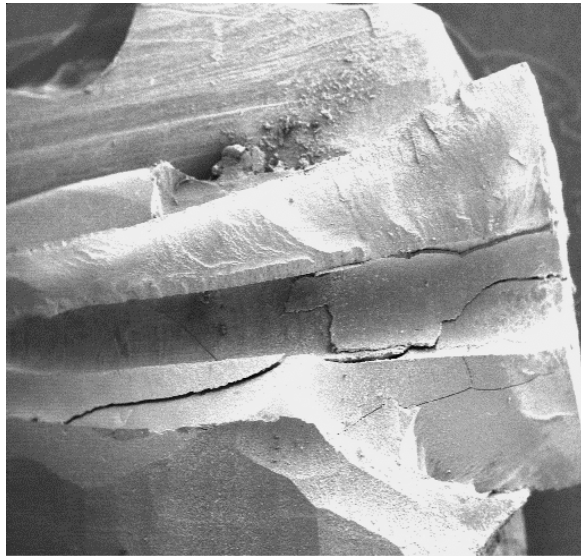


Abb. 50: Dicke Schicht des Kompositzementes (V. 500)

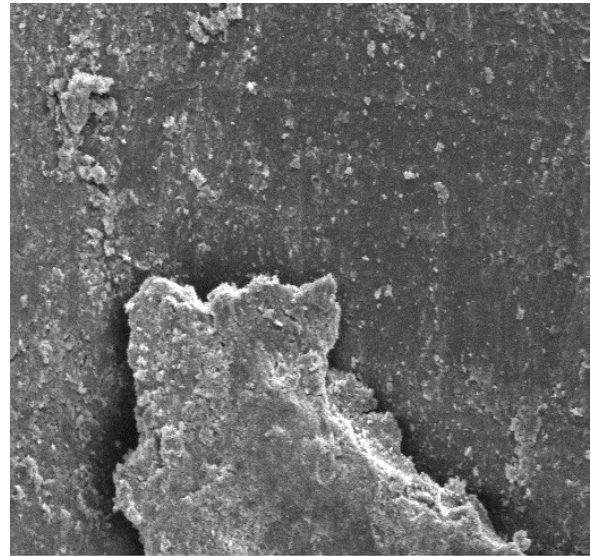
Versuchsgruppe 12: nicht abgestrahlte Keramikstifte + Panavia™ F

In dieser Gruppe liegt die Schwachstelle, die für den Verlust der Retention verantwortlich ist, abwechselnd im Verbund zwischen Dentin und Zement, sowie Zement und Stiftoberfläche. Die Kanalwand ist, wie die Stiftoberfläche, teils mit festhaftendem Zement bedeckt und teils frei von Zement (Abb. 51 - 54).



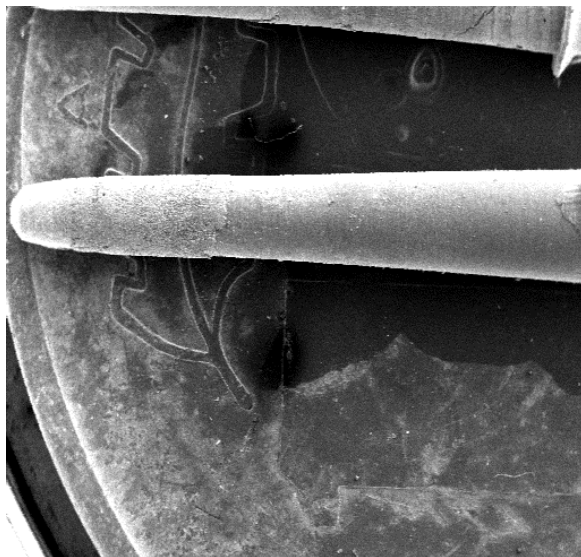
W008, CP(NA)+Panavia, v20 3mm

Abb. 51: Stellen mit Zement wechseln sich mit Stellen ohne Zement ab (V. 20)



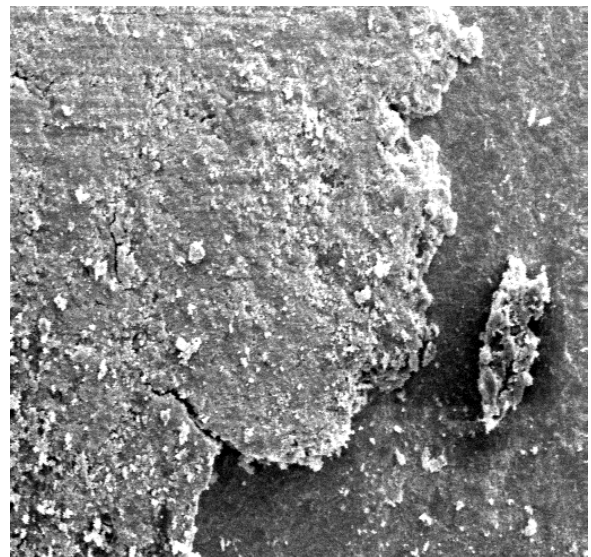
W008, CP(NA)+Panavia, v500 100µm

Abb. 52: wie Abb. 51



W009, CP(NA)+Panavia Stift-A, v20 3mm

Abb. 53: Die untere Hälfte des Stiftes ist mit Zement bedeckt (V. 20)

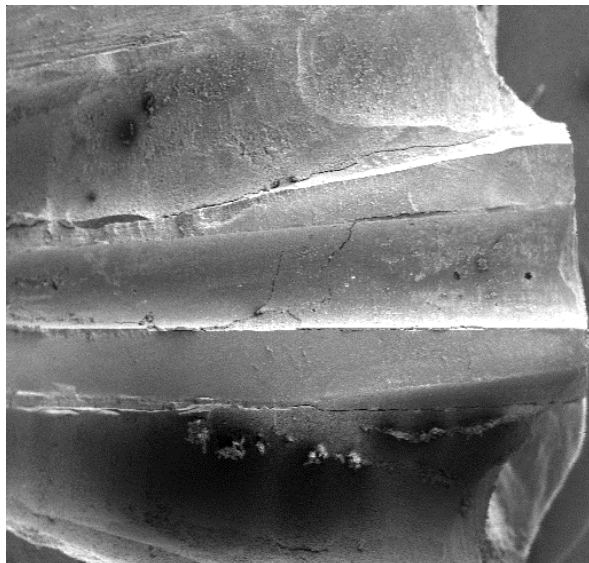


W009, CP(NA)+Panavia Stift-A, v500 100µm

Abb. 54: Stellen ohne Zementhaftung neben Stellen mit anhaftendem Zement (V. 500)

Versuchsgruppe 13: abgestrahlte, silanisierte Keramikstifte + Panavia™ F

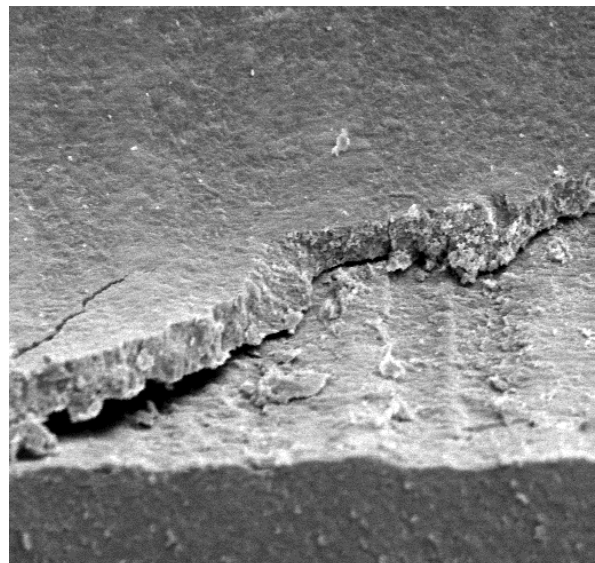
Während die gesamte Kanalwand vollständig mit dem Kompositzement bedeckt ist, sind die mit Aluminiumoxid behandelten und silanisierten Keramikstifte frei von Zementresten (Abb. 55 – 57). Der Versagensmechanismus war adhäsiv zwischen Zement und der keramischen Stiftoberfläche.



W005, CP(A)+sil+Panavia, v22

3mm

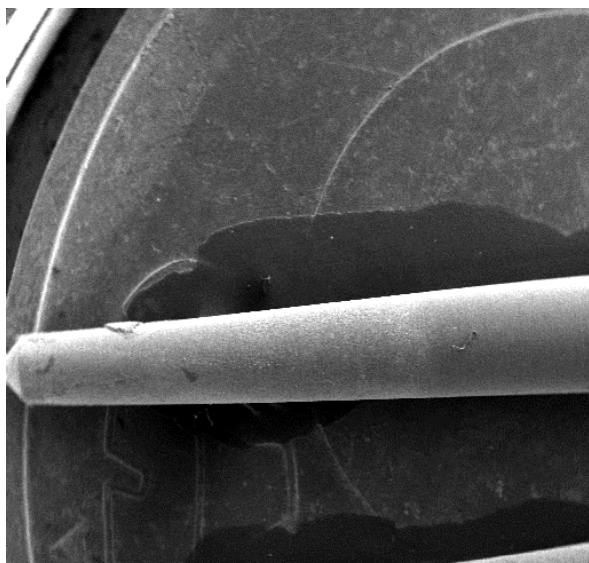
Abb. 55: Gesamte Kanalwand mit Zement bedeckt (V. 20)



W005, CP(A)+sil+Panavia, v500

100µm

Abb. 56: Gleichmäßige Zementschicht bedeckt die Kanalwand (V. 500)



W006, CP(A)+sil+Panavia Stiftb, v22

3mm

Abb. 57: Die Keramikstifte sind frei von Zement

5. Diskussion

In der vorliegenden Untersuchung wurden drei verschiedene Wurzelkanalstiftsysteme in Verbindung mit zwei unterschiedlichen Befestigungsmaterialien unter gleichen Bedingungen Zugkräften ausgesetzt. Die gewählten Stiftsysteme wurden je nach Versuchsgruppe als nicht vorbehandelte, mit glatter Oberfläche oder durch Sandstrahlen mit Aluminiumoxid vorbehandelte Wurzelkanalstifte in humanen Zähnen befestigt.

Ziel dieser Arbeit war es, eine Aussage über die Haftung der Wurzelkanalstifte in Abhängigkeit von Befestigungsmittel und Vorbehandlung der Stiftoberfläche zu treffen.

5.1 Versuchsaufbau

Hinsichtlich der Übertragbarkeit dieser in-vitro-Studie auf die in-vivo-Bedingungen müssen Einschränkungen gemacht werden. So sind die in der Mundhöhle auftretenden Kräfte nicht nur auf Zug ausgerichtet, sondern beinhalten u.a. eine vertikale, horizontale und eine extraaxiale Kraftkomponente (Kirchoff, 1978).

Um die für Wurzelkanalstiftsysteme und Befestigungszemente wichtige Haftkraft reproduzieren zu können, wurden diese in-vitro-Versuche den in-vivo auftretenden Verhältnissen gegenüber stark vereinfacht. Die alleinige Ausübung von Zugkräften auf die befestigten Stiftsysteme machte eine Vergleichbarkeit der verschiedenen Zementarten und der Vorbehandlungsmethoden möglich. Es handelte sich hierbei um rein axiale Zugkräfte, die mit einer Universalprüfmaschine durchgeführt wurden und parallel zum Stift und Wurzelkanal verliefen.

Demzufolge beruht der überwiegende Anteil der Studien zur Bestimmung der Haftkraft von Wurzelkanalstiften und Zementen auf axialen Zugversuchen (Assif & Feber 1982; Ben-Amar et al. 1986; Cohen et al. 1999; Cohen et al. 2000; Cooney et al. 1986; Deutsch et al. 1985; Duncan & Pameijer 1998; Johnson & Sakumura 1978; Nergiz & Platzer 1992; Nergiz et al. 1997; Nergiz et al. 2002; O'Keefe et al. 2000; Standlee et al. 1978; Standlee & Caputo 1993). Alle diese Versuche wurden, wie in der vorliegenden Studie, an extrahierten, kariesfreien menschlichen Schneide- und Eckzähnen durchgeführt, die nach der Extraktion und während der gesamten Studienzeit in einer isotonischen Kochsalzlösung aufbewahrt wurden, um eine Austrocknung des Dentins zu verhindern.

Aufgrund der anatomischen Individualität der menschlichen Zähne wurden sehr ähnliche, jedoch keine identischen Geometrien der Versuchszähne vorgefunden.

Dies betrifft sowohl die Länge und die Breite der Wurzel, als auch den Verlauf des Wurzelkanals.

Die endodontische Aufbereitungstechnik sowie die Präparation des Wurzelkanals zur Aufnahme des Wurzelkanalstiftes mit genormten Instrumenten erlaubte jedoch eine beinahe identische Ausgangsposition für alle Versuchszähne.

Da jedoch die menschliche Hand nur begrenzt exakt arbeiten kann, muss es bei manuell erzeugten Passungen immer mit geringen Abweichungen zwischen Stift und Stiftbett gerechnet werden.

Von den Befestigungsmitteln wurde aus konventionellen Zementen und Zementen auf Kompositbasis jeweils ein Vertreter willkürlich ausgewählt. Die große Vielfalt und die ständige Markteinführung verschiedener neuer Materialien machen es unmöglich, alle Befestigungszemente des Dentalmarktes zu testen.

Um die optimalen physikalischen Eigenschaften der ausgewählten Zemente zu erreichen, wurde bei der Verarbeitung dieser Materialien mit größter Sorgfalt und streng nach den Herstellerempfehlungen gearbeitet.

Hinsichtlich der absoluten Trockenlegung bei Verwendung von Kompositzementen konnte diese Untersuchung sehr gut durchgeführt werden, da die Versuchszähne während des Befestigungsvorgangs der Wurzelkanalstifte der Kochsalzlösung entnommen wurden. Fraglich ist, in wie weit sich diese Bedingungen in-vivo realisieren lassen.

Die der Stiftversorgung vorausgehende endodontische Behandlung, verbunden mit dem Einsatz von Guttapercha und Sealer, hat wie in Studien gezeigt, keine Auswirkungen auf die Eigenschaften von Zementen und damit keinen Einfluss auf die Haftung der Wurzelkanalstifte im Kanal (Boone et al. 2001; Hagge et al. 2002).

Die in dieser Studie ausgewählte, im Wurzelkanal fixierte Stiftlänge betrug einheitlich bei allen Proben 10 mm, um den direkten Vergleich zwischen den Versuchsreihen zu vereinfachen. In den meisten Studien, die auf den axialen Zugversuchen beruhen, werden Stiftlängen zwischen 8 und 15 mm verwendet, was den optimalen Vergleich mit den Ergebnissen dieser Studie deutlich erschwert.

Daneben benutzten die Autoren nicht immer die gleichen Wurzelkanalstiftsysteme, die in dieser Studie zur Prüfung herangezogen wurden. Dies beeinträchtigt ebenfalls den direkten Vergleich mit vorliegender Untersuchung, da die Stiftform, Stiftlänge und Oberflächenbeschaffenheit die wichtigsten Kriterien für die Haftung der Stifte im Kanal darstellen (Nergiz et al. 1997; Standlee et al. 1978).

5.2 Ergebnisanalyse

In allen Versuchsgruppen konnte eine Haftung der Stifte im Wurzelkanal nachgewiesen werden, jedoch mit großen Unterschieden in den gemessenen Retentionswerten zwischen den einzelnen Gruppen. Die unterschiedlichen Haftwerte der Versuchsgruppen innerhalb eines Stiftsystems korrelieren eindeutig mit den eingesetzten Befestigungszementen und der Vorbehandlung der Stiftoberfläche. Die mit Hilfe von axialen Zugversuchen ermittelten Retentionswerte für drei Wurzelkanalstiftsysteme sind mit den Ergebnissen anderer Autoren vergleichbar.

Assif und Ferber (1982) untersuchten die Auswirkung vom Phosphatzement (Harvard Dental, Berlin, D) und von einem Kompositzement (Prosthodont crown base, LA, USA) auf die Retention von 7 mm langen, zylindrischen Parapost-Stiften (Whaledent Inc., NY, USA) mit gezählter Oberfläche. Die Zugversuche erfolgten mit einer Universalprüfmaschine entlang der Zahnlongsachse. Die dabei ermittelten Retentionswerte betragen für Stifte zementiert mit Zinkphosphatzement 218,1 N und für Stifte befestigt mit dem Kompositzement 349,23 N im Mittel. Der direkte Vergleich dieser Werte mit den ermittelten Werten ist nicht möglich, weil die Autoren ein anderes Stiftsystem, unterschiedliche Stiftlänge und andere Befestigungszemente verwendeten.

Es ist jedoch die erste Studie in der Literatur, die im Gegensatz zu früheren Untersuchungen zeigt, dass die Verwendung von Kompositzementen die Haftung von Wurzelkanalstiften erhöhen kann. Die vorliegende Untersuchung mit Titanstiften als Vertreter metallischer Wurzelkanalstifte dieser Studie, in Verbindung mit dem Kompositzement Panavia™ F, ergab keine signifikante Erhöhung der Stiftretention im Vergleich zu dem Glasionomerezement Ketac-Cem Aplicap®. Deutlichen Vorteil hinsichtlich der Retention bietet der Kompositzement Panavia™ F, jedoch bei Befestigung der untersuchten Titanstifte mit glatter, nicht vorbehandelter Stiftoberfläche.

Nergiz und Platzer (1992) führten Zugversuche mit konfektionierten, 9 mm langen Titanstiften des Erlanger Stift-Systems (Komet, Lemgo, D) durch, die mit zwei verschiedenen Glasionomorzementen und vorausgehender Konditionierung des Dentins mit unterschiedlichen Säuren befestigt waren.

Die Versuchsgruppe, in der Ketac-Cem Aplicap® (ESPE, Seefeld, D) ohne Konditionierung des Wurzelkanaldentins verwendet wurde, erreichte von allen Gruppen die höchsten Haftkräfte von 203 N im Mittel und zeigte damit, dass die Konditionierung des Dentins mit Säuren keinen Vorteil in der Haftung des Glasionomorzementes am Dentin bietet.

Dabei lag die Schwachstelle im Verbund zwischen der Kanalwand und dem Zement, da die entfernten Stifte größtenteils mit fest anhaftendem Zement belegt waren.

Die im Zuge der Versuchsdurchführung erreichten Retentionskräfte für abgestrahlte Titanstifte zementiert mit Ketac-Cem Aplicap®, waren mit 410,12 N im Mittel mehr als doppelt so hoch als die ermittelten Werte von Nergiz und Platzer (1992).

Die Länge der Titanstifte betrug in dieser Studie 10 mm und war damit 1 mm länger als bei den o.g. Autoren, was zum Teil einen positiven Einfluss auf die hierbei gemessenen Werte haben kann. Inwiefern die Stiftform und die mögliche Vorbehandlung der Titanstifte dieses Ergebnis beeinflusst hatte, kann nicht diskutiert werden, weil die Autoren keine Angaben zu den Stifteigenschaften machten.

Love und Purton (1998) untersuchten in ihrer Studie die Retention von zylindrischen, 10 mm langen Stahlstiften mit gezählter Oberfläche, die u.a. mit Ketac-Cem® (ESPE, Seefeld, D) und mit dem chemisch härtenden Kompositzement Panavia 21® (Kuraray, Osaka, J) in extrahierten humanen Schneidezähnen befestigt waren. Die Proben wurden nach sechs Wochen Aufbewahrung in 0,9%-iger Kochsalzlösung auf axiale Zugkräfte geprüft. Die dabei erzielten Haftkräfte lagen bei Stiften, die mit Ketac-Cem® befestigt wurden, bei 286,16 N und in Verbindung mit Panavia 21® bei 212,56 N im Mittel. Ein statistisch signifikanter Unterschied bestand zwischen den beiden Versuchsgruppen nicht.

In vorliegender Studie erreichten die konischen, abgestrahlten Titanstifte, zementiert mit dem gleichen Zement Ketac-Cem Aplicap®, 410,12 N und mit dem dualhärtenden Kompositzement Panavia™ F, 440,83 N im Durchschnitt. Auch hier bestand kein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Zementarten. Die erzielten Haftwerte für beide Zemente sind jedoch deutlich höher als die von den o.g. Autoren.

Dieses überraschende Ergebnis widerspricht den Studien vieler Autoren, die im Gegensatz zu den konischen, abgestrahlten Wurzelkanalstiften, höhere retentive Eigenschaften von zylindrischen Wurzelkanalstiften mit gezählter Oberfläche gemessen haben (Johnson & Sakumura 1978; Standlee et al. 1978).

Der Abbindevorgang von Glasionomorzementen dauert ca. 24 Stunden und erreicht schon nach 15 min 80% der maximalen Haftkraft (Aboush & Jenkins 1986; Mount 1981).

Daher dürften die Zugversuche, wie in vorliegender Studie, 24 Stunden nach der Stiftbefestigung sinnvoll sein, obwohl die endgültige Festigkeit von Glasionomorzementen erst nach Wochen eintritt (Wilson & McLean 1988).

Bei der qualitativen Analyse beobachteten Love und Purton (1998) kohäsives Versagen innerhalb des Zementes Ketac-Cem® und adhäsives Versagen zwischen dem Komposit und der Kanalwand bei Panavia 21® als Ursache für den Verlust der Retention der Stifte im Wurzelkanal.

Das gleiche Ergebnis erzielte die vorgenommene mikroskopische Betrachtung der vorbehandelten Titanstifte zementiert mit Ketac-Cem Aplicap®. Die Titanstifte befestigt mit Panavia™ F zeigten jedoch adhäsives Versagen zwischen dem Kompositzement und der Stiftoberfläche sowie zusätzliche Schwachstelle innerhalb der Zementschicht.

In einer Studie von Nergiz et al. (1997) wurden u.a. konische, sandgestrahlte, 9 mm lange Titanstifte (Komet, Lemgo, D) der ISO-Größe 50, die mit Hilfe von konventionellem Zinkphosphatzement (Tenet, Vivadent Inc., NY, USA) zementiert wurden, verwendet und auf deren Haftung im Wurzelkanal hin untersucht. Vor der Befestigung des Stiftes wurde die Kanalwand mit einem diamantierten Handinstrument (Komet, Lemgo, D) aufgeraut, um eine bessere Retention des Zementes zu erreichen. Die axialen Zugversuche ergaben in dieser Untersuchung mittlere Retentionswerte in Höhe von 207 N und die anschließende mikroskopische Analyse zeigte ein kohäsives Versagen des Befestigungszementes.

Obwohl der direkte Vergleich dieser Werte mit den experimentell erreichten Haftwerten in den Versuchsgruppen 5 und 7 aufgrund unterschiedlicher Stiftlänge und Stiftgröße erschwert ist, kann tendenziell beobachtet werden, dass der Einsatz von Ketac-Cem Aplicap® oder Panavia™ F die Retention von Titanstiften deutlicher erhöhen kann als der Zinkphosphatzement.

Die von Duncan und Pameijer (1998) auf Haftkräfte hin untersuchte 9 mm langen, zylindrischen Titanstifte mit gezählter Oberfläche (Parapost, Whaledent Inc., NY, USA) zeigten mittlere Retentionswerte in Höhe von 159,9 N bei Befestigung mit Ketac-Cem Maxicap® (ESPE, Seefeld, D) und 163,8 N bis 445,4 N bei Verwendung von verschiedenen Kompositzementen.

Werden die in der durchgeführten Studie erreichten Retentionswerte von konischen, abgestrahlten, 10 mm langen mit Ketac-Cem Aplicap® oder mit dem Kompositzement Panavia™ F zementierten Titanstiften zum Vergleich hinzugezogen, kann behauptet werden, dass das konische Design der Titanstifte erwartungsgemäß nicht zum Verlust der Retention im Wurzelkanal führt, sondern Haftkräfte erreichen kann, die ähnlich oder sogar höher sind als bei zylindrischen Titanstiften.

Standlee und Caputo (1992) empfehlen die Verwendung von 8 mm langen, zylindrischen Titanstiften mit gezählter Oberfläche (Parapost, Whaledent Inc., NY, USA) in Verbindung mit dem Kompositzement Unity Post (Whaledent Inc., NY, USA) oder C & B Metabond (Parkell, USA). Bei beiden Zementen wurde, im Gegenteil zu Panavia™ F, das Wurzelkanalentin zuvor mit 10%-iger Polyacrylsäure oder 10%-iger Zitronensäure vorbehandelt, mit dem Ziel, die „smear layer“ zu entfernen und die Dentintubuli zu eröffnen. Somit wird die Ausbildung von s.g. „Tags“, die eine zusätzliche Retention vermitteln sollen, mit den Dentinhaftvermittlern möglich. Bei axialen Zugversuchen dieser Stifte, erzielten die Autoren Haftwerte zwischen 547 N und 774 N im Mittel und der beobachtete Versagensmechanismus war stets kohäsiver Natur.

Im Vergleich dazu, erreichten in vorliegender Untersuchung die sandgestrahlten Titanstifte, befestigt mit dem Kompositzement Panavia™ F (Versuchsgruppe 7) Retentionswerte von 440,83 N im Mittel und bleiben damit unter den Werten von Standlee und Caputo (1992). Die Ursache für dieses Ergebnis kann im konischen Stiftdesign der verwendeten Titanstifte liegen und in der zusätzlichen Schwachstelle von Panavia™ F im Verbund zwischen Dentin und Zement sowie Zement und Stiftoberfläche.

Hinsichtlich des Einflusses der „smear layer“ auf die Retention von Wurzelkanalstiften in Verbindung mit Kompositzementen führte Goldman et al. (1984) eine Studie durch. Er stellte fest, dass die Entfernung dieser Schmierschicht mit 17%-iger EDTA zur Erhöhung der Haftkräfte von Wurzelkanalstiften führt, wenn diese mit Kompositzementen in Verbindung mit nicht selbstätzenden Dentinhaftvermittlern befestigt werden.

Ob die Erhöhung der Retentionswerte nur auf die Ausbildung von „Tags“ durch die Entfernung der Schmierschicht zurückzuführen ist, erscheint fraglich, da man heute annimmt, dass die Haftung der Dentinadhäsive der Ausbildung einer Hybridschicht zuzuschreiben ist, die durch Infiltration des Dentinhaftvermittlers in das freigelegte Kollagen des intertubulären Dentins entsteht (Hellwig et al. 1999b).

Die selbststützenden Dentinadhäsive, wie z.B. der ED-Primer (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J), enthalten ein saures Primer-Adhäsiv-Gemisch, das die Entfernung der Schmierschicht mit Säuren überflüssig macht. Es entsteht eine infiltrierte Schmierschicht und eine Verbindung des Adhäsives zum oberflächlich freigelegten Kollagen des intertubulären Dentins. Damit ist die Haftung der Komposite, wie z.B. Panavia™ F am Dentin gesichert.

Bei der Betrachtung der in den Versuchen erreichten Retentionswerte für die Carbonfaserstifte, ist ein deutlicher Unterschied in der Verwendung von verschiedenen Befestigungszementen festzustellen. So erreichten die mit Panavia™ F befestigten Carbonfaserstifte mittlere Retentionswerte in Höhe von 448,40 N bzw. 395,71 N. Ein signifikanter Unterschied in der Vorbehandlungstechnik besteht nicht. Damit sind die Haftkräfte dieser Stifte mehr als doppelt so hoch wie die Retentionswerte für gleiche Carbonfaserstifte, zementiert mit Ketac-Cem Aplicap®, die im Mittel 210,95 N bzw. 176,82 N erzielten.

Cohen et al. (1999) untersuchte in einer Studie die Retention von 11 mm langen Carbonfaserstiften (C-Post®, Bisco Inc. Schaumburg, IL) mit gezählter Oberfläche, die mittels eines konventionellen Zinkphosphatzementes befestigt wurden und axialen Zugkräften ausgesetzt worden sind. Die erzielten Haftkräfte lagen mit 171,8 N im Mittel. Obwohl die Carbonfaserstifte (C-Post®) aus der Studie von Cohen et al. (1999) mit 11 mm Stiftlänge, 1,75 mm Durchmesser und gezähltem Oberflächendesign hinsichtlich der retentiven Eigenschaften den untersuchten Carbonfaserstiften überlegen waren, konnten sie die erzielten Retentionswerte (395,7 – 448,4 N) mit Panavia™ F als Befestigungsmaterial nicht übersteigen.

Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Verwendung von Panavia™ F als Befestigungsmaterial die Retention von Carbonfaserstiften deutlich erhöhen kann und damit einen sicheren Halt dieser Stifte im Wurzelkanal gewährt.

Die sehr guten retentiven Eigenschaften von Panavia™ F konnte auch Pest et al. (2002) in seiner Studie bestätigen. Der Autor untersuchte die Retention verschiedener Carbonfaserstifte, die mit unterschiedlichen Kompositzementen befestigt wurden. Unter den Befestigungsmaterialien befanden sich selbsthärtende Komposite, lichthärtende Komposite sowie dualhärtende Komposite, wie z.B. Panavia™ F (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J). Innerhalb dieser Systeme traten Dentinhaftvermittler mit selbstätzenden Eigenschaften, wie z.B. ED-Primer (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) auf und solche, die keine selbstätzende Funktion besaßen und eine vorausgehende Konditionierung des Wurzelkanalendens mit 37%-iger Phosphorsäure voraussetzten, wie z.B. All Bond 2 (Bisco Inc., Schaumburg, IL). Durch axiale Zugversuche und anschließende mikroskopische Betrachtung der Proben stellte Pest et al. fest, dass trotz der Ausbildung einer Hybridschicht mit langen und gleichmäßigen „Tags“ bei der Verwendung des Dentinhaftvermittlers All Bond 2 mit dem Kompositzement Ti-Core Titanium (EDS Inc., Hackensack, NJ) oder C & B Cement (Bisco Inc., Schaumburg, IL) keine höheren Haftkräfte der Carbonfaserstifte zu erwarten sind als bei anderen Dentinhaftvermittlern.

Im Gegensatz dazu zeigte der selbstätzende Dentinhaftvermittler ED-Primer (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) in Verbindung mit Panavia™ F von allen Zementen die höchsten Retentionswerte der Carbonfaserstifte im Mittel, ohne zusätzliche „Tags“ zu entwickeln. Die dabei beobachtete Hybridschicht war entlang des Wurzelkanals nicht homogen verteilt, was aber die Stiftretention anscheinend nicht beeinträchtigt hat.

Die adhäsive Befestigungsmethode von Carbonfaserstiften mit dualhärtenden Kompositzementen (z.B. Panavia™ F) in Verbindung mit selbstätzenden Dentinhaftvermittlern (z.B. ED-Primer), stellt zu konventionellen Zementen eine alternative Befestigungstechnik dar, aus der hohe Retentionswerte dieser Wurzelkanalstifte resultieren.

Cerapoststifte, die aus Zirkondioxidkeramik hergestellten Wurzelkanalstiftsysteme, kommen besonders im ästhetisch anspruchsvollen Gebieten, z.B. Frontzahnbereich, zum Einsatz. Aufgrund ihrer Farbe eignen sie sich besonders bei endodontisch behandelten Zähnen, die anschließend mit einer vollkeramischen Krone restauriert werden.

Cohen et al. (2000) untersuchte die retentiven Eigenschaften von konischen, 10 mm langen Cerapoststiften (Komet, Lemgo, D), die mit dem Kompositzement Universal Post Cementation Kit II (Brasseler, USA) in extrahierten menschlichen Zähnen befestigt wurden.

Die anschließenden axialen Zugversuche ergaben einen mittleren Retentionswert in Höhe von 114,6 N. Dieser Haftwert liegt unterhalb der im Versuch gemessenen Werte für dieses Stiftsystem.

Der entscheidende Faktor für diese Differenz liegt offensichtlich in der Wahl des verwendeten Befestigungsmaterials.

Während Panavia™ F in vorliegender Studie den Retentionswert von Cerapoststiften auf 207,41 N bis 242,28 N (Versuchsgruppe 11-13) im Vergleich zum o.g. Wert fast verdoppeln kann, erreicht der Einsatz von Ketac-Cem Aplicap® Haftwerte von bis zu 362,45 N im Mittel. Somit wird deutlich, dass die Wahl von Ketac-Cem Aplicap® als Vertreter zahlreicher Glasionomerezemente eine gute Befestigungsmethode für Keramikstifte darstellt. Snyder und Caputo (1999) setzten in ihrer Studie ebenfalls Cerapoststifte axialen Zugkräften aus. Die verwendeten 10 mm langen Keramikstifte wurden von den Autoren mit Aluminiumoxid vorbehandelt und anschließend mit einer Silanschicht versehen. Zur Befestigung der Stifte verwendeten sie verschiedene Kompositzemente. Die Zugversuche ergaben je nach Zementart Retentionswerte zwischen 70,63 N und 551,81 N im Mittel.

Der Vergleich der Werte mit den gewonnenen Ergebnissen dieser Studie zeigt, dass die erreichten Retentionswerte für Cerapoststifte mit Panavia™ F und Ketac-Cem Aplicap® mit Hilfe von anderen Kompositzementen durchaus zu überbieten sind, jedoch eine durchschnittliche Retention gewähren.

Die Vorbehandlung von keramischen Wurzelkanalstiften mit Aluminiumoxid und Flusssäure und die anschließende Silanisierung der Oberfläche führen zu einer guten Haftung von Kompositzementen an diesen Flächen und werden in der Literatur empfohlen (Wolf et al. 1993).

O'Keefe et al. (2000) stellte in einer Untersuchung an keramischen Oberflächen von Cerapoststiften fest, dass der chemischhärtende Kompositzement Panavia 21 (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) eine sehr gute Verbindung zur Keramikoberfläche herstellt, wenn diese zuvor mit 8%-iger Flusssäure und mit dem Clearfil Porcelain Bond Activator (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) behandelt wird.

In der vorliegenden Arbeit konnte kein signifikanter Anstieg der Retention von abgestrahlten Cerapoststiften verzeichnet werden, wenn diese nach Herstellerempfehlung von Panavia™ F mit 40%-iger Phosphorsäure angeätzt und mit Clearfil Porcelain Bond Activator (Kuraray Co. Ltd., Osaka, J) silanisiert wurden, um anschließend mit diesem Kompositzement befestigt zu werden.

Die mikroskopische Untersuchung der Proben ergab, dass die silanisierte Keramikfläche vollständig frei von Zement war. Damit konnte die vom Hersteller versprochene bessere Haftung des Kompositzementes Panavia™ F an der silanisierten Keramikoberfläche von Wurzelkanalstiften nicht bestätigt werden, wenn diese zuvor mit einer 40%-igen Phosphorsäure behandelt wurde.

Die nicht silanisierten Cerapoststifte zeigten im Gegenteil eine sehr gute Haftung des Kompositzementes an der keramischen Oberfläche, obwohl die Retentionswerte dieser Stifte den silanisierten Stiften ähnlich ausfielen. Die Ursache dafür kann im kohäsiven Versagen innerhalb der Zementschicht bei abgestrahlten Keramikstiften und adhäsiv im Dentin-Zement-Verbund sowie Zement-Stift-Verbund bei nicht abgestrahlten Keramikstiften liegen.

Die Verwendung von dem Glasionomerezement Ketac-Cem Aplicap® kann, den gewonnenen Ergebnissen nach, als Mittel der Wahl bei der Befestigung von mit Aluminiumoxid abgestrahlten Cerapoststiften gesehen werden. Er ist dem Kompositzement Panavia™ F in diesem Fall überlegen.

6. Zusammenfassung

Die Indikation zur Verwendung von Wurzelkanalstiften besteht, wenn endodontisch behandelte Zähne mittels künstlicher Kronen restauriert werden sollen, jedoch deren natürliche Krone durch Karies, Trauma oder vorausgehende Füllung weitgehend zerstört wurde und das Stumpfaufbaumaterial in der Haftung unterstützt werden muss.

Die Verankerung der Stiftsysteme im Wurzelkanal kann aktiv durch Gewinde oder passiv durch Zementierung erfolgen.

Viele aktive Schraubensysteme erzeugen unerwünschte Spannung innerhalb der Wurzel während des Einsetzens und bei Belastung. Neuere aktive Systeme kompensieren dieses Problem durch geteiltes Schaftdesign.

Die passiven Stiftsysteme werden nach ihrem Stiftdesign in zylindrische, konische und Kombination der beiden Formen eingeteilt. Da diese Stifte ihre Haftung im Wurzelkanal durch den Einsatz von verschiedenen Befestigungsmaterialien erhalten, lösen sie kaum Spannung innerhalb der Wurzel aus.

Ihre retentiven Eigenschaften sind v.a. vom Stiftdesign, von der Stiftlänge, Oberflächenbeschaffenheit und der verwendeten Zementart abhängig.

Ziel der vorliegenden Untersuchung war es, den Einfluss von zwei verschiedenen Befestigungszementen und Vorbehandlungstechniken auf die Retention von drei unterschiedlichen Wurzelkanalstiftsystemen zu überprüfen.

Zu diesem Zweck wurden insgesamt 130 extrahierte, kariesfreie menschliche Schneide- und Eckzähne an der Schmelz-Zement-Grenze dekapitiert und endodontisch behandelt. Anschließend wurde in jeder Zahnwurzel ein 10 mm langer Wurzelkanalstift verankert. Die dabei verwendeten Stiftsysteme unterschieden sich im Design und dem Material, aus dem sie hergestellt worden sind. So kamen in dieser Studie zylindrische Carbonfaserstifte mit abgerundeter Spitze (Mirafit Carbon, Hager Werken, Duisburg, D), konische ER-Reintitanstifte (Komet, Lemgo, D) sowie konische, vollkeramische ER-Cerapoststifte (Komet, Lemgo, D) vor. Sie wurden je nach Versuchsgruppe mit Aluminiumoxidpulver vorbehandelt und anschließend mit dem Glasionomerezement Ketac-Cem Aplicap® (ESPE, Germany) oder dem dualhärtenden Kompositzement Panavia™ F (Kuraray Co. Ltd., Japan) im Wurzelkanal befestigt.

Nach dem Befestigungsvorgang wurden die Proben 24 Stunden in steriler, isotonischer Kochsalzlösung aufbewahrt und anschließend axialen Zugkräften ausgesetzt.

Dazu wurden die Versuchszähne in einer Universalprüfmaschine (Zwick, Ulm, D) eingespannt und parallel zum Wurzelkanal auf Zug belastet. Die maximale Kraft (in N), die zum vollständigen Abriss der Stifte aus dem Wurzelkanal führte, wurde gemessen und der Retention der Stifte gleichgesetzt.

Die ermittelten Kräfte variierten sowohl zwischen den Befestigungsmitteln als auch innerhalb der Stiftsysteme.

Der statistische Vergleich zwischen den Versuchsgruppen erfolgte mittels der einfachen Varianzanalyse (ANOVA) und des Tukey's Studentized Range Tests sowie Bonferroni-Holm Tests. Der Konfidenzintervall betrug 95%.

Das Carbonfaserstiftsystem zeigte statistisch signifikante Unterschiede zwischen den verwendeten Befestigungsmaterialien. Der Kompositzement Panavia™ F erreichte signifikant höhere Retentionswerte für abgestrahlte und nicht abgestrahlte Carbonfaserstifte als der Glasionomierzement Ketac-Cem Aplicap®. Der Einfluss der Vorbehandlung der Stiftoberfläche mit Aluminiumoxidpulver ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Stiften.

Innerhalb des ER-Reintitanstiftsystems ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den vorbehandelten Titanstiften, gleichgültig ob sie mit Ketac-Cem Aplicap® oder mit Panavia™ F befestigt wurden. Die Vorbehandlung der Titanstifte mit Aluminiumoxidpulver führte bei beiden Zementarten zu signifikant höheren Retentionswerten dieser Stifte im Vergleich zu nicht abgestrahlten Titanstiften.

Keinen signifikanten Unterschied ergab der Vergleich zwischen den vorbehandelten Titanstiften zementiert mit Ketac-Cem Aplicap® und den nicht abgestrahlten Titanstiften befestigt mit Panavia™ F.

Auch die Versuchsgruppen, in denen das ER-Cerapoststiftsystem untersucht worden ist, zeigten signifikante Unterschiede. So erreichten die mit Aluminiumoxidpulver vorbehandelten Cerapoststifte zementiert mit Ketac-Cem Aplicap® signifikant höchste Retentionswerte von allen untersuchten Keramikstiften. Zwischen den übrigen Versuchsgruppen (10-13) gab es keinen signifikanten Unterschied.

Damit wird deutlich, dass Panavia™ F bei den vorbehandelten, nicht vorbehandelten und den silanisierten Keramikstiften des Systems ER-Cerapost nicht die höchste Retention vermitteln kann und der Einsatz von Ketac-Cem Aplicap® vorzuziehen ist.

Die mikroskopische Betrachtung der Versuchszähne ergab, dass der Versagensmechanismus, der zum Verlust der Retention der untersuchten Stifte führte, je nach Versuchsgruppe adhäsiv im Verbund Wurzelkanalentin-Zement oder Zement-Stiftoberfläche lag oder sich kohäsiv innerhalb der Zementschicht manifestierte.

Aus den Ergebnissen dieser Arbeit kann geschlussfolgert werden, dass keiner von den beiden untersuchten Befestigungsmaterialien universell zur Befestigung von unterschiedlichen Wurzelkanalstiftsystemen mit gleichen Ergebnissen hinsichtlich der Retention eingesetzt werden kann. Vielmehr ist die Wahl der Zementart von der verwendeten Stiftart abhängig. Darüber hinaus ist die Vorbehandlung von Wurzelkanalstiften mit Aluminiumoxidpulver nicht bei allen Stiftsystemen notwendig. Sie erhöht die Retention von Carbonfaserstiften ebenso wenig, wie die zusätzliche Silanisierung von abgestrahlten und mit 40%-iger Phosphorsäure angeätzten Keramikstiften.

Während der Kompositzement Panavia™ F bei der Befestigung von Carbonfaserstiften dem Glasionomerezement Ketac-Cem Aplicap® überlegen ist, behält dieser konventionelle Zement seinen hohen Stellenwert bei der Eingliederung vorbehandelter Titan- und Keramikstifte.

Die im Zuge der Versuchsdurchführung gewonnen Retentionswerte für Wurzelkanalstiftsysteme wurden durch axiale Zugversuche ermittelt. Da aber in vivo die Belastung endodontischer Stifte nicht nur auf Zug stattfindet, sondern auch andere Kräfte auf sie einwirken, wäre es sinnvoll, eine Studie anzuschließen, die den Einfluss einer Wechsellast auf die Retention dieser Stiftsysteme untersucht.

7. Literaturverzeichnis

1. AAE: Restoring endodontically treated teeth. American Assoc Endod 27, 1-4 (1995)
2. Aboush YE, Jenkins CB: An evaluation of the bonding of glass-ionomer restoratives to dentin and enamel. Br Dent J 161 (1986) 179-184
3. Assif D, Ferber A: Retention of dowels using a composit resin as a cementing medium. J Prosthet Dent 48 (1982) 292-296
4. Attin T, Hellwig E, Hilgers R.-D: Der Einfluss verstärkender Wurzelstifte auf die Frakturanfälligkeit endodontisch versorgter Zähne. Dtsch Zahnärztl Z 49 (1994) 586-589
5. 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
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. Ben-Amar A, Gontar G, Fitzig S, Urstein M, Liberman R: Retention of prefabricated posts with dental adhesive and composite. J Prosthet Dent 56 (1986) 681-684
9. 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
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. 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

12. Chapman KW, Worley JL, von Fraunhofer JA: Retention of prefabricated posts by cements and resins. *J Prosthet Dent* 54 (1985) 649-652
13. 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
14. 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
15. 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
16. Cooney JP, Caputo AA, Trabert KC: Retention and stress distribution of tapered-end endodontic posts. *J Prosthet Dent* 55 (1986) 540-546
17. Deutsch AS, Musikant BL, Cavallari J, Bernardi S: Retentive properties of a new post and core system. *J Prosthet Dent* 53 (1985) 12-14
18. DGZMK-Stellungnahme: Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 55 (2000) 9-11
19. 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
20. Edelhoff D, Heidemann D, Kern M, Weigl P: Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ: Aufbau endodontisch behandelter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 58 (2003) 199-201
21. European Society of Endodontics: Quality guidelines of the ESE. *Endodontie* 3 (1994) 263

22. Fava L: The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation. *J Endodont* 9 (1983) 76-80
23. Gilpatrick RO, Ross JA, Simonsen RJ: Resine-to-enamel bond strengths with various etching times. *Quintessence Int* 22 (1991) 47-49
24. Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH: Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J Endodont* 8 (1982) 550-554
25. 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
26. Goldstein GR, Hudis SI, Weintraub DE: Comparison of four techniques for the cementation of posts. *J Prosthet Dent* 55 (1986) 209-211
27. Goodacre CJ, Spolnik KJ: The prosthodontic management of endodontically treated teeth: a literatur review. *J Prosthodont* 4 (1995) 122-128
28. Gordon M, Metzger Z: Resistance to horizontal forces of dowel and amalgam-core restorations: a comparative study. *J Oral Rehabil* 14 (1987) 337-344
29. 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
30. 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
31. Hansen EK, Asmussen E, Christiansen NC: In vivo fractures of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam. *Endod Dent Traumatol* 6 (1990) 49-55
32. Helfer AR, Melnick S, Schilder H: Determination of the moisture content of vital and pulpless teeth. *Oral Surg* 34 (1972) 661-670

33. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Endodontologie. In: Einführung in die Zahnerhaltung. 2. Aufl., Urban & Fischer, München/Jena, 1999a, S. 217-295
34. 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
35. Howe CA, McKendry DJ: Effect of endodontic access preparation on resistance to crown root fracture. J Am Dent Assoc 121 (1990) 712-715
36. 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
37. Hülsmann M: Die Wurzelkanalspülung – Ziele, Mittel und Techniken. Endodontie 6 (1997) 47
38. Hülsmann M: Die Aufbereitung des Wurzelkanals. In: Heidemann D (Hrsg): Endodontie, Urban & Fischer, München/Jena, 2001, S. 80-122
39. Ingle JJ: A standardized endodontic technique using newly designed instruments and filling materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14 (1961) 83-91
40. Johnson JK, Sakumura JS: Dowel form and tensile force. J Prosthet Dent 40 (1978) 645-649
41. Kantor ME, Pines MS: A comparative study of restorative techniques for pulpless teeth. J Prosthet Dent 38 (1983) 1007-1014
42. Kent BE, Wilson AD: The properties of glas ionomer cement. Br Dent J 135 (1973) 322-326
43. 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

44. Langeland K.: Management of the inflamed pulp associated with deep carious lesion.
J Endodont 7 (1981) 169-181
45. Lau VM: The reinforcement of endodontically treated teeth.
Dent Clin N Am 20 (1976) 313-328
46. Lewis R, Smith BG: A clinical survey of failed post retained crowns.
Br Dent J 165 (1988) 95-97
47. Lin L, Langeland K: Innervation of the inflammatory periapical lesion.
Oral Surg 51 (1981) 535-543
48. Linn J, Messer HH: Effect of restorative procedures on the strength of endodontically treated molars. J Endodont 20 (1994) 479-485
49. Love RM, Purton DG: Retention of posts with resin, glass ionomer and hybrid cements.
J Dent 26 (1998) 599-602
50. Marxkors R: Lehrbuch der zahnärztlichen Prothetik.
Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln/München, 2000
51. Mendoza DB, Eakle WS: Retention of post cemented with various dentinal bonding cements. J Prosthet Dent 72 (1994) 591-594
52. 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
53. Michnick BT, Raskin BB: A multiple post-core technique.
J Prosthet Dent 39 (1978) 622-626
54. Mount GJ: Restoration with glass-ionomer cement: Requirements for clinical success.
Operat Dent 6 (1981) 59

55. Nergiz I, Platzer U: Haftfestigkeit von Wurzelstiften bei Befestigung mit Glaspolyalkenoatzement in konditionierten Wurzelkanälen. Dtsch Zahnärztl Z 47 (1992) 708-710
56. 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
57. 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
58. Nolden R: Die Stiftverankerte Krone aus sicht der Zahnerhaltung. Deutsch Zahnärztl Z 40 (1985) 1083-1088
59. O'Keefe KL, Miller BH, Powers JM: In vitro tensile bond strength of adhesive cements to new post materials. Int J Prosthodont 13 (2000) 47-51
60. Ottil 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
61. Papa J, Cain C, Messer HH: Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol 10 (1994) 91-93
62. 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
63. Peters LB: Präparation der endodontischen Zugangskavität und Darstellung der Kanäle. I. Schneidezähne und Eckzähne. Endodontie 1 (1992) 57
64. Plasmans PJ, Visseren LG, Vrijhoef MM, Käyser AF: In vitro comparison of dowel and core techniques for endodontically treated molars. J Endodont 12 (1986) 382-387

65. Randow K, Glantz PO: On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study. *Acta Odontol Scand* 44 (1986) 271-277
66. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH: Reduction in tooth stiffness as a results of endodontic and restorative procedures. *J Endodont* 15 (1989) 512-516
67. Riedling W, Kappert HF: Veränderung einer Gingivaverfärbung nach Austausch eines Wurzelstiftes und Versorgung mittels Glaskeramik – Ein Fallbericht. *Quintessenz* 39 (1988) 1919-1925
68. Radke RA, Barkhordor RA, Podesta RE: Retention of cast posts: Comparison of cementing agents. *J Prosthet Dent* 59 (1988) 318-320
69. Rocke H, Kerschbaum Th, Fehn C: Zur Verweildauer wurzelkanalbehandelter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 52 (1997) 783-786
70. Ruemping DR, Lund MR, Schnell RJ: Retention of dowels subjected to tensile and torosional forces. *J Prosthet Dent* 41 (1979) 159-162
71. Schäfer E: Struktur der Pulpa und ihre Erkrankungsformen In: Heidemann D (Hrsg): *Endodontie*. Urban & Fischer, München/Jena, 2001, S. 1-24
72. Schmalz G: *Die Gewebeverträglichkeit zahnärztlicher Materialien*. Georg Thieme, Stuttgart, 1981
73. Schroeder HE: *Pathobiologie oraler Strukturen*. Krager, Basel, 1991, S. 117
74. Sedgley CM, Messer HH: Are endodontically treated teeth more brittle?. *J Endodont* 18 (1992) 332-335
75. 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

76. Smith CT, Schuman N: Restoration of endodontically treated teeth: A guide for the restorative dentist. *Quintessence Int* 28 (1997) 457-462
77. Snyder TC, Caputo AA: Retention and load transfer characteristics of zirconium dioxide endodontic dowels. *J Dent Res* 78 (1999) 1529
78. Sorensen JA, Martinoff JT: Inracoronal reinforcement and coronal coverage: A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51 (1984a) 780-784
79. Sorensen JA, Martinoff JT: Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 52 (1984b) 28-35
80. Sorensen JA, Martinoff JT: Endodontically treated teeth as abutments. *J Prosthet Dent* 52 (1985) 631-636
81. Spångberg L: Biological effects of root canal filling materials. *Odont Revy* 20 (1969) 123-145
82. 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
83. 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
84. Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J, Trabert KC: The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel. *J Prosthet Dent* 44 (1980) 398-404
85. Standlee JP, Caputo AA, Holcomb J: The dentatus screw: comparative stress analysis with other endodontic dowel designs. *J Oral Rehabil* 9 (1982) 23-33
86. Standlee JP, Caputo AA: Endodontic dowel retention with resinous cements. *J Prosthet Dent* 68 (1992) 913-917

87. Standlee JP, Caputo AA: Effect of surface design on retention of dowels cemented with a resin. *J Prosthet Dent* 70 (1993) 403-405
88. Strub, J.R., Trüb, J.C., Witkowski, S., Hürzel, M.B., Kern, M.: *Curriculum Prothetik I*. Quintessenz Verlag, Berlin, 1994, S. 265-291
89. Sundquist, G.: Microbiology in endodontics. *J Endodont* 18 (1992) 427
90. Trope M, Maltz M, Tronstad L: Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endodont Dent Traumatol* 1 (1985) 108-111
91. Trabert KC, Caputo AA, Abou-Rass M: Tooth fracture: a comparison of endodontic and restorative treatments. *J Endodont* 4 (1978) 341-345
92. Voß A: Die Wurzelkanallängenbestimmung – Röntgenologisch oder endometrisch. In: APW (Hrsg): *Endodontie*. Hanser, München, 1993, S. 49
93. 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
94. Wilson AD, McLean JW: *Glass ionomer cement*. Quintessence, Chicago, 1988
95. Wirz J: Der gegossene Frontzahnaufbau – materialkundliche Aspekte. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 93 (1983) 1090-1103
96. Wolf DM, Powers JM, O’Keefe KL: Bond strength of composite to etched and sandblasted porcelain. *Am J Dent* 6 (1993) 155-158
97. Wood WW: Retention of posts in teeth with nonvital pulps. *J Prosthet Dent* 49 (1983) 504-506

8. Thesen

1. Endodontische Behandlung eines erkrankten Zahnes ist oftmals die letzte Möglichkeit ein Zahn konservierend zu erhalten. Sie besteht in der Entfernung des erkrankten Pulpagewebes, Reinigung der Wurzelkanäle, bakteriendichten Wurzelfüllung sowie einem koronalen Verschluss der Zugangskavität. Diese Behandlungsform stellt die Grundlage für eine spätere Rekonstruktion von pulpatoten Zähnen dar.
2. Die physikalischen Eigenschaften der Zahnhartsubstanz endodontisch behandelte Zähne ändern sich nicht wesentlich. Die Schwächung dieser Zähne wird vorwiegend durch den Zahnhartsubstanzverlust verursacht, der durch die Zugangskavität und Entfernung des Pulpakammerdaches entsteht.
3. In Abhängigkeit vom Destruktionsgrad der klinischen Krone können endodontisch behandelte Zähne jeweils mit Kompositfüllungen, Teilkronen oder Kronen versorgt werden.
4. Endodontisch behandelte Zähne, die einen starken Destruktionsgrad der klinischen Krone aufwiesen, werden vor der Überkronung mit Stumpfaufbaumaterialien aufgebaut, die durch intraradikulär verankerte Wurzelkanalstifte eine zusätzliche Retention am Zahn erhalten.
5. Wurzelkanalstifte sind nicht in der Lage die Festigkeit endodontisch behandelte Zähne zu steigern. Sie dienen dem Stumpfaufbau lediglich als zusätzliches Retentionselement und vermitteln der Restauration einen zuverlässigen Halt.
6. Dem Verankerungsprinzip nach, gibt es zwei Gruppen von Wurzelkanalstiftsystemen:
 1. Schrauben mit aktiver Retention
 2. Stifte mit passiver Retention
7. Die Retention der passiv verankerten Halteelemente wird u.a. von Parametern wie Stiftform und -oberflächenbeschaffenheit, Stiftlänge und -dimension sowie dem verwendeten Befestigungsmaterial beeinflusst.

8. Ziel der vorliegenden in-vitro-Studie ist es, an extrahierten menschlichen Frontzähnen den Einfluss von zwei unterschiedlichen Zementarten und Vorbehandlungstechniken der Stiftoberfläche auf die Retention drei verschiedener, passiver Wurzelkanalstiftsysteme durch axiale Zugversuche zu untersuchen.
9. In 13 Versuchsgruppen wurden 130 kariesfreie, menschliche Frontzähne mit drei verschiedenen Wurzelkanalstiften mittels zwei unterschiedlicher Zemente versehen. Durch axiale Zugversuche wurde die Haftkraft für die jeweilige Kombination aus Wurzelkanalstiftsystem, Zementart und Vorbehandlung der Stiftoberfläche bestimmt und anschließend statistisch ausgewertet.
10. Am Rasterelektronenmikroskop erfolgte die Beurteilung der Versuchsproben hinsichtlich der Zementhaftung am Stift und Kanalwand nach Ausführung der Zugkraft.
11. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass zur Erzielung einer hohen Retention von Wurzelkanalstiften die Wahl des Zementes und der Oberflächenvorbehandlung von dem verwendeten Stiftsystem abhängig ist. Demnach vermittelte der Kompositzement Panavia™ F in Verbindung mit Carbonfaserstiften signifikant die höchsten Haftwerte für dieses Stiftsystem, während der Glasionomerzement Ketac-Cem Aplicap® bei den Keramikstiften deutlich höhere Retentionswerte erzielte als Panavia™ F. Bei den vorbehandelten Titanstiften konnte hinsichtlich der Retention zwischen den beiden Zementarten kein signifikanter Unterschied beobachtet werden.
12. Die mikroskopische Betrachtung ergab, dass der Versagensmechanismus je nach Versuchsgruppe im Verbund zwischen der Kanalwand und dem Zement oder zwischen dem Zement und der Stiftoberfläche sowie innerhalb der Zementschicht lag.
13. Im Ergebnis der Arbeit kann geschlussfolgert werden, dass die Wahl der Zementart und der Vorbehandlungstechnik von dem verwendeten Wurzelkanalstiftsystem abhängig ist. Trotz Einführung neuer Befestigungszemente auf Kunststoffbasis, die viel versprechende Ergebnisse erzielen, behält der konventionelle Glasionomerzement einen hohen Stellenwert bei der Befestigung bestimmter Wurzelkanalstiftsysteme.

14. Die axialen Zugversuche stellen eine sinnvolle Methode zur Bestimmung der Haftkraft verschiedener Befestigungszemente in Verbindung mit Wurzelkanalstiften dar. Dennoch wäre es sinnvoll weitere Untersuchungen anzuschließen, die den Einfluss einer Wechsellast auf die Retention dieser Stiftsysteme bestimmt.

Lebenslauf

Name	Martin Paul Widera
Anschrift	Scharnhorststr. 11, 28211 Bremen
Eltern	Peter Widera Regina Widera
Geburtsdatum	17. 11. 1975
Geburtsort	Nikolai (Oberschlesien / Polen)
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	verheiratet
Ehefrau	Dominika Widera
Schulbildung	1982-1988 Gesamtschule in Nikolai 1989-1993 Realschule am SZ im Ellener Feld, Bremen 1993-1996 gym. Oberstufe am SZ Bördestr., Bremen
Schulabschluss	1996 Abitur
Zivildienst	1996-1997 Malteser Hilfsdienst
Studium	1997 Immatrikulation an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg im Studienfach Zahnmedizin 1998 Naturwissenschaftliche Vorprüfung 2000 Zahnärztliche Vorprüfung 2002 Zahnärztliche Prüfung und Approbation zum Zahnarzt
Berufliche Tätigkeit	Seit 2003 in freier Praxis

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre eidesstattlich, dass mir über die Betreuung der Dissertation mit dem Titel

Die Retention verschiedener Wurzelkanalstiftsysteme

in Abhängigkeit von

Zementen und Vorbehandlungstechniken

Eine in-vitro-Studie

hinaus keine weitere Hilfe zuteil geworden ist und ich bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe.

Ich versichere die Dissertation nicht vorher oder zeitgleich bei einer anderen Fakultät eingereicht zu haben.

Ich habe bisher an keiner anderen medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht.

Halle / Saale, den 08.03.2004

Martin Paul Widera

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof. Dr. H.-G. Schaller (Direktor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie der Martin-Luther-Universität, Halle-Wittenberg) für die freundliche Überlassung des Themas danken.

Mein Dank gilt ebenso Herrn Oberarzt Dr. C.R. Gernhardt für die hervorragende fachliche Unterstützung und Betreuung bei der Versuchsplanung und Durchführung dieser Arbeit.

Des Weiteren danke ich Frau Dr. K. Bekes für die gute Einweisung an der Zugprüfmaschine sowie freundschaftliche Beratung bei der statistischen Auswertung der Versuchsergebnisse.

Ganz besonders danke ich meiner Ehefrau Dominika für das unglaubliche Verständnis das sie aufbrachte bis diese Arbeit fertig gestellt wurde.

Zuletzt möchte dem zahnmedizinischen Personal der Abteilung für konservierende Zahnheilkunde an der Martin-Luther-Universität danken, die mir eine reibungslose Versuchsdurchführung ermöglicht haben.