

**Aus der Abteilung Präventive Zahnmedizin Parodontologie und Kariologie
(Kommissarischer Leiter: Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann)
im Zentrum Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät der Universität Göttingen**

**Über die Eignung von Methoden zur Entfernung
von Wurzelstiftsystemen aus Faserverbundmaterialien**

Eine In-Vitro-Studie

INAUGURAL – DISSERTATION

**zur Erlangung des Doktorgrades
für Zahnheilkunde**

**der Medizinischen Fakultät der
Georg-August-Universität zu Göttingen**

**vorgelegt von
Jana Schönberger- Pfitzner
aus
Eberswalde**

Göttingen 2010

Dekan: Prof. Dr. med. C. Frömmel

I. Berichterstatter : Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann

II. Berichterstatter/in:

III. Berichterstatter/in:

Tag der mündlichen Prüfung:

Inhaltsverzeichnis

<u>1</u>	<u>EINLEITUNG UND PROBLEMSTELLUNG</u>	<u>4</u>
<u>2</u>	<u>LITERATURÜBERSICHT</u>	<u>6</u>
2.1	DIE WURZELKANALBEHANDLUNG	6
2.1.1	DIE MECHANISCHE WURZELKANALAUFBEREITUNG.....	6
2.1.2	DIE CHEMISCHE WURZELKANALREINIGUNG	7
2.1.3	DIE WURZELKANALFÜLLUNG.....	7
2.2	WURZELKANALSTIFTE	8
2.2.1	PLANUNG, INDIKATIONEN UND ALTERNATIVEN VON WURZELKANALSTIFTEN	8
2.2.2	EINTEILUNG VON STIFTAUFBAUSYSTEMEN	10
2.3	MATERIALIEN UND HERSTELLUNGSVERFAHREN VON WURZELSTIFTEN	11
2.3.1	WURZELKANALSTIFTE AUS METALL	11
2.3.2	WURZELSTIFTE AUS ZIRKONOXIDKERAMIK	12
2.3.3	WURZELSTIFTE AUS FASERVERSTÄRKTEM KUNSTSTOFF UND KOMPOSIT	13
2.3.4	STIFTDESIGN	13
2.3.5	BEFESTIGUNG VON WURZELKANALSTIFTEN	14
2.4	DIE REVISION VON WURZELKANALSTIFTEN - URSACHEN UND TECHNIKEN	16
2.4.1	METHODEN ZUR ENTFERNUNG	17
2.4.1.1	Entfernung zementierter Metallstifte	17
2.4.1.2	Entfernung adhäsiv befestigter Metall- und Keramikstifte	17
2.4.1.3	Entfernung adhäsiv befestigter faserverstärkter Kunststoff- und Kompositstifte	18
2.5	KLINISCHE LANGZEITUNTERSUCHUNGEN ZUR BEWÄHRUNG VON WURZELKANALSTIFTEN	18
<u>3</u>	<u>MATERIAL UND METHODEN</u>	<u>20</u>
3.1	AUSWAHL UND VORBEREITUNG DER ZÄHNE	20
3.2	VERWENDETE STIFTSYSTEME UND NORMBOHRUNG	21
3.2.1	EASY POST-GLASFASERSTIFTE	21
3.2.1.1	Normbohrung und Präparation des Stiftbettes	22
3.2.2	DT WHITE POST-QUARZFASERSTIFTE	22
3.2.2.1	Normbohrung und Präparation des Stiftbettes	23
3.2.3	CYTEC HT-KARBONFASERSTIFT.....	24

3.2.3.1	Präparation des Stiftbettes.....	24
3.3	EINBRINGEN DER STIFTE IN DEN WURZELKANAL	25
3.4	INSTRUMENTE UND METHODEN ZUR ENTFERNUNG DER STIFTSYSTEME	25
3.4.1	DIE ENTFERNUNG DER STIFTSYSTEME MIT ULTRASCHALL.....	26
3.4.2	DIE ENTFERNUNG DER STIFTSYSTEME MIT DEM ROSENBOHRER	26
3.4.3	DIE ENTFERNUNG DER STIFTSYSTEME MIT DEM DT-POST-ENTFERNUNGSKIT	27
3.5	GERÄTE UND METHODEN ZUR UNTERSUCHUNG DER STIFTENTFERNUNG	28
3.5.1	UNTERSUCHUNG DER EFFIZIENZ DER ENTFERNUNGSMETHODE	28
3.5.2	UNTERSUCHUNG DER EFFEKTIVITÄT DER ENTFERNUNGSMETHODE.....	28
3.5.3	SCHONUNG DER ZAHNHARTSUBSTANZ.....	30
3.5.4	BESCHAFFENHEIT DER INNEREN KANALOBERFLÄCHE AUS CT-BILDERN	30
3.6	BIOMETRISCHE AUSWERTEMETHODEN	31
3.6.1	EINTEILUNG IN BEHANDLUNGSGRUPPEN.....	31
3.6.2	STATISTISCHE ANALYSE	32
3.6.3	FEHLERABSCHÄTZUNG DER CT-BERECHNUNGEN.....	32
4	<u>ERGEBNISSE</u>	33
4.1	EFFIZIENZ DER ENTFERNUNGSMETHODE	33
4.1.1	VARIANZANALYSE DER BEHANDLUNGSZEIT.....	33
4.1.2	KORRELATIONSANALYSE DER BEHANDLUNGSZEIT	35
4.1.3.	RANKING DER BEHANDLUNGSZEIT.....	37
4.2	EFFEKTIVITÄT DER ENTFERNUNGSMETHODEN	38
4.2.1	VARIANZANALYSE DES ANTEILS VON STIFT- UND BEFESTIGUNGSZEMENT.....	39
4.2.2	KORRELATIONSANALYSE DES ANTEILS VON STIFT- UND ZEMENTRESTEN	40
4.2.3	RANKING DES ANTEILS VON STIFT- UND BEFESTIGUNGSZEMENT.....	41
4.3	SCHONUNG DER ZAHNHARTSUBSTANZ	42
4.3.1	VARIANZANALYSE DES SUBSTANZABTRAGES	42
4.3.2	KORRELATIONSANALYSE DES SUBSTANZABTRAGES	44
4.3.3	RANKING DES SUBSTANZABTRAGES	45
4.4	BESCHAFFENHEIT DER INNEREN KANALOBERFLÄCHE	45
4.4.1	RANKING DER BESCHAFFENHEIT DER INNEREN KANALOBERFLÄCHE.....	49
4.5	MISSERFOLGE	50
4.5.1	RANKING DER MISSERFOLGSHÄUFIGKEIT	51
4.6	GESAMTRANKING DER KOMBINATIONEN STIFT X METHODE	52

<u>5</u>	<u>DISKUSSION.....</u>	<u>55</u>
<u>6</u>	<u>ZUSAMMENFASSUNG.....</u>	<u>65</u>
<u>7</u>	<u>LITERATURVERZEICHNIS.....</u>	<u>67</u>
<u>8</u>	<u>ANHANG.....</u>	<u>89</u>
8.1	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	89
8.2	TABELLENVERZEICHNIS	91
8.3	MATERIALVERZEICHNIS	93

1 Einleitung und Problemstellung

Stifte, die als Verankerungselemente für künstliche Kronen in den Wurzelkanal eingebracht werden, gab es, wie von PFAFF bereits 1756 beschrieben, wahrscheinlich schon vor der eigentlichen Wurzelfüllung. Schon zu dieser Zeit war man sich aber auch der Risiken, wie etwa der Gefahr der Wurzelfraktur beim Einbringen des Stiftes in den Wurzelkanal, und der Grenzen der Anwendungen, wie sie z. B. bei lockeren, zu kurzen und nicht entzündungsfreien Zähnen auftreten, bewusst (LINDERER 1834). Den häufig auftretenden Entzündungen (Parodontitis apicalis bzw. Abszessbildungen) bei Zähnen, welche auf diese Art und Weise versorgt wurden, konnte erstmals Anfang des 20. Jahrhunderts durch eine vorherige Wurzelkanalbehandlung entgegengewirkt werden. Seit dieser Zeit hat die Entwicklung der Zahn erhaltenden Therapie mittels Wurzelstiftsystemen große Fortschritte gemacht, insbesondere hinsichtlich der Indikation zur Stiftversorgung, sowie der funktionellen, biokompatiblen und ästhetischen Eigenschaften der Stiftmaterialien. Basierend auf neueren Erkenntnissen und verbesserten technischen Möglichkeiten wurden insbesondere in den letzten Jahren neue Generationen von Wurzelstiftsystemen entwickelt, die den klinischen Anforderungen besser gerecht werden und eine risikoarme und langjährige Erhaltung auch tief zerstörter Zähne ermöglichen (REEH et al. 1989). Obwohl nach heutiger Auffassung die Versorgung mittels Wurzelstift und Stiftaufbau eher eine Ausnahme darstellen sollte, ermöglicht diese Technik bei vielen Zähnen mit stark destrukturierter klinischer Krone die Integration in eine prothetische Versorgung (STIEFENHOFER und STARK 1992).

Für welches der heute empfohlenen Stiftsysteme man sich entscheidet, ist letztendlich von vielen verschiedenen Faktoren abhängig. Neben der Wurzelanatomie und der Art der Versorgung sind auch die biomechanischen Anforderungen und nicht zuletzt die ästhetischen Ansprüche von Bedeutung. Für die postendontische Versorgung wurden noch vor wenigen Jahren meist konfektionierte oder individuell angepasste, gegossene Wurzelkanalstifte aus Metall verwendet. Hinsichtlich der Ästhetik ergibt sich jedoch bei einer Versorgung mit zahnfarbenen Restaurationen, wie z.B. Vollkeramikronen, das Problem der verminderten Lichttransmission (RIEDLING und KAPPERT 1988). Zur jüngsten Generation nichtmetallischer Wurzelkanalstifte zählen konfektionierte Wurzelkanalstifte aus Keramik und Faserverbundmaterialien. Diese nichtmetallischen, meist zahnfarbenen oder transluzenten Stifte werden adhäsiv befestigt. Sie sind korrosionsbeständig, biokompatibel und erfüllen sowohl funktionelle als auch ästhetische Anforderungen besser (MARTINELLI 2002). Darüber hinaus besteht die Erwartung, dass sie sich bei Bedarf wieder einfach und schonend entfernen lassen. Auf Grund relativ häufigen Versagens von Stiftaufbausystemen, als Folge endodontischer (VIRE 1991) oder prothetischer Misserfolge (BERGMAN et al. 1989, TINNER et al. 2001), ist die Möglichkeit der Revision von Wurzelstiften ein nicht zu unterschätzendes Aus-

wahlkriterium.

Ungünstige biomechanische Eigenschaften von Wurzelstiften (SIDOLI et al. 1997, CORMIER et al. 2001, HEYDECKE et al. 2002 ASMUSSEN et al. 1999, ROSENTRITT et al. 2000) können zudem ursächlich für das Lösen des Aufbaus auf Grund von Retentionsverlust sein und Wurzelfrakturen/-sprengungen (KERSCHBAUM 2003) nach sich ziehen. Faserverstärkte Kunststoffstifte haben nachweislich bessere, dem Dentin ähnliche Materialeigenschaften (KING und SETCHELL 1990, ASSMUSSEN et al. 1999, GALHANO et al. 2005, HAJIZADEH et al. 2009), sie sind elastischer, führen aber auf Grund ihrer geringen Ermüdungsresistenz vermehrt zu Stifftrakturen (FERRARI et al. 2000).

Verständlicherweise existieren gerade über die Entfernbarkeit von Wurzelkanalstiften aus Faserverbundmaterialien bisher weder hinreichende Erfahrungen noch belastbare Ergebnisse, aus welchen sich Empfehlungen ableiten ließen. Daraus ergibt sich die Problemstellung der vorliegenden Arbeit. In einer In-vitro-Studie soll die Eignung von drei unterschiedlichen Methoden zur Entfernung von Quarzfaser-, Glasfaser- und Karbonfaserstiften untersucht werden. Dafür werden die Methoden auf ihre Handhabung, auf ihre Effizienz, ihre Effektivität und auf den Umfang des dabei auftretenden Verlusts an natürlicher Zahnhartsubstanz überprüft. Zudem soll die Gestaltung der inneren Kanaloberfläche nach der Stiffentfernung beurteilt und die Art und Anzahl der Misserfolge ermittelt werden.

Da nicht alle Merkmale, die sich aus der Durchführung der Experimente und der Untersuchungen ergeben, metrisch erfassbar sind, wurde eine Beurteilung mittels CT-Bildern, aber auch auf Grund subjektiver Erfahrungen vorgenommen.

Aus den Ergebnissen sollen stiftsystem-spezifische Entfernungsmethoden abgeleitet werden, die sich in der klinischen Anwendung für die vollständige, effiziente und schonende Entfernung von Quarzfaser-, Glasfaser- und Karbonfaserstifte eignen.

2 Literaturübersicht

Vor dem Beginn einer endodontischen Behandlung ist die Entscheidung über die Erhaltungswürdigkeit des einzelnen Zahnes nach klar definierten Qualitätsrichtlinien zu treffen (EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY 2006). Dazu zählt die Beurteilung des endodontischen und parodontalen Zustandes, die Einschätzung der prothetischen Wertigkeit des Zahnes im Gesamtkonzept, wie auch die Frage nach seiner generellen Restaurationsfähigkeit.

In den letzten Jahrzehnten haben sich durch die stetige Verbesserung von Kompositmaterialien und Adhäsivsystemen die Möglichkeiten verbessert, auch Zähne mit stark reduzierter Zahnhartsubstanz durch konservierende und endodontische Maßnahmen zu erhalten.

2.1 Die Wurzelkanalbehandlung

Eine qualitativ hochwertige und Erfolg versprechende Wurzelkanalbehandlung kann nur erreicht werden, indem mittels mechanischer und chemischer Kanalaufarbeitung die mikrobiellen Ursachen der endodontischen Erkrankung beseitigt werden (EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY 2006, HÜLSMANN 2001, ROANE 1998, WEINE und BUCHANAN 1996) und der Wurzelkanal und Zahn mit einer bakterienichten definitiven koronalen Restauration versehen werden (SUNDQVIST 1992).

2.1.1 Die mechanische Wurzelkanalaufbereitung

Nach der vollständigen Entfernung der Karies erfolgt die endodontische Behandlung unter Kofferdam (EUROPEAN SOCIETY OF ENDODONTOLOGY 2006). Als erstes wird eine Zugangskavität präpariert, die Kanaleingänge lokalisiert, initial instrumentiert und die Arbeitslänge eines jeden Wurzelkanals bestimmt. Um das Risiko einer Keimverschleppung in die periapikalen Gewebe zu mindern, sollte nicht über das physiologische Foramen aufgearbeitet werden (DUMMER et al. 1984, GREEN 1960, HÜLSMANN 2001, KUTTLER 1955).

Die Längenbestimmung kann sowohl röntgenologisch (GHAREVI und GÄNGLER 2003, VAN DE VOORDE und BJORND AHL 1969) als auch elektrisch erfolgen (LAUPER et al. 1996, PRATTEN und McDONALD 1996).

Die Ziele der mechanischen Wurzelkanalpräparation sind die Entfernung infizierten Gewebes und die Erweiterung und Formgebung des Kanalsystems (SCHILDER 1974). Die mechanische Kanalaufbereitung kann manuell mit Hilfe standardisierter Handinstrumente aus Edel-

stahl oder Nickel-Titan erfolgen oder mit rotierenden Instrumenten (MERTE 2003). Erwünscht ist eine leicht konische Aufweitung der koronalen zwei Drittel des Wurzelkanals unter Beibehaltung des ursprünglichen Wurzelkanalverlaufs (Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ 2002). In welchem Ausmaß ein Wurzelkanal aufbereitet wird, ist abhängig von seiner ursprünglichen Größe. Um das Spülen und Abfüllen des Wurzelkanals zu ermöglichen, wird allgemein eine apikale Erweiterung mindestens bis ISO-Größe 30 oder 35 empfohlen.

2.1.2 Die chemische Wurzelkanalreinigung

Zusätzlich zur mechanischen Aufbereitung des Kanalsystems ist die chemische Reinigung notwendig (BRANDT et al. 2001, BYSTRÖM und SUNDQVIST 1981, HÜLSMANN 1997). Spezielle Spüllösungen dienen als Gleitmittel für die Instrumente und verhindern durch den Flüssigkeitsstrom, dass gelöste Partikel den Kanal verblocken oder über den Apex hinaus befördert werden, wo sie Infektionen verursachen können. Außerdem sollen sie pathogene Mikroorganismen eliminieren und Gewebereste auflösen. Der Vorteil der chemischen Reinigung ist, dass die Spüllösungen auch in für Instrumente unerreichbaren Nebenkänelchen wirken können. Zu den wirksamsten und gebräuchlichsten Spüllösungen zählen NaOCl (Natriumhypochlorit), CHX (Chlorhexidindigluconat) und EDTA (Ethyldiamintetraessigsäure).

2.1.3 Die Wurzelkanalfüllung

Die Wurzelkanalfüllung soll den aufbereiteten Wurzelkanal dauerhaft bakteriendicht verschließen und somit eine Reinfektion verhindern (SCHÄFER und ZANDBIGLARI 2003). Das bekannteste Wurzelfüllmaterial ist die Guttapercha, ein biokompatibles Naturprodukt (BAUMANN 2001) mit bakteriziden Eigenschaften. Das Material wird meist in Form von Stiften in den Kanal appliziert und sollte den Hauptbestandteil der Wurzelfüllung ausmachen. Guttapercha kann mit verschiedenen Techniken in den Wurzelkanal eingebracht werden. Die bekanntesten sind die laterale und die vertikale thermoplastische Kondensationstechnik. Da Guttapercha allein nicht in der Lage ist, den Kanal bakteriendicht zu verschließen (SKINNER und HIMEL 1987), wird zusätzlich ein so genannter „Sealer“ (Versiegler) benötigt. Der Sealer (z.B. AH plus) soll sowohl die Guttaperchastifte untereinander, als auch die Stifte mit der Wurzelkanalwand verbinden (TRONDSTAD 1991).

2.2 Wurzelkanalstifte

Wurzelkanalstifte werden aus unterschiedlichen Materialien gefertigt und sind in verschiedenen Formen erhältlich. Sie werden nach der Wurzelkanalfüllung in den Kanal eingebracht und dienen in erster Linie der Stabilisierung des prothetischen Aufbaus (BERGMAN et al. 1989, CHAN et al. 1993, MENDOZA et al. 1997, NERGIZ I. et al. 1997) und dem Schutz der Restzahnhartsubstanz (CAPUTO et al. 1973).

2.2.1 Planung, Indikationen und Alternativen von Wurzelkanalstiften

Ein endodontisch behandelter Zahn ist erst dann definitiv versorgt, wenn die koronale Restzahnsubstanz ausreichend stabilisiert und funktionell sowie ästhetisch rekonstruiert ist (GUTMANN 1992, MORGANO 1996). Voraussetzungen für die postendodontische Versorgung des Zahnes sind eine erfolgreich abgeschlossene endodontische Behandlung und ein klinisch und röntgenologisch symptomfreier Zahn. Therapiekonzepte für die postendodontische Versorgung richten sich hauptsächlich nach dem Umfang des koronalen Zahnsubstanzverlustes. Da Wurzelstifte nicht in der Lage sind, die Festigkeit von wurzelkanalbehandelten Zähnen zu steigern (GUZY und NICHOLLS 1979, SOARES et al. 2008, TROPE et al. 1985), sollte genau überprüft werden, ob die Insertion eines Wurzelstiftes notwendig ist. Er sollte nur angewendet werden, wenn es sonst keine anderen Möglichkeiten der Verankerung des Zahnersatzes gibt (SCHWARTZ und ROBBINS 2004). Während der letzten Jahrzehnte sind neue, meist substanzschonendere alternative Therapiekonzepte entwickelt worden. Gründe dafür sind neue Erkenntnisse über die physikalischen Eigenschaften der Zahnhartsubstanz, sowie werkstoffkundliche Neuerungen. So konnte die frühere Annahme widerlegt werden, avitale Zähne seien auf Grund von Versprödung frakturanfälliger (SEDGLEY und MESSER et al. 1992, STANFORD et al. 1958). Auch frühere Forderungen nach extremen Belastbarkeitswerten wurden hinsichtlich ihrer Relation zu natürlich auftretenden Kaukräften im menschlichen Gebiss hinterfragt (ATTIN et al. 1994, PRÖSCHEL et al. 1994).

In verschiedenen Studien wurde bewiesen, dass die Präparation des Stiftbettes zu einer zusätzlichen Schwächung des endodontisch behandelten Zahnes führt (LANG et al. 2006, SIDOLI et al. 1997, SORENSEN und MARTINOFF 1984, SOARES et al. 2008) und ein intraradikulärer Substanzabtrag Risiken birgt, wie zum Beispiel die der iatrogenen Perforation der Wurzelwand. Die Verbesserung von Adhäsivsystemen und der daraus resultierende Trend zur minimalinvasiven Therapie führten dazu, dass die postendodontische Versorgung mit Wurzelstiften und Stumpfaufbauten heute an Bedeutung eingebüßt hat. Bei geringem und mittlerem Destruktionsgrad der klinischen Krone wird empfohlen, substanzschonendere Auf-

baumöglichkeiten zu bevorzugen (MAGNE und DOUGLAS 2000, REEH et al. 1989, WIL-
LERSHAUSEN et al. 2002). Ein wurzelgefüllter Zahn mit ausschließlich zentraler Zugangs-
kavität bei sonst intakten stabilen zirkulären Kronenwänden kann mit einer rein adhäsiven
Rekonstruktion versorgt werden (NAUMANN 2003). Eine Stiftsetzung ist in diesem Fall un-
nötig (GUZY und NICHOLLS 1979, HEYDECKE et al. 2001, McDONALD et al. 1990). Auch
Zähne, die zusätzlich zur Zugangskavität noch drei bzw. zwei intakte Kavitätenwände von
mindestens 2 mm Höhe und 1 mm Wandstärke besitzen, können ohne Wurzelstift restauriert
werden. Es wurde nachgewiesen, dass ausschließlich durch einen Kompositaufbau oder in
Kombination mit einer indirekten Restauration (vollkeramisches Veneer oder Krone) ausrei-
chend Stabilität erreicht werden kann (AUSIELLO et al. 1997, CATHRO et al. 1996, HEY-
DECKE et al. 2001, NAUMANN 2003). Besonders bei Molaren ist die Versorgung mit Wur-
zelstiften auf Grund von Kanalbiegungen oft problematisch. Empfehlungen für Insertionstie-
fen von drei Vierteln (LEARY et al. 1987) bzw. zwei Dritteln der Wurzellänge (SORENSEN
und MARTINOFF 1984) sind in Hinblick auf die Kanalanatomie nicht immer umsetzbar. Da
adhäsiv befestigte Wurzelstifte sehr gute Retentionswerte zeigen (DUNCAN und PAMEIJER
1998), wird die Möglichkeit diskutiert, die Stifte weniger tief im Wurzelkanal zu verankern, als
dies nach den für Metallstifte geltenden Richtlinien empfohlen wird (ADANIR und BELLI
2008). Dadurch kann das Risiko einer Wurzelperforation bereits während der Stiftbettboh-
rung verringert werden (NISSAN et al. 2001). NERGIZ P. et al. (1993) konnten nachweisen,
dass nach einer Oberflächenbehandlung von Wurzelkanal und -stift die Abzugskräfte unab-
hängig von der Stiftlänge gleich groß waren. Wichtig ist, dass ein apikaler Wurzelfüllungs-
anteil von mindestens 4 mm erhalten bleiben sollte (MAGURA et al. 1991, MORGANO 1996,
PORTELL et al. 1982), um die Dichtigkeit der Wurzelfüllung zu gewährleisten. In einigen
Fällen kann alternativ zum Wurzelstift die Wurzelkanalfüllung ca. zwei bis drei Millimeter un-
terhalb des Kanaleinganges reduziert werden, um die Retentionsfläche für adhäsive Auf-
baumaterialien zu erhöhen (STRUB et al. 1999).

Es gibt jedoch viele Situationen, in denen eine Stiftsetzung auch heute weiterhin indiziert ist.
Allgemein gilt, dass Wurzelkanalstifte empfohlen werden, wenn nur unzureichend koronale
Zahnhartsubstanz für die adhäsive Retention des Aufbaus vorliegt (CAGIDIACO et al. 2008,
EDELHOFF et al. 2003, FERRARI et al. 2007), wenn bei endodontisch behandelten Zähnen
nur noch eine Kavitätenwand vorhanden ist (NAUMANN 2003) oder in Situationen, in denen
mit überdurchschnittlichen Scher- und Zugbeanspruchungen des Pfeilerzahnes zu rechnen
ist, wie zum Beispiel bei wurzelkanalbehandelten Frontzähnen (ATTIN et al. 1994) und Dop-
pelkronen. Laut NAUMANN (2003) ist ein Wurzelstift indiziert, wenn keine Kavitätenwand
mehr vorhanden ist, die dem adhäsiven Aufbau genügend Retentionsfläche bieten könnte.
CHRSTENSEN (1998) empfiehlt eine postendodontische Stiftversorgung, sobald nur noch
weniger als die Hälfte der koronalen Zahnhartsubstanz vorhanden ist und wenn starke Kau-

belastungen, wie zum Beispiel Bruxismus, vorliegen. Auch bei bereits vorhandenen Schmelz- bzw. Dentinrissen und in Situationen, in denen ein okklusionstragender Zahnersatz geplant ist, ist ein Wurzelstift empfehlenswert (CHRISTENSEN 1998).

Um einer Reinfektion des Wurzelkanals und möglichen Wurzelfrakturen vorzubeugen, ist eine zügige permanente Restauration zu empfehlen (MAGURA et al. 1991). Die Präparation des Stiftbettes kann direkt nach der Kondensation der Guttapercha erfolgen (BOURGEOUIS und LEMON 1981, MADISON und ZAKARIASEN 1984) und wird sowohl bei vorausgegangener Pulpitis, wie auch bei Symptombfreiheit nach einer infizierten Pulpanekrose empfohlen (MAGURA et al. 1991, WEIGL & HEIDEMANN 2001).

Bei der Bestimmung des Stiftdurchmessers ist vor der Präparation die Restdentinwandstärke abzuschätzen. Um die Frakturanfälligkeit zu verringern, sollte sie an der dünnsten Stelle 1,5 - 2 mm nicht unterschreiten. (LIBMANN und NICHOLLS 1995, SORENSEN und ENGELMAN 1990, ZOGHEIB et al. 2008). Idealerweise sollte der Stiftdurchmesser ca. ein Drittel des Wurzeldurchmessers betragen. Um Hebelkräfte möglichst gering zu halten, sollte der im Wurzelkanal verankerte Teil des Wurzelstiftes nicht kürzer als die Höhe der späteren prothetischen Versorgung sein (ADANIR und BELLI 2008, SCHMEIßNER 1983).

In Hinblick auf die Ästhetik werden besonders im Frontzahnbereich zahnfarbene Wurzelstifte metallischen oder Karbonfaserstiften vorgezogen. Letztere zwei können durch ihre Eigenfarbe oder durch Korrosionsprodukte die Transluzenz im Zahnhals- und Kronenbereich beeinträchtigen (MICHALAKIS et al. 2004, ZALKIND und HOCHMAN 1998), sobald Licht in der Eigenfarbe der Aufbaumaterialien reflektiert wird (RIEDLING und KAPPERT 1998).

2.2.2 Einteilung von Stiftaufbausystemen

Für die postendodontische Versorgung eines Zahnes steht dem Behandler eine Vielzahl von Stiftaufbau-Systemen zur Verfügung. Sie lassen sich nach unterschiedlichen Kriterien einteilen:

Der klassische Stiftaufbau besteht aus dem Aufbau, dem Wurzelkanalstift und dem Befestigungszement. Diese drei Konstruktionselemente übernehmen jeweils eigene Funktionen (EDELHOFF et al. 2002).

Der **Aufbau** bietet Ersatz für die verloren gegangene koronale Zahnhartsubstanz und dient der Aufnahme und Verankerung der definitiven Restauration. Der **Wurzelkanalstift** schafft Retentionsfläche und Stabilität für den Aufbau. Das **Befestigungsmaterial** soll sowohl einen bakteriendichten Verschluss des Kanalsystems, sowie eine dauerhafte Befestigung von Stift und Aufbau gewährleisten.

Wurzelkanalstifte und Aufbausysteme können wiederum nach dem Material (Metall, Keramik, Kunststoff), dem Herstellungsverfahren (individuell, halbkonfektioniert, vollkonfektioniert), der

Form (konisch, zylindrisch oder zylindrisch-konisch) und der Oberflächenstruktur (glatt, aufgeraut oder mit Gewinde) eingeteilt werden (LAUER et al. 1996).

2.3 Materialien und Herstellungsverfahren von Wurzelstiften

Das Material von Wurzelkanalstiften muss sowohl mechanischen und biologischen, wie auch ästhetischen Anforderungen genügen. Neben einer hohen Biokompatibilität, sind eine hohe Bruchfestigkeit und Passgenauigkeit erwünscht. Diese Voraussetzungen werden durch die Verwendung hochwertiger Metalle bzw. Legierungen (Titan, Gold-Platin, Gold-Iridium) und bestimmter metallfreier Materialien erfüllt (ARVIDSON und WROBLEWSKI 1978, OTTL et al. 2002, WIRZ und CHRIST 1982). Zu den metallfreien Stiftsystemen zählen faserverstärkte Kunststoff- und Kompositstifte und Wurzelkanalstifte aus Zirkonoxidkeramik.

Individuell gefertigte Stiftaufbauten können mittels direktem oder indirektem Verfahren aus Metall gefertigt werden. Sie haben die beste Formkongruenz zum Wurzelkanal und eignen sich besonders für stark zerstörte Zähne (BERGMAN et al. 1989) mit überdurchschnittlich großem Wurzelkanal. Allerdings kann die längere Fertigungszeit eine Beeinträchtigung des apikalen Verschlusses und damit eine Reinfektion der Kanalregion fördern (KHAYAT et al. 1993).

Bei konfektionierten Wurzelstiften handelt es sich um standardisierte, industriell vorgefertigte Wurzelstifte, welche direkt eingegliedert werden können. Hierzu wird mit systemspezifisch genormten Vorbohrern das Stiftbett präpariert und der Wurzelstift passiv oder aktiv mit der Wurzelkanalwand verbunden.

2.3.1 Wurzelkanalstifte aus Metall

Konfektionierte Wurzelstifte aus Titan, Titanlegierungen oder Edelstahl können nach der Präparation des Stiftbettes direkt eingegliedert werden. Der Wurzelstift wird mit einem geeigneten Zement oder adhäsiv im Kanal befestigt. Konfektionierte Stiftaufbauten aus Metall gibt es in zwei Varianten. Bei den angussfähigen Wurzelstiften wird der Stumpfaufbau nach der Präparation des Stiftbettes aus Wachs oder Kunststoff modelliert und im Labor an den Wurzelstift angegossen. Andere konfektionierte Wurzelstifte aus Metall werden direkt im Wurzelkanal zementiert und sofort im Anschluss mit einem Stumpfaufbau aus Kompositmaterial versehen. Die Präparation und Abdrucknahme zur Aufnahme der prothetischen Zahnkrone

kann noch in der gleichen Sitzung erfolgen.

Zylindrische Wurzelstifte mit Gewinde erreichen durch das direkte Verschrauben mit der Wurzelkanalwand die höchsten Retentionswerte (KURER et al. 1977, RUEMPING et al. 1979, STANDLEE et al. 1978). Im Vergleich zu anderen Stiftsystemen verursachen sie aber die höchsten Spannungskonzentrationen innerhalb der Wurzel (STANDLEE und CAPUTO 1992), was das Risiko einer Wurzelfraktur stark erhöht. (CAPUTO et al. 1973, DEUTSCH et al. 1985, HENRY 1977, LINDE 1984, ROLF et al. 1992, STANDLEE und CAPUTO 1992, THORSTEINSSON et al. 1992). Aktive Gewinde tragende Wurzelkanalstifte sollten deshalb nach Möglichkeit nicht mehr verwendet werden.

Vorteile von Wurzelstiften aus Metall sind die umfangreichen klinischen Langzeiterfahrungen und das breite Systemangebot. Ihr größter Nachteil ist jedoch das erheblich höhere Elastizitätsmodul im Vergleich zum Dentin. Unter Belastung entstehen Spannungsspitzen (ASSIF et al. 1989), die zu Wurzelfrakturen im mittleren und apikalen Wurzeldrittel führen können (CORMIER et al. 2001, HEYDECKE et al. 2002, SIDOLI et al. 1997). Bei ästhetisch hochwertigen Restaurationen aus Vollkeramik sind metallische Wurzelstifte auf Grund ihrer fehlenden Transluzenz ungeeignet, da sie den Durchscheineffekt der Restauration und der marginalen Gingiva beeinträchtigen (MEYENBERG et al. 1995, ZALKIND et al. 1998). Wurzelstifte aus nicht-korrosionsbeständigen Metalllegierungen können Korrosionsprodukte freisetzen, die sich in dentale und parodontale Gewebe einlagern und zu Verfärbungen und Entzündungen führen können. (WIRZ 1983, WIRZ und CHRIST 1982).

2.3.2 Wurzelstifte aus Zirkonoxidkeramik

Wurzelkanalstifte aus zahnfarbener Zirkonoxidkeramik werden adhäsiv im vorpräparierten Stiftbett befestigt. Durch ihre dentinähnliche Farbwirkung bieten sie eine exzellente Ästhetik (MEYENBERG et al. 1995) und unterliegen keinen biochemischen Prozessen (CHRISTEL et al. 1989). Zudem sind sie biokompatibel (AKAGAWA et al. 1993) und verfügen über eine hohe Biegefestigkeit (HEYDECKE et al. 2001, HEYDECKE et al. 2002, PONTIUS und HUTTER 2002). Nachteilig ist ihr extrem hohes Elastizitätsmodul, was das Frakturrisiko der Zahnwurzel erhöht (ASMUSSEN et al. 1999, ROSENTRITT et al. 2000). Die Materialsprödigkeit führte in in-vitro-Untersuchungen außerdem dazu, dass Keramikstifte eher brechen als zu dezementieren (ROSENTRITT et al. 2000). Zudem lassen sich Wurzelstifte aus Keramik nur sehr schwer wieder entfernen (QUALTROUGH und MANNOCCI 2003). Ihre Indikation beschränkt sich auf die Frontzähne des Ober- und Unterkiefers und die Oberkieferprämolaren.

2.3.3 Wurzelstifte aus faserverstärktem Kunststoff und Komposit

Vorgefertigte faserverstärkte Wurzelstifte bestehen aus einer Epoxidharz-Matrix, in welche verstärkende Glas-, Quarz- oder Karbonfasern eingebettet sind. Die Stifte verfügen über eine gute Biokompatibilität sowie über eine hohe Bruch- und Biegefestigkeit. (KING und SETCHELL 1990). Glas- und Quarzfaserstifte sind zudem transluzent bzw. zahnfarben und sorgen somit für eine natürliche Lichttransmission. Der größte Vorteil faserverstärkter Wurzelstifte gegenüber anderen Stiftarten ist ihr dentinähnliches Elastizitätsmodul (ASMUSSEN et al. 1999, GALHANO et al. 2005, HAJIZADEH et al. 2009, ISIDOR et al. 1996, MANNOCCI et al. 1999, MONTICELLI et al. 2003, SIDOLI et al. 1997, TORBJÖRNER et al. 1996). Das ermöglicht eine optimale Übertragung einwirkender Kräfte auf die Zahnhartsubstanz und das Desmodont und verringert somit das Risiko von Wurzelfrakturen (ASMUSSEN et al. 1999, DURET et al. 1990). Faserstifte lassen sich drucklos applizieren und der adhäsive Verbund mit dem Dentin wirkt nachweislich stabilisierend (DURET et al. 1990, VICHI et al. 2002). Ein weiterer Vorteil zeigt sich in der leichteren Entfernbarkeit der Stifte. Die meist parallel angeordneten Fasern wirken im Sinne eines Leitstranges für die nach apikal vordringenden, rotierenden Instrumente (NAUMANN 2002). Als Nachteile sind eine geringe Flexibilität des Aufbaus und noch unzureichende Langzeiterfahrungen zu nennen.

2.3.4 Stiftdesign

Wurzelstifte unterscheiden sich in ihrer Form und ihrer Oberflächenstruktur. Sie sind in konischer, zylindrischer und zylindrisch-konischer Form erhältlich. Sie können entweder aktiv oder passiv mit der Wurzelkanalwand verbunden werden.

Zu den **aktiven** Stiftsystemen zählen alle schraubenähnlichen Wurzelstifte mit Gewinde. Sie erreichen höchste Retentionswerte (KURER et al. 1977, RUEMPING et al. 1979, STANDLEE et al. 1978), sollten aber aus Gründen des erhöhten Risikos für Wurzelfrakturen, wie bereits unter 3.2.2.1 beschrieben, nicht mehr verwendet werden.

Alle Wurzelstifte, die mit einem Befestigungsmaterial im Wurzelkanal verankert werden, gehören zu den **passiven** Stiftsystemen. Passive, **zylindrische** Stifte ohne Gewinde erzielten in Langzeituntersuchungen gute Retentionswerte (SIGNORE et al. 2009). Es wird empfohlen, sie auf Grund der besseren Retention (JOHNSON und SAKAMURA 1978) den konischen Stiften vorzuziehen, wenn die Stifflänge kürzer als die Kronenlänge ist (SORENSEN und MARTINOFF 1984). Aus Gründen des verstärkten Substanzabtrages besteht aber bei dem Einsatz zylindrischer Stifte ein erhöhtes Perforationsrisiko (ASSIF und GORFIL 1994).

Konische Wurzelstifte entsprechen am ehesten der Wurzelkanalform nach der Präparation. Die Verjüngung der konischen Stifte wird den anatomischen Gegebenheiten am ehesten gerecht (PAO et al. 1987). Es besteht ein geringeres Perforationsrisiko und es erfolgt eine gleichmäßigere Kraftübertragung (DIETSCHI et al. 1997, EDELHOFF et al. 2000). Nachteilig bei konischen Stiften ist ein erhöhtes Risiko für Retentionsverluste (NEWBURG und PAMEIJER 1976, STANDLEE et al. 1978). Die Verwendung adhäsiver Befestigungskomposite und eine Oberflächenbehandlung von Wurzelstift und Wurzelkanalwand kann ihre Retention aber nachweislich steigern (NERGIZ P. et al. 1993). Eine Hybridform stellen die **zylindrisch-konischen** Wurzelstifte dar. Sie vereinen die Vorteile der besseren Retention des zylindrischen Abschnittes mit der sich verjüngenden Konusform im apikalen Bereich (SIGNORE et al. 2009).

Untersuchungen ergaben, dass eine glatte Stiftoberfläche zu geringeren mechanischen Haftfestigkeiten führt (NERGIZ P. et al. 1993, NERGIZ I. et al. 1997, ROSIN et al. 2001). Aus diesem Grund wird versucht, mit unterschiedlichen Mikro- und Makrostrukturen der Stiftoberfläche, wie z.B. Rillen, versetzte Muscheln, gestrahlte Oberfläche etc., die Haftfestigkeit passiver Wurzelstifte zusätzlich zu steigern (WORM et al. 2009).

Präparation der koronalen Zahnhartsubstanz

Zähne, welche mit einem Stiftaufbau versorgt werden, müssen auch in ihren koronalen Anteilen präpariert werden. Soll ein Zahn mit einem individuellen Stiftaufbau versorgt werden, muss bei der Präparation auf eine Sicherung der Retention geachtet werden. Das Belassen von 2 – 3 mm supragingivaler Restzahnhartsubstanz (STERN und HIRSFELD 1973) und der so genannte „ferrule effect“ erhöhen die Festigkeit des mit einem Wurzelstift versorgten Zahnes (BARKHORDER et al. 1989, HEMMINGS et al. 1991, ISIDOR et al. 1996, SCHEUBER 2009). Für den „ferrule effect“ wird 1 - 2 mm apikal des Aufbaus eine zirkuläre Präparation angelegt, die von der Krone ringförmig umfasst wird (ASSIF et al. 1993, LIBMAN und NICHOLLS 1995). Bei plastischen Stiftaufbauten aus Kompositmaterialien wird die koronale Zahnhartsubstanz so präpariert, wie es die klinische Situation erfordert.

2.3.5 Befestigung von Wurzelkanalstiften

Wurzelstifte können entweder mechanisch, friktiv oder adhäsiv im Wurzelkanal verankert werden.

Die Retention mittels konventioneller Zemente (z.B. Zinkphosphatzement) beruht auf dem

Prinzip der makromechanischen Verzahnung (Friktion) der Zementpartikel mit den entgegengesetzten Grenzflächen (KÖRBER und LUDWIG 1993). Konventionelle Befestigungszemente haben sich in Verbindung mit metallischen Wurzelstiften bewährt (DUNCAN und PAMEIJER 1998, UTTER et al. 1997).

Bei der adhäsiven Verankerung von Wurzelstiften werden chemisch- oder dualhärtende Kompositmaterialien in Kombination mit einem geeigneten Dentinadhäsivsystem verwendet (D'ARCANGELO et al. 2007, OHLMANN et al. 2008, STANDLEE und CAPUTO 1992). Komposite, die ausschließlich durch Lichtapplikation härten, können zur Befestigung von Wurzelstiften nicht empfohlen werden (MANNOCCI et al. 1998). Es besteht die Gefahr, dass sie im Wurzelkanal nicht vollständig polymerisieren.

Adhäsive Befestigungssysteme funktionieren über die mikromechanische Retention im Bereich des intertubulären Dentins und werden vorrangig zusammen mit nichtmetallischen Wurzelstiften verwendet (LITTICH 2009), damit die ästhetischen Eigenschaften zahnfarbener Wurzelstifte durch den adhäsiven Befestigungsmodus optimal gewahrt bleiben (FERRARI et al. 2000).

Bei der Befestigung faserverstärkter Komposit- und Kunststoffstifte wird die Schaffung eines so genannten „Monoblocks“ angestrebt, eines einheitlichen Verbunds zwischen Dentin, Befestigungskomposit, Wurzelstift und Aufbau. Auf diese Art und Weise sollen die Abdichtung des Wurzelkanalsystems und die Retention optimiert werden. (BACHICHÀ et al. 1998). Ein vollständig penetrationsdichter und somit bakteriendichter Verbund ist jedoch derzeit noch nicht mit Sicherheit zu erzielen (FOGEL 1995, SIMONS et al. 1999). Die Polymerisations-schrumpfung des Befestigungskomposits und der daraus resultierende Polymerisationsstress an den Grenzflächen sind als Schwachpunkte anzusehen. Aus diesem Grund sollte die Fuge aus Komposit zwischen Wurzelkanalwand und Wurzelstift möglichst dünn sein (FEILZER et al. 1987).

In verschiedenen Studien konnte nachgewiesen werden, dass sich auch die Retention metallischer Wurzelkanalstifte durch die adhäsive Zementierung deutlich steigern lässt (DUNCAN und PAMEIJER 1998, LEARY et al. 1995, STANDLEE und CAPUTO 1992).

Im Gegensatz zu einer rein mechanischen Verankerung mit Zinkphosphatzementen, ist durch die Verwendung der Adhäsivtechnik eine Wurzelstabilisierung möglich. (MENDOZA et al. 1997, UTTER et al. 1997).

2.4 Die Revision von Wurzelkanalstiften - Ursachen und Techniken

Einer notwendigen Entfernung von Wurzelkanalstiften gehen unterschiedliche Misserfolge voraus. Die Prognose eines endodontisch behandelten Zahnes ist in erster Linie von der Qualität der Wurzelfüllung und der Qualität der definitiven Restauration abhängig.

Die häufigste Ursache ist der **endodontische Misserfolg** (VIRE 1991). Bei einer Reinfektion des Wurzelkanals und des Periapex ist eine erneute endodontische Behandlung unumgänglich, wenn der Zahn erhalten werden soll. In diesem Fall müssen der Wurzelstift und die Wurzelkanalfüllung entfernt werden. In zahlreichen Studien konnte aufgezeigt werden, dass besonders provisorische Versorgungen und Undichtigkeiten im Bereich des Kronenrandes und Sekundärkaries zum endodontischen Misserfolg führen (SUNDQVIST et al. 1998). ALVES et al. (1998) konnten nachweisen, dass das Wurzelkanalsystem bereits vor dem Eintreten der Bakterien von Bakterienprodukten penetriert wird. Die Gefahr eines koronales „Leakage“ (Undichtigkeit) und einer Reinfektion ist bei einer provisorischen Versorgung besonders groß (SAUNDERS und SAUNDERS 1994). Aus diesem Grund wird empfohlen, den endodontisch behandelten Zahn so schnell wie möglich mit einer endgültigen Restauration zu versehen. Von Vorteil sind konfektionierte Wurzelstifte, die direkt nach der Wurzelfüllung im Kanal verankert werden können und den Behandlungszeitraum somit erheblich verkürzen.

Eine andere Ursache für die Notwendigkeit der Revision von Wurzelstift und -füllung ist der **prothetische Misserfolg**. Im Allgemeinen zeigen stark strukturgeschädigte Zähne schlechtere Erfolgsprognosen (FENNIS et al. 2002, HANNIG et al. 2005, HANSEN et al. 1990, MEKAYARAJJANANTH et al. 2009). Zu den Ursachen des Versagens zählen unter anderem der Retentionsverlust des Stiftes (BERGMAN et al. 1989, CAGIDIACO et al. 2008), das Lockern des Stiftstumpfaufbaus oder der Krone, Wurzellängsfrakturen (REILL et al. 2008, TINNER et al. 2001), Sekundärkaries, Stiftdrehungen, Stifluxationen oder Stifftrakturen (ASSMUSSEN et al. 1999, GOODACRE et al. 2003, HATZIKYRIAKOS et al. 1992, TORBJÖRNER et al. 1995). Bei passiven Metallstiften kommt es in erster Linie zu einem Retentionsverlust (BERGMAN et al. 1989). Die Hauptursache für Misserfolge mit Zirkonoxidstiften ist auf deren Materialsprödigkeit zurückzuführen, wodurch sie eher zu Stifftrakturen als zum Dezementieren neigen (ROSENTRITT et al. 2000). Sowohl Wurzelkanalstifte aus Metall, als auch Keramikwurzelstifte haben im Vergleich zum Dentin ein erheblich höheres Elastizitätsmodul. Diese Materialeigenschaft ist dafür verantwortlich, dass es gehäuft zu iatrogenen Wurzelfrakturen kommen kann (ASSMUSSEN et al. 1999, CORMIER et al. 2001, HEYDECKE et al. 2002, MARTINEZ-INSUA et al. 1998, ROSENTRITT et al. 2000, SIDOLI et al. 1997). Faserverstärkte Kompositstifte hingegen haben einen dentinähnlichen Elastizitätsmo-

dul und zeigten in In-vitro-Studien, dass bei ihnen eine geringere Gefahr für Wurzelfrakturen zu verzeichnen ist. (ISIDOR et al. 1996). Kam es dennoch zu einer Wurzelfraktur, verlief die Frakturlinie meist so günstig, dass der Zahn mit einem neuen Stift versorgt werden konnte (DEAN et al. 1998, KING und SETCHELL 1990, MANNOCCI et al. 1998, MARTINES-INSUA et al. 1998). Die Möglichkeit der einfachen Entfernung der Faserstifte ist in solchen Situationen von Vorteil (FERRARI et al. 2000, GESI et al. 2003).

2.4.1 Methoden zur Entfernung

2.4.1.1 Entfernung zementierter Metallstifte

Mit Zinkphosphat- oder Glasionomierzement befestigte Wurzelstifte aus Metall lassen sich mechanisch mit speziellen Entfernungskits bzw.-bohrern oder mit Ultraschall entfernen (ABBOTT 2002).

Mit speziell entwickelten Entfernungssystemen (z.B. Gonon-, Ruddle-, Egger post removal system) können zementierte Metallstifte sicher und effizient entfernt werden (CASTRISOS und ABBOTT 2002).

Die Revision mit Hilfe von Ultraschall ist heutzutage die Methode, die am häufigsten praktiziert wird (CASTRISOS und ABBOTT 2002). Sie birgt im Vergleich zu den Entfernungskits eine geringere Gefahr der Wurzelperforation und Wurzelfraktur. Wie schnell sich Metallstifte mit Ultraschall entfernen lassen, ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Hierbei spielen die Stiftlänge, der Stiftdurchmesser (ALFREDO et al. 2004), die Stiftadaptation zum Wurzelkanal und die Art des Befestigungszementes eine Rolle (PECIULIENE et al. 2005). Die Ultraschallwirkung soll im Bereich der Zementfuge zu einer Verringerung der Retention führen (SILVA et al. 2004), so dass der gelockerte Stift sich leichter entfernen lässt. Nachteilig bei der Ultraschallanwendung ist eine hohe Wärmeentwicklung an der Wurzeloberfläche (DOMINICI et al. 2005), die zu einer Schädigung des Parodonts führen kann und die Entstehung von Dentinrissen (ALTSHUL et al. 1997) begünstigt.

2.4.1.2 Entfernung adhäsiv befestigter Metall- und Keramikstifte

Adhäsiv befestigte Metall- und Keramikstifte lassen sich so gut wie gar nicht wieder aus den Wurzelkanal entfernen. Das bestätigten verschiedenen Untersuchungen, bei denen es nicht gelang, die Stifte mit Ultraschall zu lockern (SATTERTHWAITE und STOKES 2004). Mit Bohrern lässt sich nur unter großen Schwierigkeiten der resin- basierte Zement zirkulär um

den Wurzelstift herum entfernen. Keine der überprüften Methoden erwies sich als effektiv und führte zur Dislokation der adhäsiv befestigten Wurzelstifte. (CHANDLER et al. 2003).

2.4.1.3 Entfernung adhäsiv befestigter faserverstärkter Kunststoff- und Kompositstifte

Adhäsiv zementierte faserverstärkte Wurzelstifte lassen sich nachweislich einfacher wieder aus dem Wurzelkanal entfernen und ermöglichen somit eine endodontische Neuversorgung (CORMIER et al. 2001, de RIJK 2000, PITEL und HICKS 2003). Hierzu sind von den Herstellern der Faserstifte spezielle Entfernungskits entwickelt worden. Mit ihnen können die Stifte substanzschonend und effizient innerhalb nur weniger Minuten entfernt werden (ANDERSON et al. 2007, GESI et al. 2003, LINDEMANN et al. 2005, de RIJK 2000, SAKKAL 1996). Die meisten Entfernungskits zur Entfernung von Faserstiften bestehen aus einem initialen Pilot-Bohrer, gefolgt von einer Reihe von Bohrern, mit denen der Stift von innen her ausgehöhlt werden soll, bis der apikale Zugang geschaffen ist. Die Fasern dienen als Leitstruktur für die Removal Drills (LINDEMANN et al. 2005). Abschließend soll der Wurzelkanal unter Umständen sogar mit der gleichen Stiftart und Stiftgröße wieder versorgt werden können (de RIJK 2000).

Obwohl in zahlreichen Studien bestätigt wurde, dass sich Wurzelstifte aus Faserverbundmaterialien mit korrespondierenden Removal-Kits effizient entfernen lassen, musste im Praxisalltag oft festgestellt werden, dass es Schwierigkeiten gibt, die Stifte vollständig zu entfernen. In einer Untersuchung zur Effektivität von Entfernungsmethoden erwies sich die Methode Diamant/Ultraschall im Gegensatz zu den Entfernungskits als effektiver. Letztere Methode war dagegen effizienter (LINDEMANN et al. 2005).

2.5 Klinische Langzeituntersuchungen zur Bewährung von Wurzel-kanalstiften

Über die Langzeitbewährung metallischer Wurzelstiftsysteme gibt es zahlreiche klinische Studien. Die Misserfolgsraten für Wurzelstifte aus Metall unterscheiden sich erheblich in Abhängigkeit vom Stiftdesign (SORENSEN und MARTINOFF 1984, SORENSEN und ENGELMAN 1990), dem Verhältnis von Stift- und Kronenlänge (SORENSEN und MARTINOFF 1984), der Art der prothetischen Versorgung (MENTINK et al., 1993) und der Herstellungsmethode (CREUGERS et al. 1993). Besonders häufig traten Misserfolge im Oberkiefer

(BERGMAN et al. 1989) und dort speziell an den Frontzähnen auf (TORBJÖRNER et al. 1995). Individuell gegossene Stiftaufbauten in Kombination mit einer Kronenversorgung zeigten nach sechs Jahren eine Erfolgsrate von 90,6% (BERGMAN et al. 1989). Die Misserfolgsrate für konische Wurzelstifte aus Metall lag nach fünf Jahren bei 15%, die der zylindrischen Stifte bei 8%. Häufigste Versagensursache war ein Retentionsverlust.

Klinische Kurzzeitstudien zu Zirkonoxidkeramikstiften zeigten nach einem durchschnittlichen Beobachtungszeitraum von 11 bis 58 Monaten gute Ergebnisse. Es kam in dieser Zeit weder zu Stift- oder Wurzelfrakturen noch zu Retentionsverlusten (KAKEHASHI et al. 1998, KERN et al. 1998, MEYENBERG et al. 1995, NOTHDURFT und POSPIECH 2006). Auch in einer Vier-Jahres-Studie von PAUL und WERDER 2004 konnten keine direkten Misserfolge verzeichnet werden.

Erste klinische Untersuchungen zu Überlebensraten von Wurzelstiften aus Faserverbundmaterialien sind viel versprechend. In einer klinischen Studie zu Glasfaserstiften über einen Zeitraum von drei Jahren traten weder Wurzel- oder Stiftfrakturen noch Retentionsverluste auf (FREDRIKSSON et al. 1998). In einer retrospektiven Studie mit drei verschiedenen Faserstiftsystemen über sechs Jahre wurde eine Misserfolgsrate von 3,2% verzeichnet. Bei FERRARI et al. (2000) lag die Überlebensrate für Zähne, die mit einem Glasfaserstift versorgt wurden, nach zwei Jahren bei 92,5% (FERRARI et al. 2007). Eine andere retrospektive Studie zu Überlebensraten von Karbonfaserstiften mit einer Verweildauer von durchschnittlich sieben Jahren registrierte Misserfolge in 35% der Fälle, verursacht durch Frakturen und endodontische Ursachen (SEGERSTRÖM et al. 2006). Einer retrospektiven Untersuchung von FERRARI (2007) zu Folge zeigen faserverstärkte Wurzelstifte nach einer klinischen Verweildauer von sieben bis elf Jahren Misserfolgsraten von 7 - 11%. Nahezu die Hälfte der Misserfolge wurde mit endodontischen Ursachen begründet. 48% der Misserfolge lag ein Retentionsverlust von Wurzelstift oder der Krone zu Grunde und in nur jeweils einem Fall kam es zur Stift- bzw. zur Wurzelfraktur. In der neuesten klinischen Studie zur Überlebensrate von Glasfaserstiften konnte nach einer durchschnittlichen Beobachtungszeit von 5,3 Jahren ein klinischer und radiologischer Erfolg von 98,5% verzeichnet werden (SIGNORE et al. 2009).

3 Material und Methoden

3.1 Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Für die Untersuchung wurden 153 extrahierte menschliche Zähne ausgewählt, die von niedergelassenen Zahnärzten bereitgestellt wurden. Die Zähne wurden nach folgenden Kriterien ausgewählt:

- Ausschließlich obere Frontzähne, sowie Eckzähne und Prämolaren des Ober- und Unterkiefers,
- einwurzelige Zähne mit gerader Wurzel und abgeschlossenem Wurzelwachstum, keine Karies im Bereich des Wurzelkambiums,
- möglichst gerader Wurzelkanal, der noch nicht vorbehandelt ist
- mindestens fünfzehn Millimeter Wurzellänge.

Die Zusammenstellung der nach diesen Kriterien ausgewählten Zähne zeigt Tabelle 1.

Tab. 1: Anzahl und Herkunft der Zähne für die Untersuchung

	Oberkiefer	Unterkiefer	Summe
Mittlere Frontzähne	29	-	29
Seitliche Frontzähne	20	-	20
Eckzähne	21	26	47
Prämolaren	22	35	57
Summe	92	61	153

Bei allen Zähnen wurden zunächst mit einer diamantierten Trennscheibe unter Wasserkühlung die Kronen an der Schmelzzementgrenze senkrecht zur Wurzelachse abgetrennt; wenn nötig auch unterhalb dieser, sodass letztendlich für alle Wurzeln eine einheitliche Länge von 15mm resultierte. Anschließend wurden die Wurzeloberflächen grob mit Küretten von Konkrementen und Resten des Parodonts befreit.

Die Schnittfläche wurde mit einem feinkörnigen Diamanten finiert. Während der gesamten Versuchslaufzeit wurden die Zahnwurzeln in Leitungswasser aufbewahrt, um eine Austrocknung zu vermeiden.

Vor der Aufbereitung wurde bei jedem Wurzelkanal mit einem Reamer der ISO-Größe 15

(VDW GmbH, München) das Erreichen der Arbeitslänge von 14mm klinisch und röntgenologisch kontrolliert. Die Aufbereitung der Wurzelkanäle erfolgte maschinell mit Nickel-Titan-Instrumenten (FlexMaster, VDW, München). Die Aufbereitung erfolgte mit der Crown-down-Technik bis zur Größe .02/35. Dazu wurden die Instrumente mit einem 15%igen EDTA-Gel (Calcinase-slide, lege artis, Dettenhausen) beschickt; nach jedem Arbeitsgang wurde der Wurzelkanal mit 2ml NaOCl-Lösung gespült. Abschließend wurde jeder Kanal mit Papierspitzen getrocknet.

Alle 153 Zahnwurzeln wurden mit Masterpoints der ISO-Größe 35 (VDW, München), Sealer (AH plus, DeTrey, Konstanz) und Guttaperchapoints der Größen Größen XF und F (VDW, München) gefüllt. Es wurde nach der Technik der lateralen Kondensation gearbeitet. Die überstehenden Enden der Guttaperchapoints wurden abschließend mit einem erwärmten Kugelstopfer abgetrennt und der überschüssige Sealer entfernt.

3.2 Verwendete Stiftsysteme und Normbohrung

In der vorliegenden Studie fanden drei konfektionierte Wurzelkanalstifte aus faserverstärktem Kunststoff Verwendung:

Gruppe I: Easy Post-Glasfaserstifte

Gruppe II: DT White Post-Quarzfaserstifte

Gruppe III: HT Cytec-Karbonfaserstifte.

3.2.1 Easy Post-Glasfaserstifte

Die 51 Zähne der Gruppe I wurden mit Easy Post-Glasfaserstiften versehen. Hersteller dieser Wurzelstifte ist die Firma Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz (Abb. 1).

Die Stifte bestehen aus mit Zirkon angereicherten Siliziumoxid-Fasern in einer Epoxidharz-Matrix. Der Anteil der Fasern beträgt 60-62 Vol% und der Epoxidharzanteil 40 Vol%. Das Material ist nicht zytotoxisch, chemisch inert und verursacht keine Korrosions- oder Bimetalleffekte. Für die postoperative Kontrolle sind die Stifte röntgenopak (Produktinformation Dentsply).

Easy Post-Glasfaserstifte sind weiß, haben eine konisch-zylindrische Form (die Spitze ist zylindrisch) und weisen eine glatte Oberfläche auf. Das Oberflächendesign ist mikroretentiv, die Stifte werden über Adhäsivsysteme mit der Kanalwand „verklebt“.

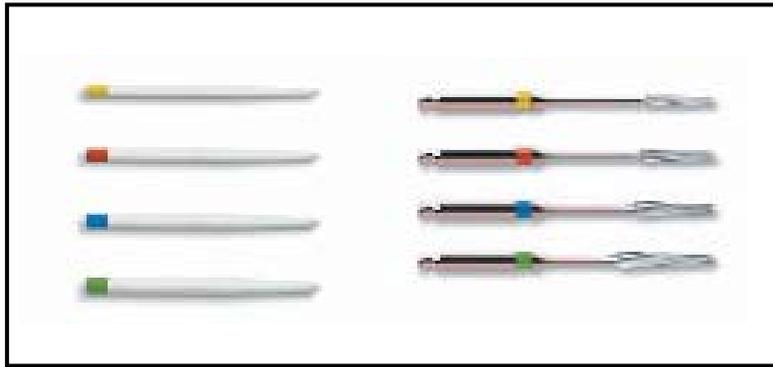


Abb.1: EasyPost Stifte (li) und EasyPost Kalibrierbohrer (re),
(Produktkatalog DENTSPLY)

Easy Posts gibt es in vier verschiedenen Größen: 01 (d= 1,35 mm), 02 (d= 1,47 mm), 03 (d= 1,67 mm), 04 (d= 1,83 mm), wobei „d“ den Durchmesser an der dicksten Stelle des Stiftes bezeichnet. Die Länge der Stifte beträgt 20 mm. Für die Stifte wurde eine Biegefestigkeit von ca. 1600 MPa und ein dentinähnliches Elastizitätsmodul ermittelt.

Für die Studie wurden Easy Post-Glasfaserstifte der Größe 02 (d= 1,47mm) ausgewählt.

3.2.1.1 Normbohrung und Präparation des Stiftbettes

In einem ersten Arbeitsschritt wurde aus dem koronalen und mittleren Wurzelkanalabschnitt mit einem Gatesbohrer mit 800-1200 Umin-1 die Guttapercha entfernt. Danach erfolgte die Normbohrung bei 1000-2000 Umin-1 mit dem systemeigenen Präzisionsbohrer Nr. 2 (Dentsply, Mailefer, Ballaigues, Schweiz). Dieser wurde vorher mit einem Silikonring auf die Arbeitslänge von 10mm markiert. Der fertig präparierte Kanal wurde anschließend mit 5ml NaCl-Lösung gespült und mit Papierspitzen getrocknet. Vor der Desinfektion und Entfettung des Glasfaserstifts mit 80%igem Alkohol wurde der Stift auf der Länge von 10 mm mit einer Kerbe markiert. Die Befestigung des Stiftes im Kanal erfolgte mit dem Kompomer-Material Dyract Cem Plus (Dentsply).

3.2.2 DT White Post-Quarzfaserstifte

Bei den DT White Post-Quarzfaserstiften (VDW, München) der Gruppe II handelt es sich um Stifte aus vorgedehnten Quarzfasern (ca. 80 Vol %), die zu 98 % aus reinem Silizium bestehen und während des Herstellungsprozesses silanisiert werden, um den besten Verbund zur Resinmatrix (20 Vol %) zu erzielen. Die Stifte sind in den Größen 01 (dk= 1,5mm, da=

0,9mm), 02 (dk= 1,8mm, da= 21,0mm) und 03 (dk=2,2mm, da=1,2mm) erhältlich. Hierbei entspricht „dk“ dem koronalen und „da“ dem apikalen Durchmesser des Stiftes.

DT White Posts haben ein so genanntes Double Taper Design, d. h. der Stift besitzt 2 Konizitäten, um sich den anatomischen Gegebenheiten des Kanals optimal anpassen zu können, ohne dass ein massiver Materialabtrag bei der Normbohrung nötig wird.

DT White Posts haben ein Elastizitätsmodul von 15 GPa (Vergleich Dentin: 18,6 GPa) und eine Biegefestigkeit von 1600 MPa. Auch die DT White Posts sind, wie die Easy Post-Glasfaserstifte, röntgenopak. Die Oberfläche der Stifte ist glatt und das Oberflächendesign mikroretentiv. Für die Experimente wurden DT White Posts der Größe 01 (dk= 1,5mm, da= 0,9mm, l= 20mm) verwendet. Abb.2 zeigt das Arbeits- Kit mit dem Universal Drill, den Finishing Drills in verschiedenen Größen und den korrespondierenden DT White Posts.



Abb.2: DT Universal Drill (re), DT Finishing Drill (m) und DT White Posts (li)
(VDW, München)

3.2.2.1 Normbohrung und Präparation des Stiftbettes

In einem ersten Arbeitsgang wurde mit dem Universal Drill (VDW, München), welcher mit einem Silikonring auf 10 mm Arbeitslänge markiert wurde, mit 1800-2000 Umin-1 vorgebohrt. und dabei gleichzeitig die Guttapercha aus den oberen 2/3 des Wurzelkanals entfernt. Mit dem passenden Finishing-Drill (Gr. 02, VDW), ebenfalls mit einem Silikonstopp auf 10 mm Länge markiert, wurde der Wurzelkanal seiner endgültigen Form entsprechend zur Aufnahme des Stiftes erweitert. Danach wurde jeder einzelne Stift mit einer Kerbe auf die Arbeitslänge von 10 mm markiert, die Stiftpassung überprüft und der Kanal gespült und getrocknet. Vor der Insertion des Stiftes in den Kanal mittels Dyract Cem Plus wurde dieser mit

Alkohol gereinigt und getrocknet.

3.2.3 Cytec HT-Karbonfaserstift

Cytec HT-Karbonfaserstifte der Hahnenkratt GmbH, Königsbach-Stein (Gruppe III) weisen an der Spitze eine konische Form auf, der übrige Teil des Stiftes ist zylindrisch (Abb.3). Der Stift besteht aus karbonfaserverstärktem Kunststoff mit einem Faservolumenanteil von 60%. Der Matrixanteil (Epoxidharz) beträgt 40%. Bedingt durch die Karbonfasern hat der Stift eine schwarze Farbe. Das Oberflächendesign ist mikroretentiv (spiralförmige Rillen und versetzte Muscheln für zusätzliche Makroretention) und ist für einen adhäsiven Befestigungsmodus vorgesehen.

Cytec HT-Karbonfaserstifte sind in vier Größen (Gr.01: dk=1,2mm, da= 0,6mm, Gr. 02: dk= 1,4mm, da= 0,8mm, Gr. 03: dk= 1,8mm, da= 1,0mm, Gr. 04: dk= 2,2mm, da= 1,2mm) erhältlich. Hierbei entspricht „dk“ dem koronalen und „da“ dem apikalen Durchmesser des Stiftes. Alle Stifte haben eine Länge von 20mm. Die Stifte sind nicht röntgenopak. Sie haben ein Elastizitätsmodul (Biegemodul) von ca. 13,6 GPa und eine Biegefestigkeit von 1.857 MPa. In die Untersuchung wurden HT Cytec-Karbonfaserstifte der Gr. 02 (dk= 1,4mm, da= 0,6mm) einbezogen.



Abb. 3: HT Cytec-Karbonfaserstift mit systemeigenem Vorbohrer

3.2.3.1 Präparation des Stiftbettes

Zuerst wurde mit Gatesbohrern der Größen 1 und 2 (VDW, München), die auf der Arbeitslänge von 10mm mit einem Silikonring gekennzeichnet wurden, die Guttapercha aus den oberen 2/3 des Wurzelkanals revidiert und dieser Abschnitt mit dem Hahnenkratt Universal-Drill (HT 42.010) nachgearbeitet. Danach wurde mit dem Normbohrer der passenden Größe (HT Normbohrer Gr. 02: 43.002) bei Wasserkühlung und 500-1000 Umin-1 tupfend und mit

geringem Druck das Stiftbett präpariert. Anschließend wurde der Kanal nochmals gespült und mit Papierspitzen getrocknet. Die Passung des auf 10mm Länge mit einer Kerbe markierten und gereinigten Karbonfaserstiftes wurde kontrolliert und mit Adhäsivtechnik und Dyract Cem Plus eingesetzt.

3.3 Einbringen der Stifte in den Wurzelkanal

Das Befestigen der Stifte im Kanal erfolgte mit Dyract Cem Plus. Hierbei handelt es sich um ein selbsthärtendes Kompomer-Luting-Zement, das aus einem weißen Pulver (Dyract Cem Plus Opaque Powder, Dentsply) und einer klaren Flüssigkeit (Dyract Cem Plus Liquid, Dentsply) im Verhältnis 2 Schaufelchen zu 2 Tropfen auf einem Anmischblock angemischt wird.

Zuvor wurde der jeweilige Wurzelkanal mit einem 36%igem Orthophosphorsäure-Gel (DeTrey Conditioner 36 Etching Gel, Dentsply) für 15 Sekunden konditioniert und anschließend mindestens 20 Sekunden mit Wasser gespült und getrocknet. Prime& Bond NT (Dental Adhesive, Dentsply/DeTrey) wurde mit Self cure-Activator (Dentsply/DeTrey) im Verhältnis 1:1 angemischt und mit einem Composibrush (RTD, St. Egreve, France) in den Kanal eingebracht und für 20 Sekunden einmassiert. Überschüsse wurden mit Papierspitzen entfernt und der Kanal vorsichtig mit Druckluft getrocknet. Zusätzlich wurde Prime& Bond + Self cure-Activator mit Hilfe des Composibrush dünn auf den gereinigten, trockenen Stift aufgebracht und vorsichtig für 5 Sekunden verblasen. Dann wurde Dyract Cemplus mit einem Reamer in den Kanal einrotiert und der Stift mit einer Pinzette in der korrekten Position appliziert, so dass die 10 mm Markierungskerbe an der Schnittstelle abschloss. Jeder Stift wurde mindestens 4 Sekunden in Position gehalten, bis das Kompomer abgebunden war.

Abschließend wurde bei allen Zähnen der Stift an der Markierungsstelle mit einer diamantierten Trennscheibe abgetrennt, sodass der Stift an der Schnittstelle übergangslos abschloss.

3.4 Instrumente und Methoden zur Entfernung der Stiftsysteme

Zur Entfernung der Stifte aus dem Wurzelkanal wurden folgende drei Methoden angewendet:

- Entfernung mit einem diamantierten Ultraschallaufsatz

- Entfernung mit einem Rosenbohrer
- Entfernung mit dem DT Post Entfernungskit.

3.4.1 Die Entfernung der Stiftsysteme mit Ultraschall

Zur Entfernung der Stifte mit Ultraschall wurde eine Sonicflex Endospitze Nr. 67 (KaVo Dental, Biberach/Riß) mit einem Spitzendurchmesser von 0,55mm verwendet (Abb. 4). Die Anwendung erfolgte mit einem Luftdruck von 3,5bar und Wasserkühlung. Um eine Überinstrumentierung zu vermeiden, wurde die Spitze mit einem Silikonstopper auf einer Arbeitslänge von 10mm markiert.

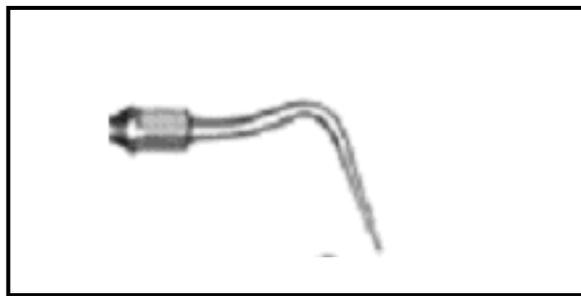


Abb. 4: Sonicflex endo (KAVO, Biberach)

Die Ultraschallspitze wurde für die Entfernung zentral in der Achse des eingebrachten Wurzelstiftes aufgesetzt und mit geringem Druck eine kleine Vertiefung geschaffen. Um Stift- und Zementanteile an den Kanalwänden zu erreichen, wurde das Instrument vom Stiftzentrum im Uhrzeigersinn leicht tupfend zu den Kanalwänden und in die Tiefe geführt.

3.4.2 Die Entfernung der Stiftsysteme mit dem Rosenbohrer

Bei dieser Methode wurden die Faserstifte mit einem überlangen Rosenbohrer der Größe 12 (Komet, Gebr. Brasseler, Lemgo) bei 1500 min⁻¹ Umdrehungen unter Wasserkühlung herausgebohrt. Der Bohrer wurde vor der Anwendung mit einem Silikonstopper auf einer Länge von 10mm markiert. Auch bei diesem Verfahren wurde mit dem Rosenbohrer zunächst in der Mitte des Stiftes eine Vertiefung geschaffen und dann nach und nach mit tupfenden Bewegungen von der Stiftmitte zu den Kanalwänden zirkulär im Uhrzeigersinn bis zur vollen Arbeitslänge in die Tiefe gearbeitet. Dabei wurde streng darauf geachtet, die axiale Zentrierung beizubehalten. Bei der Entfernung mit dem Rosenbohrer wurde der Arbeitsvorgang mehrere Male unterbrochen, um gelöste Späne aus dem Kanal zu spülen. Hierzu wurde eine Spülspritze mit NaCl-Lösung verwendet.

Bei der Entfernung der Glasfaserstifte wurde im apikalen Kanaldrittel zusätzlich ein Müllerbohrer (Komet) mit langem grazilen Schaft eingesetzt.

Die Karbonfaser- und Quarzfaserstifte schneidet der Müllerbohrer nicht und konnte aus diesem Grund zur Entfernung dieser Stifte nicht eingesetzt werden.

3.4.3 Die Entfernung der Stiftsysteme mit dem DT-Post-Entfernungskit

Das von der Firma VDW speziell entwickelte DT-Post-Entfernungskit (VDW, München) besteht aus dem DT Pilot-Drill und dem Carbide-Bohrer (Abb. 5). Der Pilot-Drill ist ein zylindrischer Diamantbohrer, mit dem zuerst eine zentrale Vertiefung in den Stift gebohrt wird. Der DT Carbide-Drill im Double-Taper-Design, dessen Spitze einen Durchmesser von 0,9 mm aufweist, wurde speziell zur Entfernung der DT Stifte entwickelt. Nach der Vorbohrung wurde der DT Carbide-Bohrer mit einem Silikonring auf 10mm Arbeitslänge markiert und mit seiner schneidenden Spitze in der Vertiefung angesetzt. Ohne Wasserkühlung wurde tupfend mit geringem Druck bei 2000 Umdrehungen pro Minute bis zur Arbeitslänge gebohrt; und wenn notwendig zu den Kanalwänden hin bewegt.



Abb. 5: DT Post Entfernungskit (VDW, München)

Auch hier wurde stets auf eine axiale Zentrierung geachtet. Gelegentlich wurde unterbrochen, um Stift- und Zementreste aus den tiefen und langen Rillen des Carbide-Bohrers zu entfernen, damit die volle Schneidleistung wieder gewährleistet war.

3.5 Geräte und Methoden zur Untersuchung der Stiftentfernung

Die unter Punkt 3.4 genannten drei Entfernungsmethoden wurden während bzw. nach der Stiftentfernung auf folgende sechs Merkmale hin untersucht:

- Instrumentenhandhabung
- Effizienz der Entfernungsmethode
- Effektivität der Entfernungsmethode
- Schonung der Zahnhartsubstanz
- Misserfolge
- Beschaffenheit der inneren Kanaloberfläche.

Instrumentenhandhabung

Unter der Instrumentenhandhabung versteht sich die Führung des Bohrers bzw. der Ultraschallschallspitze während des Vorgangs der Stiftentfernung. Registriert wurden Zwischenfälle, wie z.B. das Verhaken der Instrumentes, wie gut oder schlecht sich das Instrument in den Stift schneidet oder ob während des Bohrvorganges der Wurzelkanal oft gespült werden musste.

3.5.1 Untersuchung der Effizienz der Entfernungsmethode

Die Effizienz der Entfernungsmethode wurde als der zur vollständigen Stiftentfernung notwendige Zeitaufwand definiert.

Die Zeit wurde folgendermaßen gemessen: Sobald der Bohrer bzw. der Ultraschallaufsatz den Stift berührte und in Betrieb genommen wurde, wurde eine elektronische Stoppuhr gestartet. Die Zeit bis zur Beendigung der Entfernung wurde einschließlich der Zeit, die z. B. zum Spülen benötigt wurde, auf Zehntelsekunden genau gemessen.

3.5.2 Untersuchung der Effektivität der Entfernungsmethode

Die Effektivität der Entfernungsmethode wurde durch die Volumetrie der Anteile von Stift- und Befestigungszement bestimmt, die sich nach der Entfernung noch im Wurzelkanal befanden.

Die Volumenberechnung der Stift- und Zementreste erfolgte in 3D-Rekonstruktionen von CT-Scans, die von allen Zähnen mit dem fpVCT angefertigt wurden. Bei dem fpVCT (*flat panel volumetric computed tomography*) handelt es sich um einen nicht klinischen Prototyp, der im Gegensatz zu klinisch verwendeten CT's mit Flächen- anstatt mit Ringdetektoren arbeitet (Abb. 6).

Der Apparat ist eine Entwicklung der Firma General Electric (GE) Global Research Center (Niskayuna, NY, USA) und in einer normalen Gantry eines klinischen Systems untergebracht. Als Quelle wird eine Performix 630 Röhre (GE Medical Systems, NY, USA) benutzt, die Beschleunigungsspannungen von 50 bis 150kV bei einer maximalen Leistung von 20kW ermöglicht. Als Detektoren kommen zwei 20 x 20 cm große, mit jeweils 1024 x 1024 a 200x200 µm großen Elementen bestehende Flächendetektoren zum Einsatz. Dabei kann sowohl im Ein- wie auch im Zweidetektorbetrieb gearbeitet werden.

Es wird eine isotrope Ortsauflösung von 200µm bei 10% MTF bei einer Aufnahmezeit von 8s pro Rotation erreicht. Das System arbeitet im Axialbetrieb und kann pro Rotation einen Bereich von 12,8 x 12,8 x 4,21 cm im Eindetektorbetrieb abbilden. In der hier vorliegenden Arbeit wurden jeweils mehrere Präparate mit einer Aufnahme erfasst.



Abb. 6: Flächendetektor-Volumencomputertomograph (fpVCT) der Firma General Electric (GE, Global Research, Niskayuna, NY, USA), (Quelle: Hübinger 2008, Seite 25)

Zur Analyse der rekonstruierten CT-Daten kommt eine Advanced Workstation (GE HealthCare, Buc, Frankreich) zum Einsatz, die in der klinischen Routine verwendet wird. Bei der Software zur Volumetrie handelt es sich um voxtool 3.0.64z (GE HealthCare, Buc, Frankreich).

Für die vorliegende Untersuchung zur Entfernung von Wurzelfaserstiften wurden die Zahn-

wurzeln im fpVCT im Single-Detektor-Betrieb jeweils einmal vor und einmal nach der Entfernung der Stifte gescannt.

Hierzu wurden jeweils 25 Zähne in gleichen Abständen zueinander in einem Raster von 5 x 5 Zähnen auf dem Lagerungstisch ausgerichtet und bei einer Röhrenspannung von 80 kV und einem Röhrenstrom von 100mA abgebildet.

3.5.3 Schonung der Zahnhartsubstanz

Die Schonung der Zahnhartsubstanz ist definiert als der Substanzabtrag im Bereich des Wurzelentins nach der Stiftentfernung.

Um Aussagen darüber treffen zu können, wie schonend die jeweiligen Entfernungsmethoden sind, wurden mit Hilfe der CT- Bilder der Substanzabtrag in mm³ berechnet. Hierzu wurden das Ausgangskanalvolumen (vor der Stiftentfernung) und das Endkanalvolumen (nach der Stiftentfernung) in mm³ ermittelt und der Substanzabtrag als Differenz beider Volumina berechnet.

Misserfolge:

Eindeutige Misserfolge, wie Wurzelperforationen und –frakturen wurden bereits während der Experimente registriert. An welchen Zähnen es zu einer Via falsa kam, wurde anschließend an Hand von 3D-Rekonstruktionen der CT-Scans ermittelt.

3.5.4 Beurteilung der Beschaffenheit der inneren Kanaloberfläche aus CT-Bildern

Die Beurteilung der Beschaffenheit der inneren Kanaloberfläche erfolgte ebenfalls mit Hilfe der CT-Aufnahmen, die nach der Stiftentfernung angefertigt worden waren. Diese bildeten die Grundlage für eine visuelle Beurteilung (Rauigkeiten, Ausbuchtungen, Kanalform).

3.6 Biometrische Auswertemethoden

3.6.1 Einteilung in Behandlungsgruppen

Um ein Verwechseln der Zahnwurzeln zu vermeiden, wurden alle 153 Versuchsobjekte nummeriert. Hierzu wurde mit einem kleinen Kugeldiamanten die jeweilige Nummer in die Wurzeloberfläche „graviert“ und mit einem wasserfesten Edding nachgeschrieben. Auf diese Art und Weise konnten die Zähne in den darauf folgenden Experimenten und später in den CT-Bildern und bei den Untersuchungen eindeutig identifiziert werden.

Bevor die Versuchsreihe startete, wurde für jeden Zahn ein Versuchsprotokoll angelegt, in dem die Nummer und die einzelnen Versuchsparameter aufgeführt sind.

Tabelle 2 zeigt die Verteilung der Versuchsobjekte auf die einzelnen Versuchsgruppen.

Tab. 2: Einteilung der untersuchten Zähne in Behandlungsgruppen

<i>Stiftart</i>	<i>Entfernungsmethode</i>		<i>Zahnnummer</i>	
G I Easy Post Glasfaserstifte n= 51	E 1	Ultraschall	Nr. 51- 67	n= 17
	E 2	Rosenbohrer	Nr. 68- 75	n= 17
	E 3	DT Entfernungskit	Nr. 136- 150, 152	n= 17
G II DT White Post Glasfaserstifte n= 51	E 4	Ultraschall	Nr. 1- 17	n= 17
	E 5	Rosenbohrer	Nr. 18- 34	n= 17
	E 6	DT Entfernungskit	Nr. 35- 55, 151	n=17
G III HTCytec Karbonfaserstifte n= 51	E 7	Ultraschall	Nr. 76-92	n= 17
	E 8	Rosenbohrer	Nr. 93- 109	n= 17
	E 9	DT Entfernungskit	Nr. 110- 125, 153	n= 17
Summe				n= 153

3.6.2 Statistische Analyse

Varianzanalyse

Die Auswertung der ermittelten bzw. berechneten Daten erfolgte mit einer 2-faktoriellen unbalanzierten Varianzanalyse (SAS® Software), da nicht jedes Prüfglied mit der gleichen Wiederholungszahl belegt war.

Das Signifikanzniveau betrug $\alpha = 0,05$. d.h. bei $p < 0,05$ ist ein signifikanter Unterschied der Prüfgliedmittelwerte zu verzeichnen.

Korrelationsanalyse

Zur Prüfung der Abhängigkeit von extrafaktoriellen Einflussgrößen wurde der Zusammenhang zwischen „Bohrervorlaufzeit“ zur Prüfgröße mittels des PEARSONSchen Korrelationskoeffizienten und linearer und nichtlinearer Regression überprüft.

Die Bohrervorlaufzeit ist definiert, als die Zeit, in welcher das selbe Instrument (Bohrer/Ultraschallspitze) bereits „gearbeitet“ hat (zur Stiftentfernung bei einem anderen Zahn), bevor er bei einem Prüfkörper eingesetzt wurde.

3.6.3 Fehlerabschätzung der CT-Berechnungen

Zur Erprobung der Genauigkeit der Berechnungen anhand von CT-Bildern wurden Wiederholungsmessungen mit einer Zahnwurzel Nr. 0 unternommen. Hierzu wurde eine Wurzel mit einem DT White Post und Dyract Cem Plus versehen. Anschließend wurde der Zahn 4mal im fpVCT geröntgt. Der Stift wurde mit dem Rosenbohrer entfernt und derselbe Zahn erneut 4mal geröntgt. In den CT-Abbildungen wurden anschließend die Kanalvolumina bestimmt und verglichen. (Tab.11 siehe Anhang)

4 Ergebnisse

Nach den Ergebnissen der Varianzanalyse ist die Wechselwirkung zwischen dem Faktor Faserstifte und dem Faktor Entfernungsmethode signifikant (Signifikanzniveau $\alpha= 0,05$). Der Vergleich der Hauptwirkungen kann deshalb nicht unabhängig, sondern nur auf den Stufen des jeweils anderen Faktors vorgenommen werden.

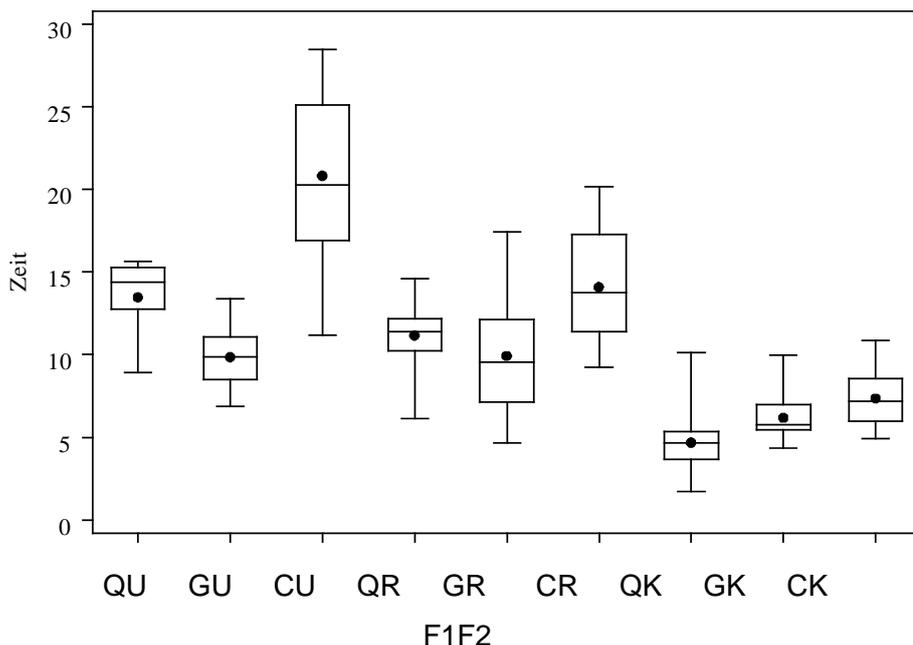
Der für die grafischen Darstellungen gebildete neue Faktor F1F2 (d.h. Wechselwirkung F1x F2) wurde aus dem jeweils ersten Buchstaben der Faktorstufen wie folgt gebildet:

F1:	F2:	F1F2
Karbonfaserstift : C	DT Entfernungskit : K	QU, GU, CU,
Glasfaserstift : G	Rosenbohrer : R	QR, GR, CR,
Quarzfaserstift : Q	Ultraschall : U	QK, GK, CK

4.1 Effizienz der Entfernungsmethode

4.1.1 Varianzanalyse der Behandlungszeit

Mit dem DT-Entfernungskit ließen sich sowohl die Glasfaserstifte, als auch die Quarzfaser- und Karbonfaserstifte einfach und effektiv entfernen (Abb. 7).



Q: Quarzfaserstift	G: Glasfaserstift	C: Karbonfaserstift
U: Ultraschall	R: Rosenbohrer	K: DT-Kit

Abb. 7: Behandlungszeit-Boxplot der Stift-Methoden-Kombinationen

Die Behandlungszeit-Mittelwerte für die Methode DT Entfernungskit liegen bei 7,4 min (Karbonfaserstift), 4,7 min (Quarzfaserstift) und 6,2 min (Glasfaserstift). Die Differenzen der Behandlungszeit sind statistisch nicht signifikant. Unwesentlich längere Behandlungszeiten bei der Entfernung der Karbonfaserstifte begründen sich damit, dass sich der Bohrer des Öfftrens verhakte. In diesem Fall musste der Bohrvorgang unterbrochen und der Bohrer durch vorsichtige Bewegungen entgegen der Bohrrichtung gelockert werden.

Zur Entfernung aller 3 Wurzelstifte wurde mit der Methode Rosenbohrer im Vergleich zur Methode DT-Entfernungskit signifikant mehr Zeit benötigt. Die Unterschiede in der Behandlungszeit betragen durchschnittlich maximal 2-7 min.

Die Mittelwerte der Behandlungszeit für die Methode Rosenbohrer liegen bei 14,1 min (Karbonfaserstift), 11,2 min (Quarzfaserstift) und 9,9 min (Glasfaserstift).

Längere Arbeitszeiten bei der Verwendung des Rosenbohrers lassen sich mit der schwierigen Führung des rotierenden Rosenbohrers begründen. Im Stiftgruppenvergleich fällt die Differenz der Behandlungszeit von 4,2 min zwischen Karbonfaser- und Glasfaserstiften statistisch signifikant aus. Die Ursache dafür ist, dass sich der Rosenbohrer sehr gut in die Glasfaserstifte schneidet, aber schwieriger in die Karbonfaserstifte.

Die Sonic Flex-Ultraschallspitze weist im Vergleich zum DT-Entfernungskit bei der Entfernung aller drei Stifftypen statistisch signifikante Unterschiede in der Behandlungszeit auf. Bei der Entfernung der Quarzfaser- und Glasfaserstifte konnte zudem ein signifikanter Unterschied zur Entfernungsmethode Rosenbohrer nachgewiesen werden.

Die Mittelwerte der Behandlungszeit für die Methode Ultraschall liegen bei 20,8min (Karbonfaserstift), 13,5min (Quarzfaserstift) und 9,8min (Glasfaserstift). Zwischen allen drei Stifftypen konnten bei der Entfernung mit Ultraschall statistisch signifikante Differenzen in der Behandlungszeit ermittelt werden. Auffallend ist der hohe mittlere Zeitbedarf von 20,8min für die Entfernung der Karbonfaserstifte. Allerdings streuen die Einzelwerte dieser Gruppe im Vergleich zu den anderen Gruppen auch besonders stark (Abb. 7). Als Ursache können die unterschiedlich langen Vorlaufzeiten bei den einzelnen Proben angenommen werden, da um Kosten einzusparen nicht bei jedem Zahn eine neue Ultraschallspitze verwendet werden konnte. Eine durch mehrere Arbeitsvorgänge bereits abgenutzte Ultraschallspitze benötigte mehr Zeit zur Stifftentfernung. Zu einer zusätzlichen Verlängerung der Behandlungszeit kam es in der Gruppe Karbonfaserstift/Ultraschall durch schlechte Sichtverhältnisse. Der Arbeitsvorgang musste häufiger durch Spülvorgänge unterbrochen werden als in den anderen Gruppen, da gelöste schwarze Stiftpartikel in Verbindung mit Wasser eine permanente, schwer entfernbare Schmierschicht an der Kanalwand bildeten.

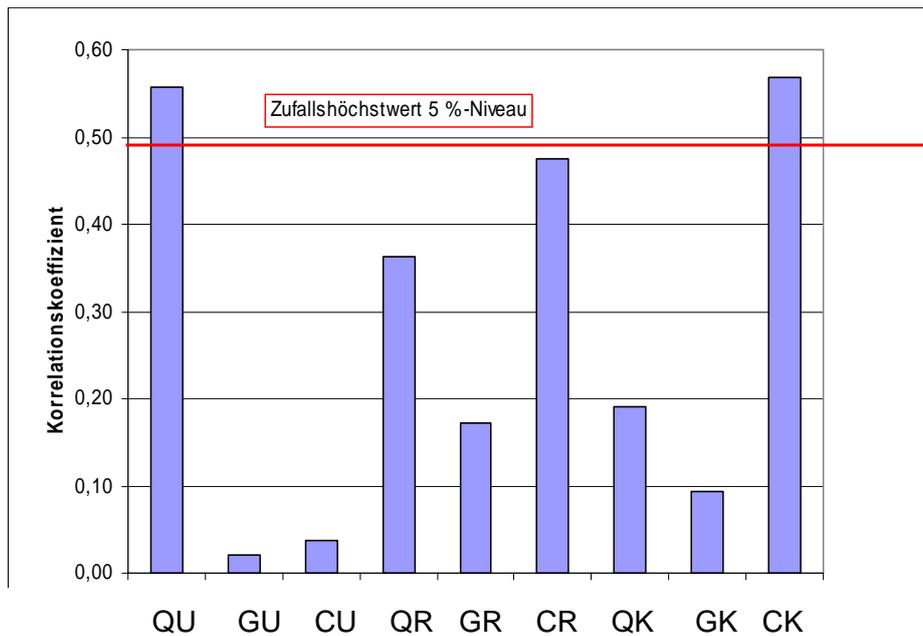
4.1.2 Korrelationsanalyse der Behandlungszeit

Bezüglich des bereits erwähnten Einflusses der Bohrvorlaufzeit auf die Behandlungszeit wurden beide Größen innerhalb der jeweiligen Faktorenkombination korreliert (PEARSON-scher Korrelationskoeffizient). Das erschien notwendig, weil die Bohrvorlaufzeit selbst kein Prüfglied war und diese über die Prüfglieder nicht randomisiert wurde. Eventuell dadurch bedingte Ergebnisverzerrungen konnten somit sichtbar gemacht werden, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Die ermittelten Korrelationskoeffizienten zeigt Abbildung 9. Danach gibt es bei einigen Faktorkombinationen eine Abhängigkeit zwischen Behandlungs- und Bohrvorlaufzeit, die bei den beiden Faktorkombinationen Quarzfaserstift/ Ultraschall und Karbonfaserstift/DT-Entfernungskit signifikant ausfällt.

Dieses Ergebnis lässt sich besonders verdeutlichen, wenn man die Mittelwerte der Behandlungszeit gegen die der Bohrvorlaufzeit regressiert.

Abbildung 10 zeigt, dass sich dieser Zusammenhang mit einer logarithmischen Funktion modellieren lässt. Die logarithmische Funktion zeigt an, dass die Bestimmtheit bis etwa 40 min mittlere Bohrerlaufzeit besonders hoch und linear beschreibbar ist. Danach wird die Wirkung immer kleiner.



Q: Quarzfaserstift	G: Glasfaserstift	C: Karbonfaserstift
U: Ultraschall	R: Rosenbohrer	K: DT-Kit

Abb. 9: Abhängigkeit zwischen Behandlungs- und Bohrvorlaufzeit

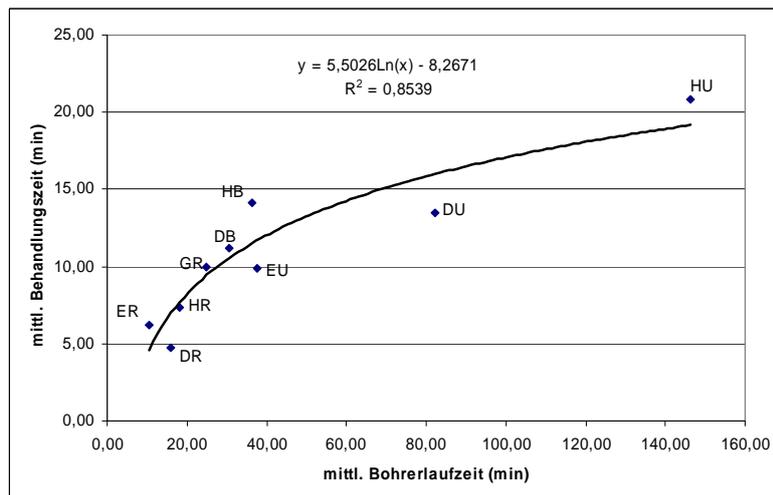


Abb. 10: Zusammenhang zwischen mittlerer Bohrvorlaufzeit und mittlerer Behandlungszeit

4.1.3. Ranking der Behandlungszeit

Das Ranking der Behandlungszeit wurde schrittweise vorgenommen: In einem ersten Schritt wurden die Mittelwerte der Behandlungszeiten aus der Varianztabelle der Größe nach aufsteigend geordnet. Die längste Behandlungszeit bekam den Rang „3“, d.h. „die schlechteste Bewertung“, die kürzeste Zeit den Rang „1“, also die beste Bewertung. Bei der Verteilung der Ränge wurde die Signifikanz der Mittelwertdifferenzen nach der Auswertung in Punkt 4.1.1 berücksichtigt. Tabelle 3 zeigt die Rangverteilung für die Behandlungszeit nach dieser Methode.

Da in Punkt 4.1.2 nachgewiesen wurde, dass die Behandlungszeit außer von den angesetzten Versuchsfaktoren auch von der Bohrvorlaufzeit abhängig ist, wurden aus allen Faktorkombinationen nur die Behandlungszeiten verwendet, deren Bohrvorlaufzeiten gleich „0“ waren (Tabelle 4), d.h. nur die Behandlungen ausgewählt, für die ein neuer Bohrer bzw. eine neue Ultraschallspitze eingesetzt wurde.

Tab. 3: Mittelwerte und Rangeinstufung der Behandlungszeit (auf Basis ANOVA)

<i>F1xF2</i>	<i>Mittelwert min</i>	<i>in Rang</i>
QK	4,7	1
GK	6,19	1
CK	7,37	1
GU	9,86	2
GR	9,93	2
QR	11,17	2
QU	13,48	2
CR	14,1	2
CU	20,83	3

QU: DT Quarz FS/Ultraschall	GU: EP Glas FS/Ultraschall
QR: DT Quarz FS/Rosenb.	GR: EP Glas FS/Rosenb.
QK: DT Quarz FS/DT Kit	GK: EP Glas FS/DT Kit
CU: HT Karb.FS/Ultraschall	
CR: HT Karb.FS/Rosenb.	
CK: HT Karb.FS/DT Kit	

Leider schwankte die Wiederholungszahl der Prüfglieder zwischen 1 und 4, so dass keine varianzanalytische Auswertung möglich war. Bildet man aber auf dieser Basis und nach genannter Methode die Ränge neu (vergl. Tabelle 4) so erhält man selbiges Ergebnis hinsichtlich der Rangbewertung wie es in Tabelle 3 dargestellt ist.

Tab. 4: Mittelwerte und Rangeinstufung der Behandlungszeit (auf Basis der Bohrvorlaufzeit = 0)

<i>F1xF2</i>	<i>Mittelwert in Rang min</i>	
QK	5,19	1
GK	5,97	1
CK	6,64	1
GU	8,92	2
GR	8,96	2
QR	10,24	2
QU	11,19	2
CR	15,37	2
CU	23,45	3

QU: DT Quarz FS/Ultraschall	GU: EP Glas FS/Ultraschall
QR: DT Quarz FS/Rosenb.	GR: EP Glas FS/Rosenb.
QK: DT Quarz FS/DT Kit	GK: EP Glas FS/DT Kit
CU: HT Karb.FS/Ultraschall	
CR: HT Karb.FS/Rosenb.	
CK: HT Karb.FS/DT Kit	

Dies ist als Beleg dafür zu werten, dass trotz des teilweise signifikanten Einflusses der Bohrvorlaufzeit die Prüfgliedunterschiede durch die Varianzanalyse richtig herausgearbeitet wurden bzw. sich die Varianzanalyse gegenüber diesem Einfluss als robust erwies.

4.2 Effektivität der Entfernungsmethoden

Alle Volumenberechnungen unter Punkt 4.2 und 4.3 beruhen auf quantitativen Ergebnissen, die von den CT- Bildern der Versuchsproben abgeleitet wurden.

Zur Fehlerabschätzung dieses Verfahrens wurde die Standardabweichung von Wiederholungsmessungen an einer Zahnwurzel „0“ ermittelt und zum Mittelwert relativiert (Variationskoeffizient s%). Der Fehler des Anfangskanalvolumens (vor der Stiftentfernung) liegt bei 1,81% und der für das Endkanalvolumen (nach der Stiftentfernung) bei 2,17%. Beide Fehler liegen damit in einem akzeptablen Bereich.

(Tab.11 siehe Anhang)

4.2.1 Varianzanalyse des Anteils von Stift- und Befestigungszement

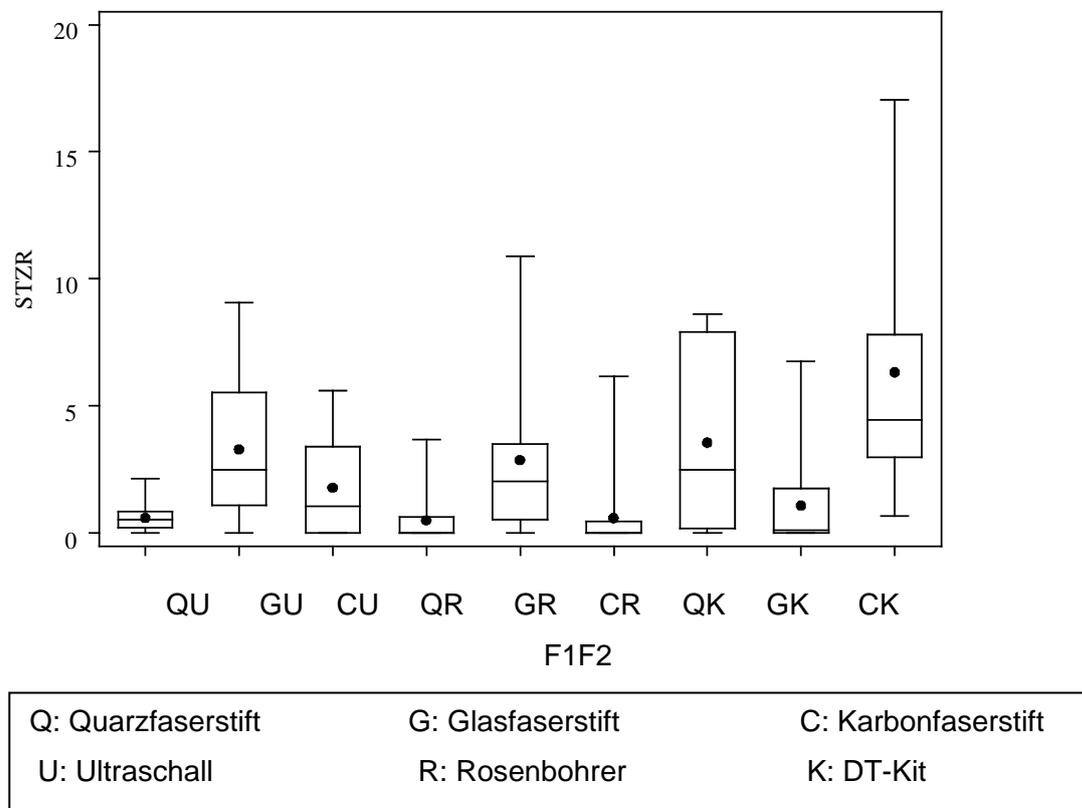


Abb. 11: Stift-/ Befestigungszement-Boxplot der Stift-Methoden-Kombination

Die Entfernung der Quarzfaser- und Karbonfaserstifte mit dem DT-Entfernungskit erweist sich als relativ ineffektiv, weil nach der Stiftenentfernung nachweislich große Mengen an Stift- und Zementresten an den Kanalwänden verblieben. Die Mittelwerte der Anteile von Stift-/Zementresten liegen beim Karbonfaserstift bei 6,3 mm³, beim Quarzfaserstift bei 3,6 mm³ und beim Glasfaserstift bei 1,1 mm³. Die Entfernung von Karbonfaserstiften und Glasfaserstiften mit dem DT-Entfernungskit ergab einen statistisch signifikanten Unterschied für das Merkmal Stift-/Zementreste. In der Gruppe der Quarzfaserstifte streuen die Werte stark zwischen 0 mm³ (saubere Kanalwände) und ca. 8 mm³ (Abb.11). Bei der Entfernung der Karbonfaserstifte grenzt sich im Methodenvergleich das DT-Entfernungskit in Hinsicht auf die Effektivität statistisch signifikant von den Methoden Rosenbohrer und Ultraschall ab. Allerdings verzerren in der Gruppe Karbonfaserstift/DT-Entfernungskit vier sehr hohe Ausreißer von insgesamt 17 Werten das Ergebnis. Ausreißerbereinigt läge der Mittelwert dieser Gruppe bei 3,7mm³. Somit muss der ermittelte signifikante Unterschied relativiert werden. Mit dem Rosenbohrer konnten Karbonfaser- und Quarzfaserstifte sehr gründlich entfernt werden. Die Mittelwerte für das Merkmal Stift-/Zementreste liegen beim Karbonfaserstift bei 0,6 mm³, beim Quarzfaserstift bei 0,5 mm³ und beim Glasfaserstift bei 2,9mm³. An dieser

Stelle soll bereits erwähnt werden, dass die fast vollständige Entfernung von Stift- und Befestigungszement mit dem Rosenbohrer mit einem hohen Abtrag natürlicher Zahnhartsubstanz verbunden ist, wie in Punkt 4.3 noch ausführlich dargestellt wird. Ursächlich für die größere Anteile Stift-/Zementreste bei der Gruppe Glasfaserstift/Rosenbohrer könnte die Verwendung des grazileren Müllerbohrers sein, der in den tieferen Kanalabschnitten ausschließlich in dieser Gruppe verwendet wurde. Als weitere Ursache kann das häufige Vorkommen einer Via falsa in dieser Gruppe (Häufigkeit: 44%) angenommen werden. Ist einmal am Wurzelstift vorbei präpariert worden, war es nicht immer möglich, die Via falsa zu korrigieren und die restlichen Stift- und Zementanteile zu entfernen. Im Stiftgruppenvergleich ergaben sich aber für die Methode Rosenbohrer keine signifikanten Unterschiede.

Bei der Methode Ultraschall liegen die Mittelwerte für das Merkmal Stift-/Zementanteile beim Karbonfaserstift bei 1,8mm³, beim Quarzfaserstift bei 0,6mm³ und beim Glasfaserstift bei 3,3mm³. Auch hier ließen sich keine signifikanten Unterschiede nachweisen.

4.2.2 Korrelationsanalyse des Anteils von Stift- und Zementresten

Wie in der Abbildung 12 verdeutlicht wird, reagiert das Merkmal Stift- und Zementreste statistisch nicht nachweisbar auf die Bohrvorlaufzeit. Die Bestimmtheit des Zusammenhanges beträgt nur ca. 11 %. Auch die Reaktion auf die mittlere Behandlungszeit ist nicht signifikant.

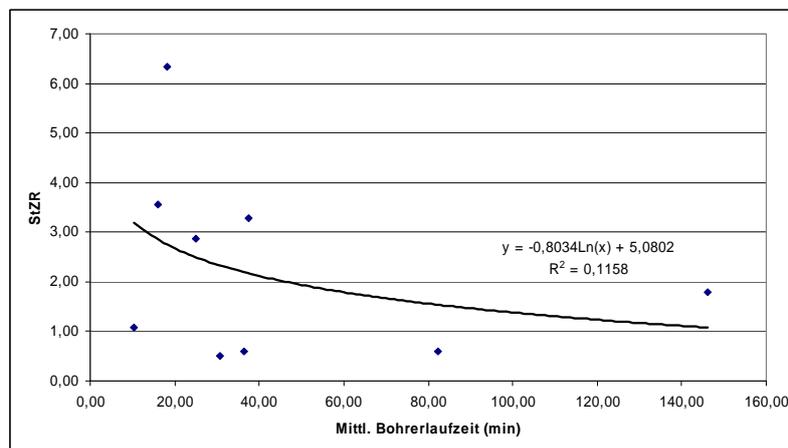


Abb. 12: Zusammenhang zwischen mittlerer Bohrvorlaufzeit und den Anteilen von verbliebenem Stift und Befestigungszement

Wie in Abbildung 13 zu erkennen ist, deutet sich ein Zusammenhang an, demzufolge verbleiben mit zunehmender Behandlungszeit auch weniger Zementreste. Das Merkmal ist also hinsichtlich der Faktoren auswertbar.

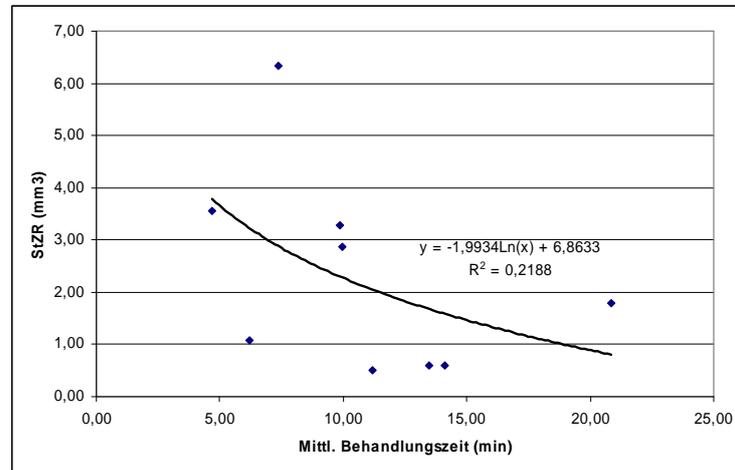


Abb. 13: Zusammenhang zwischen mittlerer Behandlungszeit und Anteil von Stift- und Befestigungszementresten

4.2.3 Ranking des Anteils von Stift- und Befestigungszement

Zur Veranschaulichung der Ergebnisse wurden auch für das Merkmal Stift-/Zementreste die Mittelwerte der Faktorenkombinationen aus der Varianztabelle der Größe nach aufsteigend geordnet. Große Mengen an Stift- und Zementresten wurden mit dem Rang 3 bewertet, geringe Mengen mit den Rang 2 und sehr geringe Mengen mit dem Rang 1. Bei der Rangverteilung wurden die ermittelten signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen berücksichtigt. Tabelle 5 zeigt die Rangverteilung für das Merkmal Stift- und Zementreste nach dieser Methode.

Tab. 5: Mittelwerte und Rangeinstufung der Stift-/ Zementreste(auf Basis ANOVA)

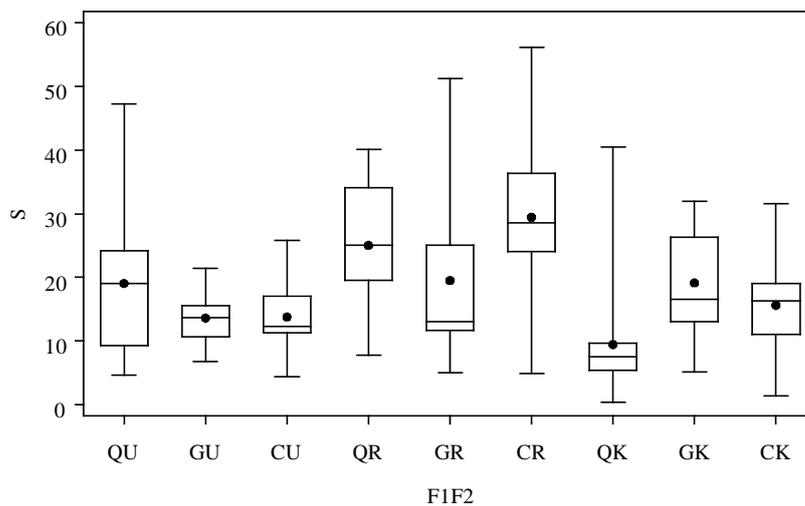
<i>F1xF2</i>	Mittelwert <i>mm³</i>	in Rang
QR	0,5	1
CR	0,59	1
QU	0,59	1
GK	1,08	2
CU	1,79	2
GR	2,87	2
GU	3,29	3
QK	3,56	3
CK	6,33	3

QU: DT Quarz FS/Ultraschall GU: EP Glas FS/Ultraschall
 QR: DT Quarz FS/Rosenb. GR: EP Glas FS/Rosenb.
 QK: DT Quarz FS/DT Kit GK: EP Glas FS/DT Kit

 CU: HT Karb.FS/Ultraschall
 CR: HT Karb.FS/Rosenb.
 CK: HT Karb.FS/DT Kit

4.3 Schonung der Zahnhartsubstanz

4.3.1 Varianzanalyse des Substanzabtrages



Q: Quarzfaserstift	G: Glasfaserstift	C: Karbonfaserstift
U: Ultraschall	R: Rosenbohrer	K: DT-Kit

Abb. 14: Substanzabtrag-Boxplot der Stift-Methoden-Kombination (S mm³)

Nach der Stiftentfernung mit dem DT-Entfernungskit liegen die Mittelwerte für den Abtrag natürlicher Zahnhartsubstanz im Bereich des Wurzelentins beim Karbonfaserstift bei 15,6mm³, beim Quarzfaserstift bei 9,5mm³ und beim Glasfaserstift bei 19,2 mm³. Statistisch ergaben sich keine signifikanten Unterschiede im Stiftgruppenvergleich.

Die Mittelwerte für den Substanzabtrag bei der Stiftentfernung mit der Sonic Flex- Ultraschallspitze weisen ebenfalls im Vergleich der Stiftgruppen keinerlei signifikante Differenzen auf. Sie liegen beim Karbonfaserstift bei 13,8 mm³, beim Quarzfaserstift bei 19,1 mm³ und beim Glasfaserstift bei 13,6 mm³.

Bei der Entfernung der Stifte mit dem Rosenbohrer ist der Verlust an Zahnhartsubstanz am größten (Abb. 14). Die Mittelwerte für den Substanzabtrag betragen: Karbonfaserstift: 29,5 mm³, Quarzfaserstift: 25mm³ und Glasfaserstift: 19,5mm³. Bei insgesamt 49 Zähnen, aus denen der Wurzelstift mit dem Rosenbohrer entfernt wurde, kam es bei 31% der Versuchsobjekte zu einer Zunahme des Kanalvolumens um über 100% und bei 12% der Prüfkörper sogar um über 200%.

Im Vergleich der drei Stiftgruppen konnten keine signifikanten Unterschiede nachgewiesen werden. Bei der Entfernung der Karbonfaserstifte unterscheiden sich im Vergleich der Methoden die Mittelwerte für die Methode Rosenbohrer signifikant von denen der anderen zwei Methoden.

Die allgemein hohen Werte für den Substanzabtrag in der Gruppe Rosenbohrer können mit der schwierigen Führung des Instruments begründet werden, welches zwar alle 3 Stiftarten gut schneidet, aber unpräzise auch große Teile gesunden Wurzelentins entfernt. Hinzu kommen in den Gruppen Karbonfaserstift/Rosenbohrer und Quarzfaserstift/Rosenbohrer eine gehäufte Anzahl von Misserfolgen in Form von *Viae falsae* und Wurzelperforationen, die in Folge der oben genannten Gründe verursacht wurden. Ein etwas geringerer Substanzabtrag kann in der Gruppe Glasfaserstift/Rosenbohrer verzeichnet werden. Ursächlich hierfür ist die Verwendung des grazen Müllerbohrers in den apikalen Abschnitten des Wurzelkanals. Allerdings begründet sich diese Eigenschaft in einem hohen Anteil Stift-/Zementreste, wie unter 4.2 bereits erwähnt. Das heißt, der Müllerbohrer arbeitet etwas schonender in Bezug auf die Zahnhartsubstanz, ist aber leider uneffektiv in Bezug auf die Entfernung des Stiftes.

4.3.2 Korrelationsanalyse des Substanzabtrages

Auch das Merkmal SubA (Substanzabtrag in mm³) reagiert nicht auf die Bohrvorlaufzeit (Abb. 15).

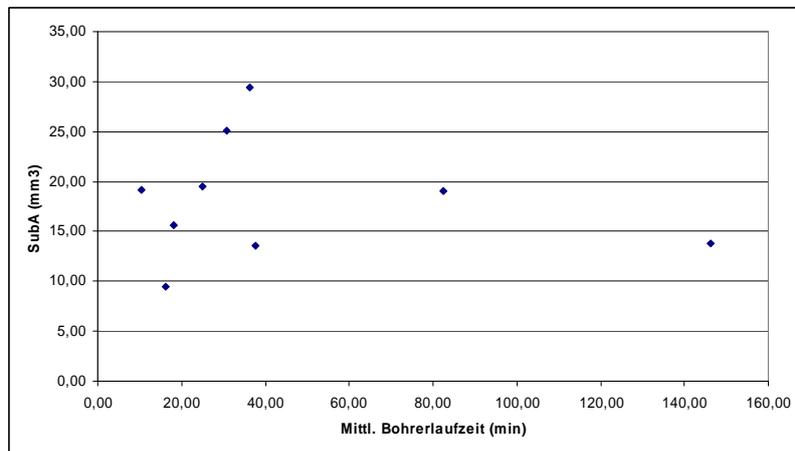


Abb. 15: Zusammenhang zwischen mittlerer Bohrvorlaufzeit und Substanzabtrag

Der Zusammenhang deutet sich eher zur Behandlungszeit an, wie in den Abbildungen 16 und 17 dargestellt wird. Abbildung 17 zeigt den Zusammenhang „ausreißerbereinigt“ immerhin mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,55, d.h. es werden 55% des Substanzabtrages mit der Behandlungszeit erklärt und zwar derart, dass mit zunehmender Behandlungszeit auch der Substanzabtrag ansteigt.

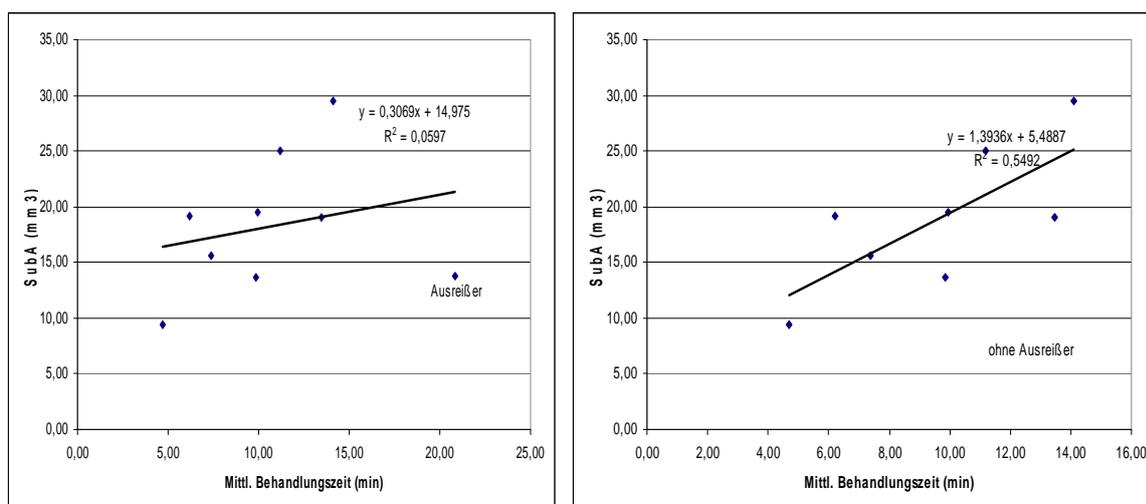


Abb.16 und 17: Zusammenhang zwischen mittlerer Behandlungszeit und Substanzabtrag: Alle Werte (Abb.16 li.) und ohne „Ausreißer“ (Abb.17 re.)

4.3.3 Ranking des Substanzabtrages

Für das Ranking der Ergebnisse für den Substanzabtrag wurden auch hier die Mittelwerte aus der Varianztabelle, beginnend mit den kleinsten Wert geordnet. Werte für einen hohen Substanzabtrag bekamen eine „schlechte Beurteilung“ (Rang 3), Werte für einen niedrigen Substanzabtrag eine „gute Beurteilung“ (Rang 1). Die Rangverteilung erfolgte unter Berücksichtigung der Signifikanzen (Tab.6).

Tab. 6: Mittelwerte und Rangeinstufung des Substanzabtrages(auf Basis ANOVA)

F1xF2	Mittelwert mm³	in Rang
QK	9,46	1
GU	13,62	2
CU	13,77	2
CK	15,62	2
QU	19,08	3
GK	19,15	3
GR	19,53	3
QR	25,04	3
CR	29,46	3

QU: DT Quarz FS/Ultraschall GU: EP Glas FS/Ultraschall
 QR: DT Quarz FS/Rosenb. GR: EP Glas FS/Rosenb.
 QK: DT Quarz FS/DT Kit GK: EP Glas FS/DT Kit

 CU: HT Karb.FS/Ultraschall
 CR: HT Karb.FS/Rosenb.
 CK: HT Karb.FS/DT Kit

4.4 Beschaffenheit der inneren Kanaloberfläche

Die Beeinflussung der inneren Kanaloberfläche und der Kanalform durch die jeweiligen Entfernungsmethoden soll anhand von CT- Bildern veranschaulicht und visuell beurteilt werden.

Wurzelkanalwand nach Stiftentfernung mit dem Rosenbohrer



Abb.18: Glasfaserstift entfernt mit Rosenbohrer und Müllerbohrer



Abb.19: Quarzfaserstift entfernt mit Rosenbohrer

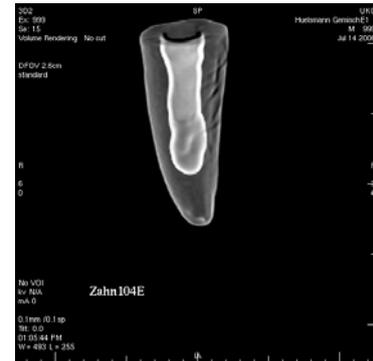


Abb.20: Karbonfaserstift entfernt mit Rosenbohrer



Abb.21: Glasfaserstift entfernt mit Rosenbohrer und Müllerbohrer

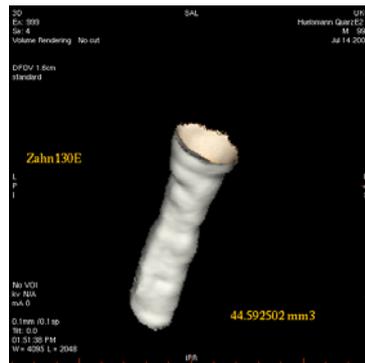


Abb.22: Quarzfaserstift entfernt mit Rosenbohrer



Abb.23: Karbonfaserstift entfernt mit Rosenbohrer

Die Entfernung der Faserstifte mit dem Rosenbohrer verursacht starke Rauigkeiten und große Ausbuchtungen in der Kanalwand (Abb. 18-23). Diese fallen in der Gruppe der Glasfaserstifte durch die Verwendung des grazileren Müllerbohrers etwas geringer aus (Abb. 18 und 21), als bei den Gruppen der Quarz- und Karbonfaserstifte (Abb. 19, 22 und 20, 23). Die Kanalform ist in allen drei Gruppen annähernd zylindrisch, aber mit mehr oder weniger starken Krümmungen. Der apikale Abschluss ist in jeder der drei Gruppen Richtung Guttapercha unförmig ausgebuchtet. Vergleicht man den präparierten Wurzelkanal mit der umgebenen Zahnartsubstanz, kann man feststellen, dass der Substanzabtrag um den eigentlichen Stift sehr hoch und die Methode der Stiftentfernung mit dem Rosenbohrer sehr unpräzise ist.

Wurzelkanalwand nach der Stiftentfernung mit dem DT- Post Entfernungskit



Abb.24: Nach der Entfernung eines Glasfaserstiftes mit dem DT-Entfernungskit



Abb.25: Nach der Entfernung eines Quarzfaserstiftes mit dem DT-Entfernungskit

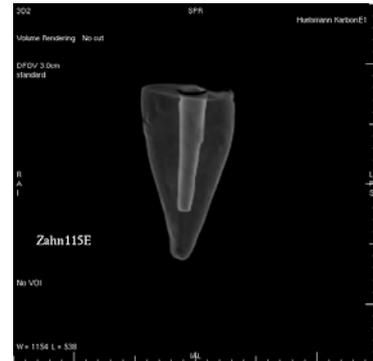


Abb.26: Nach der Entfernung eines Kohlenfaserstiftes mit dem DT-Entfernungskit

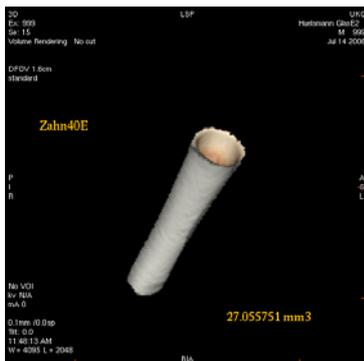


Abb.27: Glasfaserstift entfernt mit DT-Entfernungskit



Abb.28: Quarzfaserstift entfernt mit DT-Entfernungskit

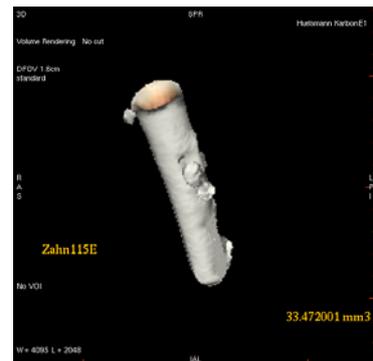


Abb.29: Kohlenfaserstift entfernt mit DT-Entfernungskit

Nach Anwendung des DT-Entfernungskits lassen sich keine erheblichen Unterschiede zwischen den einzelnen Stiftgruppen feststellen. Die Kanalwände stellen sich glatt und geradlinig dar, die Kanalform ist nahezu ebenso zylindrisch-konisch wie der entfernte Stift und endet mit einem ebenen, flächigen apikalen Abschluss (Abb. 24-29). Im Vergleich zur umgebenden Restzahnhartsubstanz erscheint diese Methode sehr präzise.

Wurzelkanalwand nach Stiftentfernung mit Ultraschall



Abb.30: Entfernung eines Glasfaserstiftes mit Ultraschall



Abb.31: Entfernung eines Quarzfaserstiftes mit Ultraschall



Abb.32: Entfernung eines Kohlenstoffstiftes mit Ultraschall

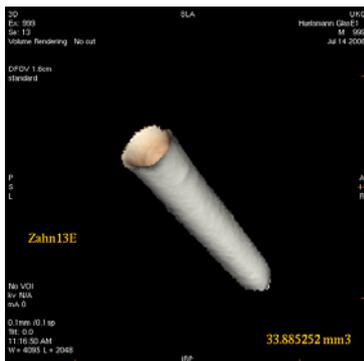


Abb.33: Glasfaserstift entfernt mit Ultraschall



Abb.34: Quarzfaserstift entfernt mit Ultraschall



Abb.35: Kohlenstoffstift entfernt mit Ultraschall

Die Stiftentfernung mit Ultraschall erzeugt in allen Stiftgruppen glatte, gerade Kanalwände ohne Rauigkeiten und einen ebenen bis spitz zulaufenden apikalen Abschluss (Abb.30-35). Die Kanalform ist in allen drei Gruppen mehr oder weniger konisch. Diese Konizität lässt sich mit der Führung der Ultraschallspitze erklären, welche immer wieder in tuffenden Bewegungen an den Kanalwänden nach apikal gleitet. In der Gruppe der Kohlenstoffstifte, in welcher die Stiftentfernung am längsten dauerte, ist die konische Aufweitung im oberen Kanaldrittel folglich besonders stark (Abb. 32 und 35).

4.4.1 Ranking der Beschaffenheit der inneren Kanaloberfläche

Die Gestaltung der inneren Kanaloberfläche und des Wurzelkanalverlaufes wurde ebenfalls mit Rängen bewertet. Starke Rauigkeiten, große Ausbuchtungen, Kanalkrümmungen und ein großer Substanzabtrag im Verhältnis zur umliegenden Zahnhartsubstanz wurden negativ bewertet (Rang 3). Glatte Kanalwände, ein gerader Wurzelkanalverlauf und ein geringer Substanzabtrag im Verhältnis zur umliegenden Zahnhartsubstanz wurden positiv mit einem niedrigen Rang bewertet (Rang 1 und 2). Tabelle 7 zeigt die Rangverteilung für die Beschaffenheit der Kanaloberfläche nach dieser Methode.

Tab. 7: Rangeinstufung der Beschaffenheit der inneren Kanaloberfläche (auf Basis ANOVA)

<i>F1xF2</i>	<i>Rang</i>
<i>QK</i>	1
<i>GK</i>	1
<i>CK</i>	1
<i>QU</i>	2
<i>GU</i>	2
<i>CU</i>	3
<i>CR</i>	3
<i>QR</i>	3
<i>GR</i>	3

QU: DT Quarz FS/Ultraschall	GU: EP Glas FS/Ultraschall
QR: DT Quarz FS/Rosenb.	GR: EP Glas FS/Rosenb.
QK: DT Quarz FS/DT Kit	GK: EP Glas FS/DT Kit
CU: HT Karb.FS/Ultraschall	
CR: HT Karb.FS/Rosenb.	
CK: HT Karb.FS/DT Kit	

4.5 Misserfolge

Via falsa



Abb.36: Via falsa



Abb. 37: Via falsa

Zu einer Via falsa ohne Perforation der Zahnwurzel kam es relativ häufig bei der Entfernung des mittleren und unteren Stiftdrittels (Abb. 36 und 37). Die Via falsa trat in allen Gruppen auf, besonders häufig jedoch in den Gruppen Glasfaserstift/Rosenbohrer (Häufigkeit 44%), Quarzfaserstift/Ultraschall (Häufigkeit 29%) und Quarzfaserstift/ Rosenbohrer (Häufigkeit 31%).

Seitliche Perforation der Wurzelwand



Abb.38: Perforation
mittleres Wurzel Drittel



Abb.39: Perforation
unteres Wurzel Drittel

Zur Perforation kam es ausschließlich im mittleren und apikalen Wurzel Drittel immer in Folge einer Via falsa und eines hohen Substanzabtrages (Abb. 38 und 39).

Zur seitlichen Wurzelfraktur kam es bei allen drei Stiftsystemen bei Anwendung des Rosenbohrers, sowie bei der Entfernung des Quarzfaserstiftes mit Ultraschall. Die höchste Anzahl an Perforationen wurde mit 25% in der Gruppe Quarzfaserstift/Rosenbohrer verzeichnet.

Wurzelfraktur



Abb.40: Wurzelfraktur

Zur Wurzelfraktur kam es in der gesamten Versuchsreihe in nur einem Fall bei der Entfernung eines Quarzfaserstiftes mit dem Rosenbohrer (Abb. 40). Das ergibt eine Häufigkeit von unter einem Prozent aller Versuchsobjekte. Ob die Ursache für die Fraktur jedoch in der Methode liegt, ist fraglich, da bei keiner der überprüften Techniken exzessive Kräfte angewendet wurden. Mögliche Ursachen für die Fraktur könnten bereits präoperativ vorhandene Dentinrisse, Frakturlinien oder Porositäten sein.

4.5.1 Ranking der Misserfolgshäufigkeit

Für das Ranking der Misserfolge galt als Maßstab in erster Linie die Gesamtzahl der Misserfolge in jeder einzelnen Gruppe. Die Gruppen wurden mit aufsteigender Anzahl an Misserfolgen der Größe nach geordnet. Die höchste Anzahl Misserfolge bekam den Rang 3, also die schlechteste Note. Das Vorkommen von Wurzelwandperforationen wurde jedoch schwerer gewichtet. Perforationen gelten als „totaler“ Misserfolg, während eine Via Falsa unter Umständen korrigiert werden und ein Zahn durchaus wiederversorgt werden kann. Tabelle 8 zeigt die Rangverteilung für die Misserfolge. Art und Anzahl der Misserfolge sind in Tabelle 10 des Anhangs aufgeführt.

Tab. 8: Anzahl und Rangfolge der Misserfolge
(auf der Basis ANOVA)

<i>F1xF2</i>	<i>Anzahl Misserfolge</i>	<i>Rang</i>
GU	1	1
GK	1	1
QK	1	1
CU	2	1
CK	2	1
CR	2	2
QU	5	3
QR	6	3
GR	7	3

QU: DT Quarz FS/Ultraschall	GU: EP Glas FS/Ultraschall
QR: DT Quarz FS/Rosenb.	GR: EP Glas FS/Rosenb.
QK: DT Quarz FS/DT Kit	GK: EP Glas FS/DT Kit
CU: HT Karb.FS/Ultraschall	
CR: HT Karb.FS/Rosenb.	
CK: HT Karb.FS/DT Kit	

4.6 Gesamtranking der Kombinationen Stift x Methode

Im Gesamtranking werden alle Ergebnisse in Form der ermittelten Rangfolgen nebeneinander aufgeführt. Zusätzlich fließen auch nicht direkt messbare Erkenntnisse wie die Instrumentenhandhabung und die Beurteilung der inneren Kanaloberfläche in die abschließende Auswertung ein. In der Gesamtbeurteilung bezeichnet wie zuvor bei den Teil-Rankings, der Rang „1“ ein sehr gutes Ergebnis und der Rang „3“ ein schlechtes Ergebnis. Die Tabelle 9 zeigt die abschließende Gesamt- Rangverteilung nach dieser Methode.

Tab. 9: Gesamt-Ranking

<i>F1xF2</i>	<i>Zeit</i>	<i>StZR</i>	<i>SubA</i>	<i>Misserf.</i>	<i>CT</i>	<i>Handhg.</i>	<i>gesamt</i>	<i>Rang</i>
QK	1	3	1	1	1	1	8	1
CK	1	3	2	1	1	1	9	1
GK	1	2	3	1	1	1	9	2
GU	2	3	2	1	2	2	12	2
QU	2	1	3	2	2	2	12	2
CU	3	2	2	1	3	3	14	2
QR	2	1	3	3	3	2	14	3
CR	2	1	3	2	3	3	14	3
GR	2	2	3	3	3	3	16	3

QU: DT Quarz FS/Ultraschall	GU: EP Glas FS/Ultraschall
QR: DT Quarz FS/Rosenb.	GR: EP Glas FS/Rosenb.
QK: DT Quarz FS/DT Kit	GK: EP Glas FS/DT Kit
CU: HT Karb.FS/Ultraschall	
CR: HT Karb.FS/Rosenb.	
CK: HT Karb.FS/DT Kit	

- SubA : Substanzabtrag
- StZR : Stift/ Zementreste
- Misserf. : Misserfolge
- CT : Innere Kanaloberfläche beurteilt
nach CT-Bildern
- Handhabg. : Instrumentenhandhabung

Die Zeit zur Stiftentfernung wurde trotz ihrer teilweisen Abhängigkeit von der Bohrvorlaufzeit im Gesamt-Ranking berücksichtigt, da nachgewiesen werden konnte, dass diese Abhängigkeit keine Auswirkungen auf die Rangfolge der Kombinationen von Stift und Methode hatte.

Aus diesem Grund soll die Behandlungszeit als nicht unerhebliches Merkmal im Abschlussranking das Gesamtbild ergänzen.

Die abschließende Rangverteilung lässt sich wie folgt begründen:

Die Gruppen Quarzfaserstift/ DT-Entfernungskit und Karbonfaserstift/ DT-Entfernungskit wurden mit dem Rang 1 bewertet. Obwohl verhältnismäßig große Mengen an Stift und Zement im Kanal verblieben, konnten die Wurzelstifte in kurzer Zeit bei niedriger Misserfolgsrate und mit geringem Substanzabtrag präzise und einfach entfernt werden. Die Gruppe Glasfaserstift/ DT-Entfernungskit wurde trotz guter Gesamtpunktzahl mit dem Rang 2

bewertet, da hier hohe Werte für den Substanzabtrag verzeichnet werden mussten.

Für die Gruppe Quarzfaserstift/Ultraschall wurde trotz hohen Substanzabtrages der Rang 2 vergeben, da sich die Anzahl der Misserfolge in Grenzen hielt und die Gestaltung der inneren Kanaloberfläche und auch die anderen Merkmale akzeptable Ergebnisse erbrachten.

Die Gruppe Glasfaserstift/Ultraschall erhielt ebenfalls den Rang 2. Die relativ hohen Anteile an Stift-/Zementresten fallen nicht so schwer ins Gewicht und werden durch eine niedrige Misserfolgsrate und akzeptable Resultate bei den übrigen Merkmalen relativiert.

Auch die Gruppe Karbonfaserstift/Ultraschall wurde trotz relativ hoher Gesamtpunktzahl mit dem Rang 2 bewertet. Zwar lässt sich der Karbonfaserstift durch die schwierige Handhabung des Instruments nur sehr uneffektiv entfernen und hinterlässt eine ungünstige Kanalform, aber die Werte für den Substanzabtrag und die Misserfolge sind akzeptabel und gefährden somit nicht den Behandlungserfolg.

Im Gegensatz dazu kam es in allen Gruppen, in denen der Rosenbohrer zu Stifentfernung verwendet wurde, zu einem hohen Substanzabtrag und häufigen Misserfolgen bei gleichzeitiger schlechter Instrumentenhandhabung und ungünstiger Gestaltung der Kanaloberfläche. Die negativen Ergebnisse können trotz effektiver und relativ effizienter Stifentfernung nicht aufgewogen werden. Die Gruppen Glasfaserstift/ Rosenbohrer, Quarzfaserstift/ Rosenbohrer und Karbonfaserstift/ Rosenbohrer wurden aus diesem Grund mit dem Rang 3 bewertet.

5 Diskussion

Ziel der Untersuchung war es, verschiedene Techniken der Entfernung von Wurzelstiften aus Faserverbundmaterialien zu überprüfen. Hierfür wurden drei verschiedene Faserstiftarten (Glasfaser-, Quarzfaser-, Karbonfaserstifte) und drei unterschiedliche Entfernungsmethoden (Rosenbohrer, Ultraschall, DT Post Entfernungskit) ausgewählt. Die einzelnen Entfernungsmethoden wurden auf ihre Handhabung, ihre Effizienz, die Effektivität und den Substanzabtrag untersucht. Zusätzlich wurden nach der Stiftentfernung die Misserfolge, sowie visuell die innere Kanaloberfläche und die Formgebung des Wurzelkanals beurteilt.

Langzeituntersuchungen zu Wurzelfaserstiften zeigen zwar gute Erfolgsraten (FERRARI et al. 2007, SIGNORE et al. 2009), allerdings liegt die Häufigkeit von endodontischen Misserfolgen laut TRONSTAD et al. (2000) bei 19%-46%. Daraus erklärt sich die Notwendigkeit von Studien zur Erforschung von Methoden zur schnellen, effektiven und substanzschonenden Stiftentfernung. Ziel ist es außerdem, eine möglichst universelle Entfernungsmethode zu finden, da in den meisten klinischen Situationen der Behandler mit einem Faserstift unbekanntem Materials konfrontiert wird und stiftspezifische Entfernungskits bei fremden Stiften oft ineffektiv sind.

In den letzten Jahren wurde in einigen Studien vor allem untersucht, wie schnell sich Wurzelfaserstifte mit unterschiedlichen Methoden entfernen lassen (ANDERSON et al. 2007, CORMIER et al. 2001, FRAZER et al. 2008, GESI et al. 2003, LINDEMANN et al. 2005). Nur in wenigen Studien wurde auch überprüft, wie gründlich und in welchem Umfang verschiedene Methoden Wurzelstift und Befestigungszement entfernen (ANDERSON et al. 2007, LINDEMANN et al. 2005). Im Rahmen der ausgewerteten Literatur wurde bisher in keiner Studie näher untersucht, wie schonend die jeweiligen Methoden die Faserstifte entfernen, wie hoch die Rate der Misserfolge ist und wie wesentliche Eigenschaften des Wurzelkanals durch die Instrumente beeinflusst werden.

Die Auswahl und Vorbereitung der Zähne für die Experimente ist identisch oder ähnlich mit der Versuchsvorbereitung anderer Studien (FRAZER et al. 2008, GESI et al. 2003, LINDEMANN et al. 2005). Es wurden ausschließlich einwurzelige Zähne mit geradem Kanalverlauf verwendet, deren Zahnkronen vor der endodontischen Behandlung abgetrennt wurden. Ziel war es, durch annähernde Standardisierung der Versuchsobjekte möglichst gleiche Voraussetzungen zu schaffen. Es muss jedoch bedacht werden, dass natürliche Zahnwurzeln keine identischen Objekte sind und immer eine gewisse Individualität aufweisen (McDONALD et al. 1990). Die Beschaffenheit und Anatomie der Zähne ist u. a. genetisch determiniert, sowie altersabhängigen und funktionalen Veränderungen

unterworfen. Diese Faktoren können die Ergebnisse beeinflussen. Darüber hinaus spielen das Aufbewahrungsmilieu der Zähne, sowie die Dauer der Lagerung eine Rolle. Mit Ausnahme der Versuchsdurchführung wurden die Zähne in Leitungswasser aufbewahrt, wie es auch in diversen anderen Studien praktiziert wurde (GESI et al. 2003, SCHWARZ et al. 1998). Die Lagerung in physiologischer Kochsalzlösung (NERGIZ P. et al. 1993), in 0,1%iger Thymollösung (ATTIN et al. 1994, HEYDECKE et al. 1999) oder in 0,12% Chloramin (ANDERSON et al. 2007) ist ebenfalls möglich.

Voraussetzungen für eine verlässliche statistische Analyse von Versuchsdaten sind die Unabhängigkeit und zufällige Verteilung der Beobachtungen, Befunde bzw. Messergebnisse (SACHS 1969). In der vorliegenden Untersuchung wurde die zufällige Verteilung folgendermaßen realisiert:

Die in Tabelle 1 aufgeführten 153 Zähne wurden zufällig auf drei gleich große Gruppen („Wurzelstiftsystem-Gruppe“, Gruppe I - III) aufgeteilt. Diese drei Gruppen wurden wiederum zufällig in jeweils drei Untergruppen („Entfernungsmethode-Gruppen“ E1 –E9) unterteilt. Die Gruppenbildung zeigt Tabelle 2.

Mit dieser Einteilung werden die oben geschilderten Einflussfaktoren zufällig auf die Behandlungsgruppen verteilt und damit ein systematischer Einfluss auf die Behandlungsgruppen ausgeschlossen. Die genannten, nicht erfassten Unterschiede der Versuchsobjekte gehen damit als zufälliger Fehler in die Untersuchung ein. Die Anzahl der Versuchsobjekte pro Stiftgruppe beträgt 51, jede Untergruppe wiederum enthält 17 Versuchsobjekte. Diese Gruppengröße ist akzeptabel, da andere Studien zur Entfernung von Wurzelfaserstiften mit einer zum Teil weitaus geringeren Anzahl Versuchsobjekte durchgeführt wurden. ANDERSON et al. (2007) verwendeten für ihre Studie über die „Effizienz und Effektivität von Methoden zur Entfernung von Wurzelfaserstiften“ 60 Zähne. LINDEMANN et al. (2005) führten eine Untersuchung zum gleichen Thema an 80 Zähnen durch. FRAZER et al. (2008) und GESI et al. (2003) überprüften die Zeit zur Entfernung von faserverstärkten Kunststoffwurzelstiften an 40 bzw. 60 Versuchsobjekten.

Bei der Auswahl der Wurzelstifte wurde darauf geachtet, dass der Durchmesser und das Design der 3 unterschiedlichen Wurzelstifte annähernd gleich ausfallen. Geringe herstellerbedingte Abweichungen ließen sich jedoch nicht vermeiden. Die Abweichungen liegen in einem Rahmen von 0,03-0,1 Millimetern für den Stiftdurchmesser an der dicksten Stelle. Auch in anderen Studien wurden Wurzelstifte verschiedener Hersteller verwendet, welche dieselben Abweichungen aufweisen (ANDERSON et al. 2007, CORMIER et al. 2001, LINDEMANN et al. 2005).

Aus jeweils 17 Zähnen jeder Stiftgruppe wurde der Wurzelstift mit dem Rosenbohrer entfernt. Der Hartmetallbohrer schneidet alle Faserstifte gut und ist als preisgünstiges Instrument und in jeder Praxis vorhanden. In der Gruppe der Glasfaserstifte kam in den tieferen Kanalabschnitten zusätzlich zum Rosenbohrer ein Müllerbohrer (graziler Rosenbohrer mit langem schmalem Schaft) zum Einsatz. Dieser Hartmetallbohrer konnte bei den Gruppen der Quarzfaser- und Karbonfaserstifte nicht verwendet werden, da er nicht fähig war, die Stifte zu schneiden. Die Verwendung eines überlangen Rosenbohrers als Teil der Entfernungstechnik für die systemeigenen Karbonfaser- und Glasfaserstifte wird auch von der Firma Hahnenkratt beschrieben. In anderen Studien wird ebenfalls die Anwendung verschiedener Hartmetallbohrer zur Stiftenentfernung geschildert (GESI et al. 2003, SAKKAL 1996).

Bei 17 Zahnwurzeln jeder Stiftgruppe wurden das DT Post Entfernungskit zur Stiftenentfernung angewendet. Das DT Entfernungskit ist so konstruiert, dass der Carbide-Bohrer durch eine Vorbohrung sofort Halt findet und damit leicht zu führen ist. Der Bohrer schneidet sich von selbst in die Tiefe und höhlt den Stift von innen aus. Bei niedriger Drehzahl und ohne Wasserkühlung entstehen je nach Stiftart unterschiedlich lange Späne, die beim Bohrvorgang abfallen. Das gewährleistet eine gute Sicht und erspart zeitaufwändiges Spülen. Das DT Post Entfernungskit wurde von der Firma VDW für die systemeigenen Wurzelstifte entwickelt. In der vorliegenden Studie wurden aber auch Wurzelstifte anderer Faserverbundmaterialien und Hersteller damit entfernt. Mit dem DT-Entfernungskit konnten bereits in Studien von ANDERSON et al. (2007) und GESI et al. (2003) erfolgreich systemeigene, aber auch Wurzelfaserstifte anderer Hersteller erfolgreich und effizient entfernt werden. Wie GESI et al. (2003) beschrieben, ist die Interaktion zwischen der Art des Stiftes und des Entfernungskits hierbei nicht signifikant, betrachtet man ausschließlich die Effizienz der Methoden. Diese Tatsache kann mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie für die Zeit zur Entfernung und auch für den Substanzabtrag bestätigt werden, nicht jedoch für die Effektivität. Bei der Untersuchung, wie gründlich Stift und Zement entfernt werden, fällt auf, dass zum Beispiel die Entfernung der Karbonfaserstifte mit dem DT Post Entfernungskit signifikant ineffektiver ist als die der Glasfaserstifte. Allerdings verzerren in der Gruppe Karbonfaserstift/DT-Entfernungskit vier sehr hohe „Ausreißer“ von insgesamt 17 Werten das Ergebnis. Der statistisch ermittelte signifikante Unterschied muss deshalb kritisch betrachtet werden.

Ultraschall wird häufig zur Entfernung von Wurzelstiften aus Metall verwendet, welche mit konventionellen Zementen im Wurzelkanal verankert sind (CASTRISOS und ABBOTT 2002). Das Ziel dieser Technik ist das Lösen der Zementpartikel durch die Ultraschallwirkung und

damit eine Verringerung der Retention und Lockerung des Stiftes. Die Verringerung der Retention von Faserstiften, die mit Hilfe von Adhäsivtechnik eingesetzt wurden, konnte in der vorliegenden Studie mit Ultraschall nicht erreicht werden. Zu diesem Ergebnis kamen auch PETERS et al. (1996), denen es ebenfalls nicht gelang, adhäsiv zementierte Karbonfaserstifte mittels Ultraschall zu lockern. In der Studie von LINDEMANN et al. (2005) konnten jedoch adhäsiv zementierte Faserstifte erfolgreich mit Hilfe von Diamantbohrern und Ultraschall entfernt werden.

Das Vorgehen in der vorliegenden Arbeit unterscheidet sich dahingehend, dass mit Hilfe einer diamantbesetzten Ultraschallspitze der Wurzelfaserstift und die Zementfuge Stück für Stück abgetragen wurden. Die Ultraschallspitzen des Endo-Success-Kits (Acteon Germany) sind laut Herstellerangaben zur Entfernung von Füllungsmaterialien, Silberstiften und frakturierten Wurzelkanalinstrumenten geeignet.

Zur Entfernung eines jeden Stiftes wurde nicht immer ein neuer Bohrer bzw. eine neue Ultraschallspitze verwendet. Bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse zur Effizienz zeigten sich in 2 Gruppen (Quarzfaserstift/Ultraschall, Karbonfaserstift/ DT-Entfernungskit) signifikante Abhängigkeiten zur Bohrervorlaufzeit (Summe der Zeitdauer, in der das Instrument schon zuvor eingesetzt wurde). Das heißt, dass mit zunehmender Arbeitszeit des Instruments auch die Behandlungszeit zunimmt, wahrscheinlich durch das Abstumpfen des Bohrers bzw. der Ultraschallspitze. In einer darauf folgenden Auswertung fanden nur die Zeitwerte der Versuchsobjekte Berücksichtigung, in denen die Vorlaufzeit „0“ betrug, also ein neues Instrument verwendet worden war. Diese zweite Auswertung brachte Aufschluss darüber, dass das „Gruppen-Ranking“ für die Effizienz trotz statistischer Signifikanzen nicht durch die Bohrervorlaufzeit beeinträchtigt wird. Aus diesem Grund flossen die Ergebnisse für die Zeit zur Stiftentfernung in die Gesamtbeurteilung ein. Über die Anzahl der Anwendungen der Instrumente zur Stiftentfernung in anderen Studien konnten keine Angaben gefunden werden.

Zur klinischen Anwendung wird jedoch empfohlen, für jede Stiftentfernung ein neues Instrument zu verwenden.

Bei GESI et al. (2003) konnten Wurzelstifte aus Faserverbundmaterialien in Arbeitszeiten von unter einer Minute und bei ANDERSON et al. (2007) in weniger als drei Minuten entfernt werden. Die niedrigen Zeitwerte sind darauf zurückzuführen, dass nur die Zeit gemessen wurde, die benötigt wurde, um den Faserstift soweit zu entfernen, bis ein apikaler Zugang zur Guttapercha geschaffen war. In der vorliegenden Arbeit war es, wie auch bei LINDEMANN et al. (2005) das Ziel, in allen Zahnwurzeln Stift- und Befestigungszement möglichst vollständig zu entfernen. Daraus ergeben sich die im Vergleich zu der Studie von GESI et al. (2003) und ANDERSON et al. (2007) längeren Behandlungszeiten. Bei

LINDEMANN et al. (2005) lagen die Zeitwerte zur Stiftentfernung durchschnittlich zwischen ca. 4 min 15 min für die Verwendung der speziellen Entfernungskits. Im Vergleich dazu liegen die Zeit-Mittelwerte der vorliegenden Studie für die Verwendung des DT-Post-Entfernungskits zwischen 5 min und 7 min.

Unterschiede in den Behandlungszeiten lassen sich außerdem mit unterschiedlichen Insertionstiefen der Wurzelstifte begründen. In dieser Studie und bei GESI et al. (2003) war der im Wurzeldentin verankerte Stift 10mm lang, bei ANDERSON et al. (2007) 9mm und bei LINDEMANN et al. (2005) 8mm.

Zur Revision faserverstärkter Wurzelstifte werden von Herstellern verschiedene Methoden empfohlen und unter anderem wurden spezielle Entfernungskits für die systemeigenen Wurzelstifte entwickelt. Die Kits bestehen meistens aus einer Abfolge von Hartmetallbohrern, mit denen zuerst ein Orientierungsloch in den Stift gebohrt und dann der Stift von innen ausgehöhlt wird (ANDERSON et al. 2007, FISCHER-BRANDIES 1988, FRAZER et al. 2008, LINDEMANN et al. 2005, PETERS et al. 1996, DE RIJK 2000, SAKKAL 1996). Dabei soll die spezielle Struktur der Faserstifte, mit ihren parallel verlaufenden Fasern als Leitstrang für die Instrumente, die Revision erleichtern.

Nach diesem Prinzip funktioniert auch das DT-Entfernungskit. Mit einem zylindrischen Diamant-Vorbohrer wird in der Mitte des Stiftes ein Orientierungsloch angelegt, in welchem der Carbido Bohrer angesetzt wird.

Bei der Verwendung der Ultraschallspitze und des Rosenbohrers wurde ähnlich vorgegangen. Beide Instrumente wurden zentral auf den Stift aufgesetzt bis ein Orientierungsloch geschaffen war, in welchem der Bohrer bzw. die Ultraschallspitze Halt hatte. Dann wurde im Urzeigersinn von innen nach außen zu den Kanalwänden und nach apikal gearbeitet.

Die Effektivität der Entfernungsmethoden wurde bei ANDERSON et al. (2007) und bei LINDEMANN et al. (2005) nach vertikaler Spaltung der Zahnwurzel unter dem Lichtmikroskop bestimmt. Die Menge der Stift- und Zementreste wurde in Prozent geschätzt und anhand einer Punkteskala von 1 bis 5 beurteilt.

In der vorliegenden Studie erfolgte die Untersuchung der Effektivität und des Substanzabtrages mit Hilfe von Volumenberechnungen an 3D-Rekonstruktionen von CT-Scans, die von allen Zähnen mit dem fpVCT angefertigt wurden.

Bei dem fpVCT (flat panel volumetric computed tomography) handelt es sich um einen nicht klinischen Geräteprototyp. Die Bildbearbeitung und Volumenberechnungen an den fanden an einer Workstation statt (voxtool 3.0.64z, GE HealthCare, Buc, Frankreich). Das fpVCT ermöglicht eine gesteigerte isotrope Ortsauflösung (ca. 3,6 Linienpaare/mm), was eine

genauere Volumenbestimmung von isolierten Geweben ermöglicht. Aus diesem Grund findet es vor allem in Untersuchungen von Tumorgeweben zu Forschungszwecken (MISSBACH-GUENTNER et al. 2007), aber auch bei der Evaluation von Zahnstrukturen Anwendung (HEIDRICH et al. 2005).

Da die Karbonfaserstifte die Röntgenstrahlung zu stark absorbieren, war es notwendig, die Schwächungswerte zu reskalieren. Somit konnten auch Volumenberechnungen an den CT-Bildern der Gruppen durchgeführt werden, in denen Karbonfaserstifte verwendet wurden.

Zur Fehlerabschätzung der CT-Berechnungen wurden Wiederholungsmessungen mit einer Zahnwurzel Nr. 0 unternommen (Tab.11, Anhang).

LINDEMANN et al. (2005) kamen bei ihren Auswertungen zur Effektivität der Entfernungsmethoden zu folgendem Ergebnis: Das DT-Post-Entfernungskit entfernt die Faserstifte zwar effizient aber ineffektiver als die Methode Diamant und Ultraschall. Die Untersuchungen von ANDERSON et al. (2007) führten zu ähnlichen Ergebnissen. Hier konnten Stift und Zementreste mit der Methode Diamant und Peeso Reamer gründlicher entfernt werden, als mit dem DT-Post-Entfernungskit. Das gleiche Phänomen bestätigt sich auch in der vorliegenden Studie. Das DT-Post-Entfernungskit entfernt den Faserstift zwar effizient, aber signifikant ineffektiver als die Methoden Ultraschall oder Rosenbohrer.

LINDEMANN et al. (2005) fiel auf, dass alle Methoden zur Stiftentfernung zu einer leichten Wurzelkanalerweiterung führten und ANDERSON et al. (2007) beschrieben die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen zum Substanzabtrag am Wurzeldentin.

Aus diesem Grund wurde in der hier vorliegenden Studie großer Wert darauf gelegt, möglichst genau den Substanzabtrag durch die unterschiedlichen Behandlungsmethoden und die damit zusammenhängenden Misserfolge wie Via falsa und Wurzelwandperforationen zu untersuchen.

Als Mittel zur Auswertung und Veranschaulichung der Ergebnisse wurde ein „Ranking“ (Rangabfolge) gewählt. Hierbei wurden die Mittelwerte aus der Varianztabelle der Größe nach aufsteigend geordnet. Dabei wurde der beste Wert mit Rang „1“ und der schlechteste Wert mit Rang „3“ bezeichnet. Bei der Verteilung der Ränge für Effizienz, Effektivität und Substanzabtrag wurden signifikante Unterschiede der Mittelwertdifferenzen berücksichtigt. Auch die Häufigkeit der Misserfolge und nicht messbare Parameter wie die Gestaltung der Kanalwand und die Instrumentenhandhabung wurden zur besseren Beurteilung mit Rängen bewertet. Alle Rangbewertungen wurden abschließend in einer Gesamtrankingtabelle zusammengeführt. Dabei werden folgende Zusammenhänge deutlich:

Eine schwierige Handhabung des Instruments verursacht erwartungsgemäß eine längere

Arbeitszeit, wie in der Gruppe Karbonfaserstift/Ultraschall zu erkennen ist. Eine gute Instrumentenhandhabung hingegen führt zu kurzen Behandlungszeiten, wie in allen Stiftgruppen, in welchen das DT-Entfernungskit Verwendung fand. Die Behandlungszeit korreliert außerdem mit dem Substanzabtrag. Ein geringer Anteil von Stift- und Zementresten kann mit einem hohen Substanzabtrag im Bereich des Wurzelkanalidentins verbunden sein, wie in den Gruppen Quarzfaserstift/Rosenbohrer und Glasfaserstift/Rosenbohrer zu erkennen ist. Umgekehrt können große Mengen Stift-/Zementreste mit einem geringen Substanzabtrag begründet werden (Quarzfaserstift/DT-Entfernungskit).

Da das Ziel der Therapie eine Neuversorgung des Zahnes ist, sollte in keinem Fall die Effektivität ohne den Substanzabtrag betrachtet werden. Eine effektive Methode, die aber zu hohem Substanzabtrag führt, kann die Möglichkeit einer Wiederversorgung gefährden. In diesem Fall wäre eine ineffektive, Zahnhartsubstanz schonende Methode zu bevorzugen, solange ein apikaler Zugang gewährleistet ist.

Eine hohe Anzahl von Misserfolgen ist immer die Folge eines hohen Substanzabtrags (Quarzfaserstift/Ultraschall, Quarzfaserstift/ Rosenbohrer, Glasfaserstift/ Rosenbohrer). Eine ungünstige Kanalform (z.B. starke Krümmungen, Rauigkeiten) ist in allen Stiftgruppen als Folge der schwierigen Handhabung des Rosenbohrers zu beobachten. In der Gruppe Karbonfaserstift/Ultraschall lässt sich eine ungünstige Kanalform mit starker konischer Aufweitung im oberen Kanaldrittel wiederum von langen Arbeitszeiten ableiten. Die Ultraschallspitze schneidet sich durch den Karbonfaserstift nur schwer in die Tiefe. Daher waren die „Berührungszeiten“ des Instruments mit der Kanalwand in den koronalen Kanalabschnitten, aus denen der Stift zeitiger entfernt worden war, größer und der Substanzabtrag in diesen Bereichen folglich höher.

Die dargelegten Zusammenhänge machen deutlich, dass durch die Beurteilung von einem oder zwei Merkmalen alleine keine zuverlässige Eignung von Methoden zur Entfernung einer bestimmten Stiftart abgeleitet werden kann. Denn auch wenn mit einer Methode ein Wurzelstift in kürzester Zeit effektiv entfernt wird, gibt das keinen Aufschluss darüber, ob es in der Versuchsgruppe zum Beispiel zu einem hohen Substanzabtrag im Bereich des Wurzelidentins oder sogar zu einer Perforation der Wurzelwand kam. Dieser Aspekt ist gerade für eine Neuversorgung des Zahnes mit einem neuen Wurzelstift besonders wichtig.

Alle drei Faserstiftarten ließen sich am effizientesten mit dem DT Post Entfernungskit entfernen. Auf Grund der guten Schneidleistung und der einfachen Führung des Carbidebohrers konnten alle drei Typen faserverstärkter Wurzelkanalstifte bei einer geringen Misserfolgsrate in durchschnittlich weniger als 7 Minuten entfernt werden. Wie präzise die Entfernung nicht nur der systemeigenen Stifte mit dem DT Entfernungskit ist, lässt sich gut in

den CT Bildern erkennen (Abb. 24-29). Auffällig ist, dass das DT Post Entfernungskit besonders bei der Entfernung des Quarzfaser- und des Karbonfaserstiftes sehr ineffektiv ist. Das heißt, dass zwar ein apikaler Zugang zur Guttapercha geschaffen werden konnte, aber noch große Teile des Stiftes sowie Zementreste an den Wurzelwänden verbleiben. Zu diesem Ergebnis kamen auch ANDERSON et al. (2007).

Die besten Ergebnisse für die Effektivität erbrachten sowohl der Rosenbohrer und die Ultraschallspitze bei der Entfernung des Quarzfaserstiftes, als auch die Methode Rosenbohrer bei der Entfernung des Karbonfaserstiftes. In allen drei Fällen war jedoch die gründliche Reinigung der Kanalwände mit einem hohen Substanzabtrag und häufigen Misserfolgen verbunden. Zum Beispiel kam es in den oben genannten Gruppen bei durchschnittlich 35% der Versuchsobjekte zu einer Via falsa und in der Gruppe Quarzfaser/Rosenbohrer sogar bei 25% der Zähne zu einer Wurzelperforation.

Das DT Post Entfernungskit ist den Methoden Ultraschall und Rosenbohrer bei der Entfernung der Quarzfaserstifte und Karbonfaserstifte überlegen.

Bei der Entfernung der Glasfaserstifte ist keine der Methoden als optimal einzustufen. Die Methoden DT-Post-Entfernungskit und die Sonic Flex Ultraschallspitze können hier als gleich geeignet angesehen werden, jedoch mit unterschiedlichen Vor- und Nachteilen. Während die Entfernung mit dem Kit effizienter und etwas einfacher durchführbar ist, fällt im Vergleich dazu der Substanzabtrag bei der Methode Ultraschall geringer aus. Ein bedeutender Vorteil des DT-Post Entfernungskits ist, dass sich nicht nur systemeigene Wurzelstifte entfernen lassen, sondern in gleichem Maße auch Stifte anderer Hersteller und verschiedener Faserverbundmaterialien.

Die Verwendung der Sonic Flex Ultraschallspitze zeigt bei der Entfernung der verschiedenen Faserstifte sehr unterschiedliche Vor- und Nachteile. Die Revision der Karbonfaserstifte mit der Ultraschallspitze ist mit durchschnittlichen Arbeitszeiten von ca. 21 Minuten im Vergleich zu allen anderen Versuchsgruppen sehr ineffektiv. Die Entfernung der Glasfaserstifte mit der Sonic Flex Ultraschallspitze ist hingegen ineffektiv ineffektiv und die der Quarzfaserstifte hat einen hohen Substanzabtrag zur Folge.

Auf Grund eines sehr hohen Substanzabtrags (zum Teil bis über 100%-200% Kanalvolumenvergrößerung) und einer hohen Anzahl von Misserfolgen, birgt die Stiftentfernung mit dem Rosenbohrer bei allen in der Studie verwendeten Wurzelstiften ein hohes Risiko. Zur Entfernung faserverstärkter Wurzelstifte ist deshalb von der Verwendung des Rosenbohrers abzuraten, da sich andere Methoden als deutlich besser und sicherer erwiesen haben.

Tab. 12: Zusammengefasste Untersuchungsergebnisse

Stift / Methode	Kurzbezeichnung	Vorteile	Nachteile	Stift x Methode
Quarzfaserstift/ DT Entfernungskit	QK	Effizient, präzise*, geringer Substanzabtrag, niedrige Misserfolgsrate, gute Instrumentenhandhabung	Ineffektiv	Gut geeignet
Karbonfaserstift/ DT Entfernungskit	CK	Effizient, präzise, niedrige Misserfolgsrate, gute Instrumentenhandhabung	Ineffektiv	Gut geeignet
Glasfaserstift/ DT Entfernungskit	GK	Effizient, präzise, niedrige Misserfolgsrate, gute Instrumentenhandhabung	Hoher Substanzabtrag	Bedingt geeignet
Glasfaserstift/ Ultraschall	GU	Niedrige Misserfolgsrate	Ineffektiv	Bedingt geeignet
Quarzfaserstift/ Ultraschall	QU	Effektiv	Hoher Substanzabtrag	Bedingt geeignet
Karbonfaserstift/ Ultraschall	CU	Niedrige Misserfolgsrate	Ineffizient, unpräzise , schwierige Instrumentenhandhabung,	Bedingt geeignet
Quarzfaserstift/ Rosenbohrer	QR	Effektiv	Hoher Substanzabtrag, hohe Misserfolgsrate, unpräzise	Nicht geeignet
Karbonfaserstift/ Rosenbohrer	CR	Effektiv	Hoher Substanzabtrag, unpräzise, schlechte Instrumentenhandhabung	Nicht geeignet
Glasfaserstift/ Rosenbohrer	GR	-	Hoher Substanzabtrag, hohe Misserfolgsrate, unpräzise, schlechte Instrumentenhandhabung	Nicht geeignet

* Präzise= Gute Gestaltung der inneren Kanaloberfläche und der Kanalform

Die in dieser Arbeit angegebenen Empfehlungen von Methoden zur Entfernung von Quarzfaser-, Glasfaser- und Karbonfaserstiften basieren ausschließlich auf den Ergebnissen der vorliegenden Studie.

Bei der Anwendung der verschiedenen Entfernungsmethoden kam es in einzelnen Gruppen zu einer teilweise deutlichen Erwärmung der Wurzeloberfläche. Nähere Untersuchungen dazu, ähnlich der Studie von SATTERTHWAITTE et al. (2003), die den Temperaturanstieg an der Wurzeloberfläche untersuchten, welcher durch die Applikation von Ultraschall an intraradikulären Edelstahl- und Keramikwurzelstiften auftritt, könnten in Hinsicht auf eine eventuelle Schädigung des Parodontes sinnvoll sein.

Da alle Methoden zur Stiftentfernung in mindestens einem untersuchten Merkmal schlechte Resultate erzielten (Tab. 12), ist zu überlegen, ob es nicht sinnvoll wäre, zwei Methoden zu kombinieren. Somit könnte unter Umständen eine noch bessere, das heißt schnellere, effektivere und substanzschonendere Stiftentfernung gewährleistet werden. Zu diesen Überlegungen kamen auch LINDEMANN et al. (2005). Zum Beispiel könnte nach der Stiftentfernung mit dem DT-Post-Entfernungskit die Sonic Flex Ultraschallspitze dazu verwendet werden, die Kanalwände von Stift- und Zementresten zu reinigen. Auch hierzu könnten weitere Studien von Nutzen sein.

6 Zusammenfassung

Das Ziel der Studie war die Eignung von drei verschiedenen Methoden zur Entfernung von drei unterschiedlichen faserverstärkten Wurzelkanalstiften zu überprüfen.

Hierzu wurden 153 einwurzelige Zähne mit geradem Wurzelverlauf und nur einem Wurzelkanal verwendet. Alle Zähne wurden an oder apikal der Schmelz-Zementgrenze dekapiert, sodass alle Zahnwurzeln eine einheitliche Länge von 15 Millimetern aufwiesen. Sämtliche Wurzelkanäle wurden nach geltenden Maßstäben maschinell bis zu bis zur Größe 02.35 aufbereitet und abgefüllt. Die Verteilung der Versuchsobjekte auf drei Hauptgruppen mit je 51 Zahnwurzeln erfolgte zufällig. Anschließend wurde jeder Zahn mit einem Wurzelstift aus Faserverbundmaterial annähernd gleichen Durchmessers versehen. Hierzu fanden in Gruppe I Glasfaserstifte (Easy Post; Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) Anwendung, in Gruppe II Quarzfaserstifte (DT White Post;VDW GmbH, München) und in Gruppe III die Cytac Karbonfaserstifte der Hahnenkratt GmbH, Königsbach-Stein.

Nach der Präparation des Stiftbettes mit den systemeigenen Vorbohrern wurden die Wurzelstifte in einer Insertionstiefe von 10mm adhäsiv mit einem Kompomer-Luting-Zement (Dyract Cem Plus Opaque Powder, Dentsply) im Wurzelkanal verankert.

Nach abgeschlossener Vorbereitung der Versuchsobjekte erfolgte eine weitere Aufteilung der Hauptgruppen in jeweils drei Untergruppen mit je 17 Zähnen. In der jeweils ersten Untergruppe wurden die Wurzelstifte mit einer diamantierten Ultraschallspitze (Sonicflex Endospitze Nr. 67; KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß) entfernt. Zur Stiftenentfernung in der zweiten Untergruppe wurde ein Rosenbohrer und in der dritten Untergruppe das DT-Post-Entfernungsset (VDW GmbH, München) verwendet.

Um ein möglichst umfassendes Bild über die Eignung der Methoden zu erhalten, wurden folgende Merkmale untersucht: Als erstes wurde mit einer Stoppuhr die Zeit zur vollständigen Entfernung von Wurzelstift und Befestigungszement gemessen und Bewertungen zur Instrumentenhandhabung vorgenommen. Die Effektivität der Methoden (Anteile von Stift- und Befestigungszementresten) und der Substanzabtrag am Wurzelkern wurden anschließend durch Volumenberechnungen an 3-D-Rekonstruktionen der CT-Scans ermittelt.

Diese waren zuvor mit Hilfe eines fpVCTs (flat panel volumetric computed tomography; GE, Global Research, Niskayuna, NY, USA)

von allen Zähnen jeweils vor und nach der Stiftenentfernung angefertigt worden.

Mit Hilfe der CT- Bilder konnten außerdem eindeutig Misserfolge diagnostiziert und die Beschaffenheit der inneren Wurzelkanaloberfläche nach der Stiftenentfernung bewertet werden.

Zur Auswertung und Veranschaulichung der Ergebnisse wurden sämtliche Merkmale mit

Rangfolgen (Ranking) „zensiert“. Bei den metrisch erlangten Mittelwerten erfolgte die Rangverteilung unter Berücksichtigung der Signifikanzen. In einer Gesamtrankingtabelle wurden die Einzelrankings der unterschiedlichen Merkmale gegeneinander aufgeführt und zu einem abschließenden Ranking der Stift-Methoden-Eignung zusammengefügt.

Mit dem DT-Post-Entfernungskit ließen sich alle drei Faserstifte, bei einfacher Instrumentenhandhabung, in unter acht Minuten revidieren. Jedoch musste bei der Entfernung der Glasfaserstifte ein hoher Substanzabtrag verzeichnet werden. Karbonfaserstifte und Quarzfaserstifte entfernt das DT-Post-Entfernungskit sehr ineffektiv. Aber die Methode erwies sich als präzise, d.h. sie hinterlässt einen geraden Wurzelkanal mit glatten geraden Wänden und die Misserfolgsrate fiel gering aus.

Die Entfernung der Glasfaserstifte mit dem Ultraschallinstrument ergab für alle Merkmale mittelmäßige Werte (Rang 2) bei niedriger Misserfolgsrate. Die Entfernung der Quarzfaserstifte mit Ultraschall ist effektiv, jedoch musste in dieser Gruppe ein hoher Substanzabtrag und eine hohe Anzahl Via falsa verzeichnet werden. Die Entfernung der Karbonfaserstifte mit Ultraschall stellte sich als die schwierigste und zeitintensivste Methode dar, die aber, trotz geringer Anzahl Misserfolge, zu einem relativ hohen Substanzabtrag im oberen Kanaldrittel führte.

Die Entfernung der Wurzelstifte mit dem Rosenbohrer schnitt von den drei überprüften Methoden am schlechtesten ab. Die Stiftentfernung war zwar relativ effizient und effektiv, allerdings kam es bei Anwendung dieser Methode zu einem hohen Verlust an Zahnhartsubstanz. Die schwierige Instrumentenhandhabung und der oft sehr hohe Substanzabtrag führten besonders in den Gruppen der Quarzfaser- und Glasfaserstifte häufig zu Via falsa und Wurzelwandperforationen. In den Gruppen Quarzfaser- und Karbonfaserstift kam es zu starken Abweichungen von der natürlichen Kanalform.

Als Schlussfolgerung der vorliegenden Studie kann festgestellt werden, dass sich im Vergleich der überprüften Methoden das DT-Post-Entfernungskit am besten zur Entfernung von faserverstärkten Wurzelstiften eignet.

Aufgrund eines zum Teil extrem hohen Substanzabtrages und einer hohen Anzahl von Misserfolgen ist dagegen von der Verwendung des Rosenbohrers zur Entfernung von Wurzelfaserstiften abzuraten.

7 Literaturverzeichnis

Abbott PV (2002):

Incidence of root fractures and methods used for post removal.
Int Endod J 35, 63-637.

Adanir N, Belli S (2008):

Evaluation of different post lengths' effect on fracture resistance of a glass fiber post system.
Eur J Dent 2, 23-8

Akagawa Y, Ichikawa Y, Nikai H, Tsuru H (1993):

Interface histology of unloaded and early loaded partially stabilized zirconia endosseous implant in initial bone healing.
J. of Prosthetic Dentistry 69, 599-604

Alfredo E, Garrido AD, Souza-Filho CB, Correr-Sobrinho L, Sousa-Neto MD (2004):

In vitro evaluation of the effect of core diameter for removing radicular post with ultrasound.
J Oral Rehabil 31, 590-594.

Altshul JH, Marshall G, Morgan LA, Baumgartner JC (1997):

Comparison of dentinal crack incidence and of post removal time resulting from post removal by ultrasonic or mechanical force.
J Endod 23, 683-686

Alves J, Walton R, Drake D (1998):

Coronal leakage: endotoxin penetration from mixed bacterial communities through obturated, post-prepared root canals.
J Endod 24, 587-591

Anderson GC, Perdigão J, Hodges JS, Bowles WR (2007):

Efficiency and effectiveness of fiber post removal using 3 techniques.
Quintessence Int 38, 663-670

Arvidson K, Wróblewski R (1978):

Migration of metallic ions from screwposts into dentin and surrounding tissues.
Scand J Dent Res 86, 200-205

Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T (1999):

Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts.

J Dent 27, 275- 278

Assif D, Gorfil C (1994):

Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth.

J Prosthet Dent 71, 565-567

Assif D, Oren E, Marshak BL, Aviv I (1989):

Photoelastic analysis of stress transfer by endodontically treated teeth to the supporting structure using different restorative techniques.

J Prosthet Dent 61, 535-543

Assif D, Bitenski A, Pilo R, Oren E (1993):

Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns.

J Prosthet Dent 69, 36-40

Attin T, Hellwig E, Hilgers RD, Zimmermann U (1994):

Fracture toughness of pin-retained class 4 restorations.

Oper Dent 19, 110-115

Ausiello P, De Gee AJ, Rengo S, Davidson CL (1997):

Fracture resistance of endodontically-treated premolars adhesively restored.

Am J Dent 10, 237-241

Bachicha WS, DiFiore PM, Miller DA, Lautenschlager EP, Pashley DH (1998):

Microleakage of endodontically treated teeth restored with posts.

J Endod 24, 703-708

Barkhordar RA, Radke R, Abbasi J (1989):

Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture.

J Prosthet Dent 61, 676-678

Baumann MA:

Die Wurzelkanalfüllung.

In: Heidemann D (Hrsg.) Endodontie, Urban & Fischer Verlag, München Jena, 2001, 123-164

Bergman B, Lundquist P, Sjögren U, Sundquist G (1989):

Restorative and endodontic results after treatment with cast posts and cores.

J Prosthet Dent 61, 10-15

Bourgeois RS, Lemon RR (1981):

Dowel space preparation and apical leakage.

J Endod 7, 66-69

Brandt M, Stiefel A, Schaller HG (2001):

Wirkungen von Spüllösungen für die endodontische Behandlung

ZWR 110, 124-129

Byström A, Sundqvist G (1981):

Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy.

Scand J Dent Res 89, 321-328

Cagidiaco MC, Goracci C, Garcia-Godoy F, Ferrari M (2008):

Clinical studies of fiber posts: a literature review.

Int J Prosthodont 21, 328-336

Caputo AA, Standlee JP, Collard EW (1973):

The mechanics of load transfer by retentive pins.

J Prosthet Dent 29, 442-449

Castrisos T, Abbott PV (2002):

A survey of methods used for post removal in specialist endodontic practice.

Int Endod J 35, 172-180

Cathro PR, Chandler NP, Hood JA (1996):

Impact resistance of crowned endodontically treated central incisors with internal composite cores.

Endod Dent Traumatol 12, 124-128

Chan FW, Harcourt JK, Brockhurst PJ (1993):

The effect of post adaptation in the root canal on retention of posts cemented with various cements.

Aust Dent J 38, 39-45

Chandler NP, Qualtrough AJ, Purton DG (2003):

Comparison of two methods for the removal of root canal posts.

Quintessence Int 34, 534-536.

Christel P, Meunier A, Heller M, Torre JP, Peille CN (1989):

Mechanical properties and short-term in-vivo evaluation of yttrium-oxide-partially-stabilized zirconia.

J Biomed Mater Res 23, 45-61

Christensen GJ (1998):

Posts and cores: state of the art.

J Am Dent Assoc 129, 96-97

Cormier CJ, Burns DR, Moon P (2001):

In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration.

J Prosthodont 10, 26-36

Creugers NH, Mentink AG, Käyser AF (1993):

An analysis of durability data on post and core restorations.

J Dent 21, 281-284

D'Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D'Amario M (2007):

The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system..

J Prosthet Dent 98, 193-198

Dean JP, Jeansonne BG, Sarkar N (1998) :

In vitro evaluation of a carbon fiber post.

J Endod 24, 807-810

de Rijk WG (2000):

Removal of fiber posts from endodontically treated teeth.

Am J Dent 13, 19B-21B

Deutsch AS, Musikant BL, Cavallari J, Silverstein L, Lepley J, Ohlen K, Lesser M (1985):

Root fracture during insertion of prefabricated posts related to root size.

J Prosthet Dent 53, 786-789

DGZMK, DGZ (2002)

Wissenschaftliche Stellungnahme: Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

www.dgz-online.de 1 ,8 (recherchiert am 24.10.2009)

Dietschi D, Romelli M, Goretti A (1997):

Adaptation of adhesive posts and cores to dentin after fatigue testing.

Int J Prosthodont 10, 498-507

Dominici JT, Clark S, Scheetz J, Eleazer PD (2005):

Analysis of heat generation using ultrasonic vibration for post removal.

J Endod 31, 301-303

Dummer PM, McGinn JH, Rees DG (1984):

The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen.

J Endod 17, 192-198

Duncan JP, Pameijer CH (1998):

Retention of parallel-sided titanium posts cemented with six luting agents: an in vitro study.

J Prosthet Dent 80, 423-428

Duret B, Reynaud M, Duret F (1990) :

New concept of coronoradicular reconstruction: The Composipost (1)

Chir Dent Fr 60, 131-41

Edelhoff D, Spiekermann H, Yildirim M (2000):

Klinische Erfahrungen mit konfektionierten Wurzelstiften und individuellen Stumpfaufbauten aus Keramik.

Dtsch Zahnärztl Z 55, 746-750

Edelhoff D, Spiekermann H, Yildirim M (2002):

A review of esthetic pontic design options.

Quintessence Int 33, 736-46.

Edelhoff D, Heidemann D, Kern M, Weigl P (2003):

Gemeinsame wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ: Aufbau endodontisch behandelter Zähne.

Zahnärztl Mitt 8, 42

European Society of Endodontology (2006):

Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology

Int Endod J 39, 921-930

Feilzer AJ, De Gee AJ, Davidson CL (1987):

Setting stress in composite resin in relation to configuration of the restoration.

J Dent Res 66, 1636-1639

Fennis WM, Kuijs RH, Kreulen CM, Roeters FJ, Creugers NH, Burgersdijk RC (2002):

A survey of cusp fractures in a population of general dental practices.

Int J Prosthodont 15, 559-563

Ferrari M, Mannocci F, Vichi A, Cagidiaco MC, Mjör IA (2000a):

Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate.

Am J Dent 13, 255-260

Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN (2000b):

Retrospective study of the clinical performance of fiber posts.

Am J Dent 13, 9B-13B

Ferrari M, Cagidiaco MC, Goracci C, Vichi A, Mason PN, Radovic I, Tay F (2007):

Long-term retrospective study of the clinical performance of fiber posts.

Am J Dent 20, 287-291

Fischer-Brandies A (1988):

New Exatec-root post system

Quintessenz 39, 837-42

Fogel HM (1995):

Microleakage of posts used to restore endodontically treated teeth.

J Endod 21, 376-379

Frazer RQ, Kovarik RE, Chance KB, Mitchell RJ (2008):

Removal time of fiber posts versus titanium posts.

Am J Dent 21, 175-8

Fredriksson M, Astbäck J, Pamenius M, Arvidson K (1998):

A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts.

J Prosthet Dent 80, 151-157

Galhano GA, Valandro LF, de Melo RM, Scotti R, Bottino MA (2005):

Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts.

J Endod 31, 209-211

Gesi A, Magnolfi S, Goracci C, Ferrari M (2003):

Comparison of two techniques for removing fiber posts.

J Endod 29, 580-582

Gharevi NT, Gängler P (2003):

Radiographische Nachkontrolle von Wurzelkanalbehandlungen der Zähne.

ZWR 112, 550-554

Goodacre CJ, Bernal G, Rungcharassaeng K, Kan JY (2003):

Clinical complications in fixed prosthodontics.

J Prosthet Dent 90, 31-41

Green D (1960):

Stereomicroscopic study of 700 root apices of maxillary and mandibular teeth.
Oral Surg 14, 728-733

Gutmann JL (1992):

The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth.
J Prosthet Dent 67, 458-467

Guzy GE, Nicholls JI (1979):

In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement.
J Prosthet Dent 42, 39-44

Hannig C, Westphal C, Becker K, Attin T (2005):

Fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars restored with CAD/CAM ceramic inlays.
J Prosthet Dent 94, 342-349

Hansen EK, Asmussen E, Christiansen NC (1990):

In vivo fractures of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam.
Endod Dent Traumatol 6, 49-55

Hajizadeh H, Namazikhah MS, Moghaddas MJ, Ghavamnasiri M, Majidinia S (2009):

Effect of posts on the fracture resistance of load-cycled endodontically-treated premolars restored with direct composite resin.
J Contemp Dent Pract 10, 10-17

Hatzikyriakos AH, Reisis GI, Tsingos N (1992):

A 3-year postoperative clinical evaluation of posts and cores beneath existing crowns.
J Prosthet Dent 67, 454-488

Heidrich G, Hassepass F, Dullin C, Attin T, Grabbe E, Hannig C (2005):

Zerstörungsfreie präklinische Evaluation der Wurzelkanalanatomie menschlicher Zähne mittels Flächendetektor-Volumen-CT (FD-VCT)
Rofo 177, 1683-1690

Hemmings KW, King PA, Setchell DJ (1991):

Resistance to torsional forces of various post and core designs.

J Prosthet Dent 66, 325-329

Henry PJ (1977):

Photoelastic analysis of post core restorations.

Aust Dent J 22, 157-159

Heydecke G, Butz F, Strub JR (2001):

Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: an in-vitro study.

J Dent 29, 427-433

Heydecke G, Butz F, Hussein A, Strub JR (2002):

Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-and-core systems.

J Prosthet Dent 87, 438-445

Hübinger A :

Evaluation dreidimensionaler radiologischer Verfahren zur Darstellung der Mandibula am Humanpräparat.

Med. Diss. Gießen 2008

Hülsmann M (1997):

Die Wurzelkanalspülung- Ziele, Mittel und Techniken.

Endodontie 6, 47-62

Hülsmann M

Die Aufbereitung des Wurzelkanals.

In: Heidemann D (Hrsg): Endodontie, Urban & Fischer Verlag, München Jena 2001, 79-122

Isidor F, Odman P, Brøndum K (1996):

Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts.

Int J Prosthodont 9, 131-136

Johnson JK, Sakumura JS (1978):

Dowel form and tensile force.

J Prosthet Dent 40, 645-649

Kakehashi Y, Lüthy H, Naef R, Wohlwend A, Schärer P (1998):

A new all-ceramic post and core system: clinical, technical, and in vitro results.

Int J Periodontics Restorative Dent 18, 586-593

Kern M, Simon MH, Strub JR (1998):

Erste klinische Erfahrungen mit Wurzelstiften aus Zirkonoxidkeramik.

Dtsch Zahnärztl Z 53, 266

Kerschbaum, Th:

Langfristiger Erfolg mit festsitzendem Zahnersatz – eine evidenzbasierte Kosten- und Nutzenanalyse.

IUZ, 2003

Khayat A, Lee SJ, Torabinejad M (1993):

Human saliva penetration of coronally unsealed obturated root canals.

J Endod 19, 458-461

King PA, Setchell DJ (1990):

An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth.

J Oral Rehabil 17, 599-609

Körber K, Ludwig K:

Zahnärztliche Werkstoffe und Technologien.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1993, 216-219

Kurer HG, Combe EC, Grant AA (1977):

Factors influencing the retention of dowels.

J Prosthet Dent 38, 515-525

Kuttler Y (1955):

Microscopic investigation of root apices.

J Am Dent Assoc 50, 544-552

Lang H, Korkmaz Y, Schneider K, Raab WH (2006):

Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root.

J Dent Res 85, 364-368

Lauer HC, Ottl P, Haibach O (1996):

Die prothetische Versorgung des avitalen Zahnes.

Zahnarzt Mag 11, 15

Lauper R, Lutz F, Barbakow F (1996):

An in vivo comparison of gradient and absolute impedance electronic apex locators.

J Endod 22, 260-263

Leary JM, Aquilino SA, Svare CW (1987):

An evaluation of post length within the elastic limits of dentin.

J Prosthet Dent 57, 277-281

Leary JM, Holmes DC, Johnson WT (1995):

Post and core retention with different cements.

Gen Dent 43, 416-419

Libman WJ, Nicholls JI (1995) :

Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns.

Int J Prosthodont 8, 155-161

Linde LA (1984):

The use of composites as core material in root-filled teeth. II. Clinical investigation.

Swed Dent J 8, 209-216

Lindemann M, Yaman P, Dennison JB, Herrero AA (2005):

Comparison of the efficiency and effectiveness of various techniques for removal of fiber posts.

J Endod 31, 520-522

Linderer JC:

Lehre von den gesammten Zahnoperationen nach den besten Quellen und eigener vierzigjährigen Erfahrung, Berlin 1834, Neudr. Bremen 1981

Littich, Manuela (2009):

URN:urn:nbn:de:gbv:18-40269

URL: <http://www.sub.uni-hamburg.de/opus/volltexte/2009/4026/> (recherchiert 24.10.2009)

Madison S, Zakariasen KL (1984):

Linear and volumetric analysis of apical leakage in teeth prepared for posts.

J Endod 10, 422-427

Magne P, Douglas WH (2000) :

Cumulative effects of successive restorative procedures on anterior crown flexure: intact versus veneered incisors.

Quintessence Int 31, 5-18

Magura ME, Kafrawy AH, Brown CE Jr, Newton CW (1991):

Human saliva coronal microleakage in obturated root canals: an in vitro study.

J Endod 17, 324-331

Mannocci F, Vichi A, Ferrari M (1998):

Carbon fiber versus cast posts: a two years recall study.

Dent Res 77, 1259

Mannocci F, Ferrari M, Watson TF (1999):

Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts.

J Adhes Dent 1, 153-158

Martinelli R (2002):

Ästhetische Restauration von Frontzähnen mit Wurzelstiften der vierten Generation.

Zahnärztl Prax 53, 336-341

Martínez-Insua A, da Silva L, Rilo B, Santana U (1998):

Comparison of the fracture resistances of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core.

J Prosthet Dent 80, 527-532

McDonald AV, King PA, Setchell DJ (1990):

In vitro study to compare impact fracture resistance of intact root-treated teeth.

Int Endod J 23, 304-312

Mekayarajjanonth T, Chitcharus N, Winkler S, Bogert MC (2009):

The effect of fiber dowel heights in resin composite cores on restoration failures of endodontically treated teeth.

J Oral Implantol 35, 63-9

Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, Ho R (1997):

Root reinforcement with a resin-bonded preformed post.

J Prosthet Dent 78, 10-14

Mentink AG, Creugers NH, Meeuwissen R, Leempoel PJ, Kayser AF:

Clinical performance of different post and core systems - results of a pilot study.

J Oral Rehabil 20, 577 (1993)

Merte K (2003):

Die Wurzelkanalaufbereitung- handinstrumentell oder maschinell.

ZMK 19, 190-208

Meyenberg KH, Lüthy H, Schärer P (1995):

Zirconia posts: a new all-ceramic concept for nonvital abutment teeth.

J Esthet Dent 7, 73-80

Michalakis KX, Hirayama H, Sfolkos J, Sfolkos K (2004):

Light transmission of posts and cores used for the anterior esthetic region.

Int J Periodontics Restorative Dent 24, 462-469

Missbach-Guentner J, Dullin C, Zientkowska M, Domeyer-Missbach M, Kimmina S, Obenauer S, Kauer F, Stühmer W, Grabbe E, Vogel WF, Alves F (2007):

Flat-Panel Detector-Based Volume Computed Tomography: A Novel 3D Imaging Technique to Monitor Osteolytic Bone Lesions in a Mouse Tumor Metastasis Model

Neoplasia 9, 755-765

Monticelli F, Grandini S, Goracci C, Ferrari M (2003):

Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study.
Int J Prosthodont 16, 593-596

Morgano SM (1996):

Restoration of pulpless teeth: application of traditional principles in present and future contexts.
J Prosthet Dent 75, 375-380

Naumann M (2002):

Kleben im Wurzelkanal- neue therapeutische Chancen.
Zahn Prax 5, 184-188

Naumann M (2003):

Wann Wurzelstifte indiziert sind- Klassifikation und Therapiekonzept.
Quintessenz 54, 931-938

Nergiz I, Schmage P, Platzer U, McMullan-Vogel CG (1997):

Effect of different surface textures on retentive strength of tapered posts.
J Prosthet Dent 78, 451-457

Nergiz P, Schmage P, Platzer U (1993):

Abzugskraftmessungen bei Wurzelstiften mit verschiedenen Oberflächen.
Dtsch Zahnärztl Z 48, 661-664

Newburg RE, Pameijer CH (1976):

Retentive properties of post and core systems.
J Prosthet Dent 36, 636-643

Nissan J, Dmitry Y, Assif D (2001):

The use of reinforced composite resin cement as compensation for reduced post length.
J Prosthet Dent 86, 304-308

Nothdurft FP, Pospiech PR (2006):

Clinical evaluation of pulpless teeth restored with conventionally cemented zirconia posts: a pilot study.
J Prosthet Dent 95, 311-314

Ohlmann B, Fickenscher F, Dreyhaupt J, Rammelsberg P, Gabbert O, Schmitter M (2008):

The effect of two luting agents, pretreatment of the post, and pretreatment of the canal dentin on the retention of fiber-reinforced composite posts.

J Dent 36,87-92

Ottl P, Hahn L, Lauer HCh, Fay M (2002):

Fracture characteristics of carbon fibre, ceramic and non-palladium endodontic post systems at monotonously increasing loads.

J Oral Rehabil 29, 175-183

Pao YC, Reinhardt RA, Krejci RF (1987):

Root stresses with tapered-end post design in periodontally compromised teeth.

J Prosthet Dent 57, 281-286

Paul SJ, Werder P (2004):

Clinical success of zirconium oxide posts with resin composite or glass-ceramic cores in endodontically treated teeth: a 4-year retrospective study.

Int J Prosthodont 17, 524-528

Peciuliene V, Rimkuviene J, Maneliene R, Pletkus R (2005):

Factors influencing the removal of posts.

Stomatologija 7, 21-23

Peters SB, Canby FL, Miller DA (1996):

Removal of a carbon-fiber post system

Journal of Endodontics 4, 215

Pfaff P:

Abhandlungen von Zähnen des menschlichen Körpers und deren Krankheiten.

Haude und Spener, 1756

Nachdruck: Georg Olms Verlag, Hildesheim 1966

Pitel ML, Hicks NL (2003):

Evolving technology in endodontic posts.

Compend Contin Educ Dent 24, 13-16, 18, 20

Pontius O, Hutter JW (2002):

Survival rate and fracture strength of incisors restored with different post and core systems and endodontically treated incisors without coronoradicular reinforcement.

J Endod 28, 710-715

Portell FR, Bernier WE, Lorton L, Peters DD (1982):

The effect of immediate versus delayed dowel space preparation on the integrity of the apical seal.

J Endod 8, 154-160

Pratten DH, McDonald NJ (1996):

Comparison of radiographic and electronic working lengths.

J Endod 22, 173-176

Pröschel P, Ohkawa S, Hardtmann G, Ott PW (1994):

Zur Möglichkeit der Kaukraftabschätzung aus dem Elektromyogramm der Elevatoren.

Dtsch Zahnarzt 49, 37-40

Qualtrough AJ, Mannocci F (2003):

Tooth-colored post systems: a review.

Oper Dent 28, 86-91

Reeh ES, Messer HH, Douglas WH (1989):

Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures.

J Endod 15, 512-516

Reill MI, Rosentritt M, Naumann M, Handel G (2008):

Influence of core material on fracture resistance and marginal adaptation of restored root filled teeth.

Int Endod J 41, 424-430

Riedling W, Kappert HF (1988):

[Changes in gingival color after exchange of root canal post and provision of a cast glass ceramic. Case report]

Quintessenz 39, 1919-1925

Roane JB (1998):

Balanced force, crown-down preparation, and inject-R Fill obturation.
Compend Contin Educ Dent 19, 1137-1140, 1142, 1144-5, 1148-1149

Rolf KC, Parker MW, Pelleu GB (1992):

Stress analysis of five prefabricated endodontic dowel designs: a photoelastic study.
Oper Dent 17, 86-92

Rosentritt M, Fürer C, Behr M, Lang R, Handel G (2000):

Comparison of in vitro fracture strength of metallic and tooth-coloured posts and cores.
J Oral Rehabil 27, 595-601

Rosin M, Fleissner P, Welk A, Steffen H, Heine B (2001):

The influence of surface configuration on the retention of posts designed for use with a cast-on technique.
Quintessence Int 32, 119-130

Ruemping DR, Lund MR, Schnell RJ (1979):

Retention of dowels subjected to tensile and torsional forces.
J Prosthet Dent 41, 159-162

Sachs, L:

Statistische Auswertemethoden. 2. Auflage,
Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York, 1969, S. XXVI - XXVIII

Sakkal S (1996):

Carbon-fiber post removal technique.
Compend Contin Educ Dent Suppl 20, 86

Satterthwaite JD, Stokes AN (2004):

Effect of ultrasonic vibration on the retention of adhesively luted intra-radicular posts.
Eur J Prosthodont Restor Dent 12, 101-104

Satterthwaite JD, Stokes AN, Frankel NT (2003):

Potential for temperature change during application of ultrasonic vibration to intra-radicular posts.
Eur J Prosthodont Restor Dent 11, 51-56

Saunders WP, Saunders EM (1994):

Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review.
Endod Dent Traumatol 10, 105-108

Schäfer E, Zandbiglari T (2003):

Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva.
Int Endod J 36, 660-669

Scheuber S (2009):

URN: urn:nbn:de:bsz:16-opus-94869
URL: <http://www.ub.uni-heidelberg.de/archiv/9486>

Schilder H (1974):

Postdoctoral endodontic education: curricular objectives.
J Dent Educ 38, 618-622

Schmeißner H (1983):

Vergleichende Belastungsversuche an Stumpfaufbauten mit unverschraubbarer und verschraubbarer Stiftverankerung.
Dtsch Zahnärztl Z 38, 163-166

Schwartz RS, Robbins JW (2004):

Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review.
J Endod 30, 289-301

Sedgley CM, Messer HH (1992):

Are endodontically treated teeth more brittle?
J Endod 18, 332-335

Segerström S, Astbäck J, Ekstrand KD (2006):

A retrospective long term study of teeth restored with prefabricated carbon fiber reinforced epoxy resin posts.
Swed Dent J 30, 1-8

Sidoli GE, King PA, Setchell DJ (1997):

An in vitro evaluation of a carbon fiber-based post and core system.
J Prosthet Dent 78, 5-9

Signore A, Benedicenti S, Kaitsas V, Barone M, Angiero F, Ravera G (2009):

Long-term survival of endodontically treated, maxillary anterior teeth restored with either tapered or parallel-sided glass-fiber posts and full-ceramic crown coverage.

J Dent 37, 115-121

Silva MR, Biffi JC, Mota AS, Fernandes Neto AJ, Neves FD (2004):

Evaluation of intracanal post removal using ultrasound.

Braz Dent J 15, 119-126

Simons K, Wolfart S, Kern M (1999):

Klinische (Kurzzeit-) Erfahrungen mit Kompositstumpfaufbauten.

Dtsch Zahnärztl Z 54,715-717

Skinner RL, Himel VT (1987):

The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha with and without the use of sealers.

J Endod 13, 315-317

Soares CJ, Soares PV, de Freitas Santos-Filho PC, Castro CG, Magalhaes D, Versluis A (2008):

The influence of cavity design and glass fiber posts on biomechanical behavior of endodontically treated premolars.

J Endod 34,1015-9

Sorensen JA, Martinoff JT (1984):

Clinically significant factors in dowel design.

J Prosthet Dent 52, 28-35

Sorensen JA, Engelman MJ (1990):

Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth.

J Prosthet Dent 63, 529-536

Standlee JP, Caputo AA (1992):

The retentive and stress distributing properties of split threaded endodontic dowels.

J Prosthet Dent 68, 436-442

Standlee JP, Caputo AA, Hanson EC (1978):

Retention of endodontic dowels: effects of cement, dowel length, diameter, and design.

J Prosthet Dent 39, 400-405

Stanford JW, Paffenbarger GC, Kumpula JW, Sweeney WT (1958):

Determination of some compressive properties of human enamel and dentin.

J Am Dent Assoc 57, 487-495

Stern N, Hirshfeld Z (1973):

Principles of preparing endodontically treated teeth for dowel and core restorations.

J Prosthet Dent 30, 162-165

Stiefenhofer A, Stark H (1992):

Wurzelkanalverankerungen von Kronenaufbauten.

Phillip J 9, 375-380

Strub JR, Türp JC, Blatz MB, Heydecke G :

Vorbehandlung. Aufbau vitaler und avitaler Pfeilerzähne.

In: Praxis der Zahnheilkunde. Festsitzender Zahnersatz. Prothetik.

Band I.S. 277-299, Quintessenz- Verlag, Berlin (1999)

Sundqvist G (1992):

Ecology of the root canal flora.

J Endod 18, 427-430

Sundqvist G, Figdor D, Persson S, Sjögren U (1998):

Microbiologic analysis of teeth with failed endodontic treatment and the outcome of conservative re-treatment.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 85, 86-93

Thorsteinsson TS, Yaman P, Craig RG (1992):

Stress analyses of four prefabricated posts.

J Prosthet Dent 67, 30-33

Tinner D, Marinello C, Kerschbaum T (2001):

Die prothetische Vorbereitung des wurzelbehandelten Pfeilerzahnes.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 111, 402-409

Torbjörner A, Karlsson S, Odman PA (1995):

Survival rate and failure characteristics for two post designs.

J Prosthet Dent 73, 439-444

Torbjörner A, Karlsson S, Syverud M, Hensten-Pettersen A (1996):

Carbon fiber reinforced root canal posts. Mechanical and cytotoxic properties.

Eur J Oral Sci 104, 605-611

Trondstad L:

Clinical endodontics.

Thieme- Verlag, Stuttgart 1991

Trope M, Maltz DO, Tronstad L (1985):

Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth.

Endod Dent Traumatol 1, 108-111

Utter JD, Wong BH, Miller BH (1997):

The effect of cementing procedures on retention of prefabricated metal posts.

J Am Dent Assoc 128, 1123-1127

Van de Voorde HE, Bjorndahl, AM (1969):

Estimating endodontic „working length“ with paralleling radiographs

Oral Surg Oral Med Pathol 27, 106-112

Vichi A, Grandini S, Ferrari M (2002):

Comparison between two clinical procedures for bonding fiber posts into a root canal: a microscopic investigation.

J Endod 28, 355-360

Vire DE (1991):

Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation.

J Endod 17, 338-342

Weigel P, Heidemann D:

Restaurative Therapie des endodontisch behandelten Zahnes.

S.242-274 In: Endodontie: D. Heidemann (Herausgeber), Urban und Fischer Verlag, München (2001)

Weine FS, Buchanan LS (1996):

Controversies in clinical endodontics: Part 1. The significance and filling of lateral canals.
Compend Contin Educ Dent 17, 1028-1032, 1035-1036, 1038

Willershausen B, Briseno B (2002):

Restauration endodontisch versorgter Zähne.
Zahnärztl. Mitt 92, 30-36

Wirz J (1983):

Endodontische und parapulpäre Verankerungselemente für die restaurative Therapie.
Dtsch Zahnärztekongr 42, 52-66

Wirz J, Christ R (1982):

In vitro study of the occurrence of screw and pin corrosion in dental prosthesis structures
SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd 92, 408-428

Worm F, Lurtz C, Behrend D, Schmitt L, Schmitz KP, Ottl P, von Schwanewede H (2009):

Der Einfluss der Makro- und Mikrostruktur auf die Benetzungs- und Retentionseigenschaften von Wurzelkanalstiften *in vitro*.
Biomedizinische Technik/Biomedical Engineering. Band 54, Heft 4, Seiten 211–217

Zalkind M, Hochman N (1998):

Esthetic considerations in restoring endodontically treated teeth with posts and cores.
J Prosthet Dent 79, 702-705

Zogheib LV, Pereira JR, do Valle AL, de Oliveira JA, Pegoraro LF (2008):

Fracture resistance of weakened roots restored with composite resin and glass fiber post.
Braz Dent J 19, 329-333

8 Anhang

8.1 Abbildungsverzeichnis

Abb.1: EasyPost Stifte (li) und EasyPost Kalibrierbohrer (re), (Produktkatalog DENTSPLY)	22
Abb.2: DT Universal Drill (re), DT Finishing Drill (m) und DT White Posts (li) (VDW, München)	23
Abb. 3: HT Cyttec-Karbonfaserstift mit systemeigenem Vorbohrer.....	24
Abb. 4: Sonicflex endo (KAVO, Biberach).....	26
Abb. 5: DT Post Entfernungskit (VDW, München)	27
Abb. 6: Flächendetektor-Volumencomputertomograph (fpVCT) der Firma General Electric (GE, Global Research, Niskayuna, NY, USA), (Quelle: Hübinger 2008, Seite 25)	29
Abb. 7: Behandlungszeit-Boxplot der Stift-Methoden-Kombinationen	34
Abb. 9: Abhängigkeit zwischen Behandlungs- und Bohrvorlaufzeit	36
Abb. 10: Zusammenhang zwischen mittlerer Bohrvorlaufzeit und mittlerer Behandlungszeit	36
Abb. 11: Stift-/ Befestigungszement-Boxplot der Stift-Methoden-Kombination	39
Abb. 12: Zusammenhang zwischen mittlerer Bohrvorlaufzeit	40
und den Anteilen von verbliebenem Stift und Befestigungszement	40
Abb. 13: Zusammenhang zwischen mittlerer Behandlungszeit und Anteil von Stift- und Befestigungszementresten	41
Abb. 14: Substanzabtrag-Boxplot der Stift-Methoden-Kombination (S mm ³)	42
Abb. 15: Zusammenhang zwischen mittlerer Bohrvorlaufzeit und Substanzabtrag	44
Abb.16 und 17: Zusammenhang zwischen mittlerer Behandlungszeit und Substanzabtrag:	
Alle Werte (Abb.16 li.) und ohne „Ausreißer“ (Abb.17 re.)	44
Abb.18: Glasfaserstift entfernt mit Rosenbohrer	46
Abb.21: Glasfaserstift entfernt mit Rosenbohrer und Müllerbohrer	46
Abb.22: Quarzfaserstift entfernt mit Rosenbohrer.....	46
Abb.24: Nach der Entfernung eines Glasfaserstiftes mit dem DT-Entfernungskit....	47
Abb.25: Nach der Entfernung eines Quarzfaserstiftes mit dem DT-Entfernungskit .	47

Abb.26: Nach der Entfernung eines Karbonfaserstiftes mit dem DT-Entfernungskit	47
Abb.27: Glasfaserstift entfernt mit DT Entfernungskit	47
Abb.28: Quarzfaserstift entfernt mit DT Entfernungskit.....	47
Abb.29: Karbonfaserstift entfernt mit DT Entfernungskit	47
Abb.30: Entfernung eines Glasfaserstiftes mit Ultraschall	48
Abb.33: Glasfaserstift entfernt mit Ultraschall	48
Abb.36: Via falsa.....	50
Abb.38: Perforation mittleres Wurzeldrittel.....	50
Abb.40: Wurzelfraktur	51

8.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Anzahl und Herkunft der Zähne für die Untersuchung	20
Tab. 2: Einteilung der untersuchten Zähne in Behandlungsgruppen.....	31
Tab. 3: Mittelwerte und Rangeinstufung der Behandlungszeit (auf Basis ANOVA)..	37
Tab. 4: Mittelwerte und Rangeinstufung der Behandlungszeit (auf Basis	38
der Bohrvorlaufzeit = 0)	38
Tab. 5: Mittelwerte und Rangeinstufung der Stift-/ Zementreste(auf Basis ANOVA)	42
Tab. 6: Mittelwerte und Rangeinstufung des Substanzabtrages(auf Basis ANOVA)	45
Tab. 7: Rangeinstufung der Beschaffenheit der inneren Kanaloberfläche (auf Basis ANOVA).....	49
Tab. 8: Anzahl und Rangfolge der Misserfolge	52
(auf der Basis ANOVA).....	52
Tab. 9: Gesamt-Ranking	53
Tab.10: Art und Häufigkeit der Misserfolge	93
Tab.11: Zur Fehlerabschätzung der Berechnungen im VCT wurden Wiederholungsmessungen mit einer Zahnwurzel Nr. 0 unternommen	93
Tab. 12: Zusammengefasste Untersuchungsergebnisse	64

Tab.10: Art und Häufigkeit der Misserfolge

Gruppe	Fraktur	Perforation	Via falsa	gesamt
GU	0	0	1	1
GR	0	2	5	7
GK	0	0	1	1
QU	0	1	4	5
QR	1	4	1	6
QK	0	0	1	1
CU	0	0	1	1
CR	0	1	1	2
CK	0	0	2	2

QU: DT Quarz FS/Ultraschall	GU: EP Glas FS/Ultraschall
QR: DT Quarz FS/Rosenb.	GR: EP Glas FS/Rosenb.
QK: DT Quarz FS/DT Kit	GK: EP Glas FS/DT Kit
CU: HT Karb.FS/Ultraschall	
CR: HT Karb.FS/Rosenb.	
CK: HT Karb.FS/DT Kit	

Tab.11: Zur Fehlerabschätzung der Berechnungen im VCT wurden Wiederholungsmessungen mit einer Zahnwurzel Nr. 0 unternommen

Messung	1	2	3	4	MW	SD	s%
g							
KV1 mm ³	27,18	27,85	26,8	26,81	27,16	0,49	1,81
KV3 mm ³	30,33	29,01	29,33	30,19	29,72	0,65	2,17

MW: Mittelwert

SD: Standardabweichung

8.3 Materialverzeichnis

a. Wurzelstiftsysteme

- Easy Post Glasfaserstiften (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz)
- DT White Post-Quarzfaserstiften (VDW GmbH, München)
- Cytec HT Karbonfaserstifte (Hahnenkratt GmbH, Königsbach-Stein)

b. Instrumente zur Stiftentfernung

- Sonicflex Endospitze Nr. 67 (KaVo Dental GmbH, Biberach/Riß)
- Rosenbohrer der Größe 12 (Komet, Gebr. Brasseler GmbH & Co.KG, Lemgo)
- DT Post Entfernungskit (VDW GmbH, München)

c. Befestigungszement

- Dyract Cem Plus (Dyract Cem Plus Opaque Powder & Liquid, Dentsply)

d. Geräte

- Flex Master, VDW GmbH (München)
- Flächendetektor-Volumencomputertomograph (fpVCT) der Firma General Electric (GE, Global Research, Niskayuna, NY, USA)
- Advanced Workstation (GE HealthCare, Buc, Frankreich)

e. Software

- voxtool 3.0.64z (GE HealthCare, Buc, Frankreich)

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die durch ihre Unterstützung jeglicher Art zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. med. dent. M. Hülsmann für die freundliche Überlassung des Themas, die hilfreiche Unterstützung und die angenehme Zusammenarbeit.

Herrn Dipl. Phys. C. Dullin und der Abteilung Diagnostische Radiologie des Universitätsklinikum Göttingen für die Betreuung und die engagierte Unterstützung bei den CT-Scans und der Volumetrie.

Meinem Vater, Dipl.-Ing. agr. Chr. Pfitzner, und den Mitarbeitern des Julius-Kühn-Institutes (Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen) für die stetige Hilfsbereitschaft bei der statistischen Auswertung und der Erstellung der Graphiken, sowie für die kreativen Anregungen und die Unterstützung bei Problemen aller Art.

Den Firmen Dentsply Maillefer (Ballaigues, Schweiz), VDW GmbH (München) und Hahnenkratt GmbH (Königsbach-Stein) für die Bereitstellung der Wurzelstifte.

Bei Frau Dr. A. Ferdinand für die fachlichen Hinweise und für die stilistischen und orthografischen Korrekturvorschläge, die zur Verbesserung meiner Arbeit beigetragen haben.

Lebenslauf

Am 12. September 1980 wurde ich, Jana Schönberger-Pfitzner, als Tochter von Angelika Schneegaß, geb. Cyrulik, und Dipl. agr. Ing. Christian Pfitzner in Eberswalde/Finow geboren. Seit Juli 2009 bin ich mit Gabriel Pablo Schönberger verheiratet.

Von 1986 bis 1989 besuchte ich die Geschwister Scholl Oberschule und von 1989 bis 1997 das Richard-von-Weizsäcker Gymnasium in Thale. Ab September 1997 bis Juli 1998 besuchte ich für ein Jahr die 12. Klasse der Houston High School, Minnesota, USA, die ich mit dem High School Diplom abschloss. Im August 1998 wechselte ich wieder auf das Richard-von-Weizsäcker Gymnasium in Thale und legte dort im Juli 2000 das Abitur ab.

Im gleichen Jahr begann ich im Wintersemester an der Georg-August-Universität in Göttingen mein Zahnmedizinstudium.

Am 1. Dezember 2005 bestand ich das Staatsexamen und erhielt am 7. Dezember 2005 meine Approbation als Zahnärztin.

Von Januar bis März 2006 war ich Famulantin für das Zahnärztliche Hilfsprojekt Brasilien e.V. in einer kirchlichen Zahnstation in Carpina, Brasilien.

In den Monaten April bis Oktober 2006 führte ich die Experimente für die vorliegende Studie durch und besuchte einen Norwegisch-Intensiv-Sprachkurs.

Im November 2006 zog ich zusammen mit meinem Mann nach Norwegen.

Von Dezember 2006 bis November 2008 arbeitete ich in Elnesvågen, Møre og Romsdal an einer öffentlichen Zahnklinik als Zahnärztin. Seit Dezember 2008 bin ich an einer Zahnklinik in Sarpsborg, Østfold, vorrangig in der Kinder- und Seniorenzahnheilkunde tätig.