



Universitätsklinikum
Hamburg-Eppendorf

**Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Poliklinik für Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde
Direktorin: Prof. Dr. Ursula Platzer**

**Bestimmung der Haftfestigkeiten von zahnfarbenen
Wurzelstiften in Abhängigkeit von unterschiedlich
behandelten Stiftoberflächen und Befestigungsmaterialien**

Dissertation

**zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnmedizin
dem Fachbereich Medizin der Universität Hamburg**

**vorgelegt von
Manuela Littich
Halle / Saale**

Hamburg 2009

Angenommen von dem Fachbereich Medizin
der Universität Hamburg am:

16.02.2009

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs
Medizin der Universität Hamburg

Prüfungsausschuss, die erste Vorsitzende:

Prof. Dr. I. Nergiz

Prüfungsausschuss, 2. Gutachter:

PD Dr. P. Schmäge

Prüfungsausschuss, 3. Gutachter:

Prof. Dr. C. Fenske

Meiner Familie gewidmet

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	4
2.1 Restauration von endodontisch behandelten Zähnen	4
2.2 Wurzelstifte	6
2.2.1 Geschichtliche Entwicklung von Wurzelstiftsystemen	6
2.2.2 Eigenschaften von Wurzelstiften	9
2.2.3 Stiftmaterial	12
2.3 Zahnfarbene Wurzelstifte	14
2.3.1 Keramikstifte	14
2.3.2 Faserverstärkte Kompositstifte	15
2.4 Befestigungsmaterialien für Wurzelstifte	19
2.4.1 Konventioneller Zinkphosphatzement	19
2.4.2 Befestigungskomposite	20
2.5. Oberflächenbehandlung der Wurzelstifte	24
3. Fragestellung	28
4. Material und Methode	29
4.1 Versuchsdesign	29
4.2 Probenherstellung	33
4.3 Messdurchführung	41
4.4 Statistische Auswertung	42
5. Ergebnisse	43
5.1 Haftfestigkeiten der verschiedenen Stiftmaterialien	43
5.1.1 Haftfestigkeiten von CeraPost	43
5.1.2 Haftfestigkeiten von DentinPost	47
5.2 Haftfestigkeiten abhängig vom Befestigungskomposit	51
5.2.1 Compolute	51
5.2.2 Panavia 21EX	55
5.3 Haftfestigkeiten abhängig vom Thermocyclingeffekt	59
5.3.1 Einfluss des Thermocycling auf den CeraPost	59
5.3.2 Einfluss des Thermocycling auf den DentinPost	62
5.4 Bruchverhalten	65

6. Diskussion	67
6.1 Methodendiskussion	67
6.2 Ergebnisdiskussion	69
6.3 Schlussfolgerungen	76
7. Zusammenfassung	77
8. Literaturverzeichnis	79
9. Danksagung	95
10. Lebenslauf	96
11. Erklärung	97

1. Einleitung

An die Wurzelkanalbehandlung schließt sich die Restauration der Zahnkrone mit oft ausgedehnten koronalen Substanzdefekten an (HEYDECKE 2002). Devitale Zähne müssen definitiv versorgt werden, um sie vor Frakturen und bakteriellem Mikroleakage zu schützen. In Abhängigkeit von der Größe des Defekts kann dies mit einer Krone oder adhäsiv erfolgen (DGZMK-STELLUNGNAHME 2003). Entsprechend der DGZMK-Stellungnahme und der Klassifikation nach Naumann müssen Zähne mit einem Defekt von mehr als zwei Drittel der bucco-oralen Distanz bzw. nur einem verbleibenden oder keinem Höcker vor einer prothetischen Therapie mit Wurzelstiften versorgt werden, um eine permanente Verankerung der Krone und eine ausreichende Stabilität zu gewährleisten (MORGANO & BRACKETT 1999; KOUTAYAS & KERN 1999; NAUMANN 2003; NERGIZ & SCHMAGE 2004).

Jedoch soll nicht nur die Forderung nach einer permanenten koronalen Verankerung berücksichtigt werden, sondern auch der Aspekt, dass gleichzeitig die Zahnwurzel durch die Verwendung von Wurzelstiften infolge der Präparation und Kraftübertragung geschwächt wird. Weshalb die Indikation zur Verwendung von Wurzelstiften kritisch zu stellen ist. (SORENSEN & MARTINOFF 1984; SORENSEN & ENGELMANN 1990b; FERNANDES et al. 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003; NAUMANN & BLANKENSTEIN 2004; NERGIZ & SCHMAGE 2004).

Zur Verankerung des koronalen Aufbaus stehen eine Vielzahl von verschiedenen Stiftsystemen zur Verfügung. Die Verwendung von passiven, konischen Wurzelstiften ist zu bevorzugen, da sie eine gleichmäßigere Kraftübertragung der koronalen Kräfte auf die Wurzelkanalwand ermöglichen und der Wurzelform folgen (SORENSEN & ENGELMANN 1990a; SCHMAGE et al. 1992; DIETSCHI et al. 1997; FERNANDES & DESSAI 2001). Eine dauerhafte Verankerung des Stiftes im Wurzelkanal ist für den langfristigen Erfolg der gesamten prothetischen Versorgung wichtig. Allerdings ist dazu keine unbeschränkt hohe Haftfestigkeit erforderlich. Sinnvoller ist eine Stiffaufbaukonstruktion, die auf die Wurzeldimension abgestimmt ist und Mikroretentionen nutzt (DGZMK-STELLUNGNAHME 2003). Präfabrizierte Wurzelstifte unterscheiden sich in ihrem Material: Sie bestehen aus Titan, Zirkonoxidkeramik und faserverstärktem Komposit = FRC (fiber reinforced composite), welche in einer Sitzung gesetzt und mit einem Aufbau versehen werden

können. Indirekte Wurzelstifte werden aus Gusslegierungen oder Presskeramik angefertigt.

Durch ein zunehmendes ästhetisches Bewusstsein der Patienten steigt seit einigen Jahren die Beliebtheit von vollkeramischen Kronen und die Verwendung von zahnfarbenen Stiften (FEHÉR et al. 1999; ROSENTRITT et al. 2004). Herkömmliche Wurzelstifte aus Metall können durch vollkeramische Kronen bzw. die Gingiva hindurchscheinen (FISCHER et al. 1998; KERN et al. 1998; FEHÉR et al. 1999; KOUTAYAS & KERN 1999). Deshalb werden Wurzelstifte aus Zirkonoxidkeramik oder faserverstärktem Komposit (FRC) angeboten.

Neben den ästhetischen Vorteilen zeichnen sich zahnfarbene Stifte aus Zirkonoxidkeramik durch eine gute Biokompatibilität aus. Nachteilig ist ihre Sprödigkeit und Härte, wodurch es unter Umständen bei Belastung zu Stift- bzw. Wurzelfrakturen kommen kann (ROSENTRITT et al. 2000; BUTZ et al. 2001; NOTHDURFT et al. 2003). Die glasfaserverstärkten Kompositstifte bieten gegenüber der Zirkonoxidkeramik ein dentinähnliches Elastizitätsmodul und sind bei Misserfolgen gut revidierbar (PFEIFFER et al. 2002). Deshalb werden FRC-Stifte heute immer beliebter, obwohl noch keine ausreichenden Langzeiterfahrungen vorhanden sind (ISIDOR et al. 1999; FERRARI & SCOTTI 2004; VALLITTU & KURUNMÄKI 2002; KING et al. 2003; SIGNORE et al. 2003).

Für die optimale Befestigung der zahnfarbenen Stifte ist die Wahl eines geeigneten Befestigungsmaterials und die Oberflächenbehandlung des Stiftes bzw. der Wurzelkanalwand von entscheidender Bedeutung. Für die Insertion von zahnfarbenen Stiften wird die Verwendung von Befestigungskompositen empfohlen (DIETSCHI et al. 1997; MENDOZA et al. 1997; ROSENSTIEL et al. 1998; FERRARI et al. 2001; ROSIN et al. 2003). Im Gegensatz zu dem zur Befestigung von Metallstiften präferierten konventionellen Zinkphosphatzement der mechanisch haftet, soll mit dem Komposit ein chemischer Haftverbund sowohl zum Stift als auch zur Wurzelkanalwand hergestellt werden. Außerdem werden die unterschiedlichen Elastizitätsmodule der Stiftmaterialien und des Wurzeldentins durch die Befestigungskomposite abgepuffert (ISIDOR 1996; MENDOZA et al. 1997; EDELHOFF et al. 2000b; FERNANDES & DESSAI 2001). Der chemische Verbund wird durch die Konditionierung der Wurzelkanalwand vermittelt. Zur Verbesserung des Verbundes zwischen Stift und Befestigungskomposit stehen verschiedene Möglichkeiten, wie das Sandstrahlen oder die tribochemische Beschichtung, der

Oberflächenbehandlung zur Verfügung (KERN et al. 1998; SCHÖNBRODT et al. 2003; SCHMAGE et al. 2004; SCHMAGE et al. 2006). Die tribochemische Beschichtung, die auch chairside angewendet werden kann, hat sich zur Steigerung des Haftverbundes zwischen Kompositen und Materialien wie Titan, Keramik und Gusslegierungen bewährt (GÖBEL et al. 1998; ÖZCAN et al. 1998; PROÃÑO et al. 1998; NERGIZ et al. 2001; AKISLI et al. 2003; SCHMAGE et al. 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003; NERGIZ et al. 2004; SOHN 2005; SELÇUK 2006; SCHMAGE et al. 2007; PFEIFFER et al. 2008).

Wurzelstifte sind trotz strengerer Indikationsstellung weiterhin für die prothetische Therapie wichtig. Es ist jedoch noch unklar, ob die zahnfarbenen Stifte die Erwartungen auch unter klinischer Funktion in Langzeitstudien erfüllen, welche Komposite sich dabei bewähren und ob eine Stiftkonditionierung erforderlich ist.

Ziel dieser Arbeit war, die Abzugskräfte von zahnfarbenen konischen Wurzelstiften aus Zirkonoxidkeramik und glasfaserverstärkten Komposit zu bestimmen. Es sollte der Einfluss von zwei unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen und drei verschiedenen Befestigungsmaterialien auf das Abzugsverhalten der zahnfarbenen Stifte ermittelt und bewertet werden. Die Bewertungskriterien dieser Studie waren die Abzugskräfte und die ermittelten Bruchverläufe.

2. Literaturübersicht

2.1 Restauration von endodontisch behandelten Zähnen

Noch vor 10 Jahren wurde jeder endodontisch behandelte Zahn mit einem Wurzelstift versorgt. Laut der wissenschaftlichen Stellungnahme der Deutschen Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkunde soll unter Schonung von gesunder Zahnhartsubstanz durch den Aufbau von endodontisch behandelten Zähnen, je nach Indikation mit oder ohne Wurzelstifte, eine zuverlässige Verankerung der definitiven Restauration erfolgen (DGZMK-STELLUNGNAHME 2003). Der entstehende Verlust von gesunder Zahnschicht durch die Aufbereitung der Kanäle und die Präparation schwächt den Zahn. Zusätzliche Maßnahmen, wie die Präparation für Stiftaufbauten und Wurzelspitzenresektionen, führen zu einem weiteren Verlust von Zahnhartsubstanz und damit zur Erhöhung der Frakturanfälligkeit (ATTIN et al. 1994; MORGANO 1996; NIKAIDO et al. 1999; STOCKTON 1999; DGZMK-STELLUNGNAHME 2003). Außerdem kann durch ein bakterielles Mikroleakage entlang der postendodontischen Versorgung eine endodontische Behandlung zum Misserfolg führen. Deshalb ist eine dauerhafte, bakteriendichte und höckerumfassende Restauration nach einer endodontischen Behandlung unumgänglich (GUTMANN 1992; MORGANO 1996; DIETSCHI et al. 1997; LYNCH & BURKE 2002). Ist zur Verankerung des koronalen Aufbaus ein Wurzelstift notwendig, um eine ausreichende Retention für die koronale Konstruktion zu gewährleisten, soll eine bakterielle Reinfektion durch das Auffüllen des Spaltes zwischen Stift und Kanalwand mit einem Befestigungsmaterial und dem Belassen des apikalen Drittels der Wurzelfüllung erreicht werden. Es soll zu dem mechanischen auch ein chemischer Verbund erfolgen (NERGIZ & PLATZER 1992; DUNCAN & PAMELIJER 1998; FERNANDES & DESSAI 2001; MANNOCI et al. 2001).

Die Frakturresistenz der Zähne ist abhängig von der vorhandenen Dentinschichtdicke und nimmt mit steigendem Dentinverlust ab (ATTIN et al. 1994; STOCKTON 1999). Als überholt gilt die Annahme, dass endodontisch behandelte Zähne spröder sind als vitale (LEWINSTEIN & GRAJOWER 1981; REEH et al. 1989; NERGIZ & SCHMAGE 2004). Die Frakturanfälligkeit resultiert vielmehr von ausgedehnten koronalen Defekten auf Grund von Karies oder der endodontischen

Zugangskavität (SORENSEN & MARTINOFF 1984; LINN & MESSER 1994; SCHMAGE et al. 2002; GEURTSSEN et al. 2003). Unumstritten ist in der Literatur, dass endodontisch behandelte Zähne mit ausgedehnten koronalen Defekten zur sicheren Verankerung der definitiven Versorgung einen Wurzelstift benötigen (MORGANO et al. 1993; STOCKTON 1999; STELLUNGNAHME- DGZMK 2003). Wissenschaftliche Studien haben jedoch gezeigt, dass bei geringem Zerstörungsgrad die Zähne ohne Stiftaufbauten stabiler gegenüber Frakturen sind (STOCKTON 1999; SIDOLI 1997). Durch den stetig steigenden Einsatz von Adhäsivsystemen können Zähne mit einem geringen Zahnhartsubstanzverlust ohne konventionelle Stiftaufbauten adäquat definitiv versorgt bzw. aufgebaut werden. Die Entscheidung über die Verwendung eines Wurzelstiftes wird vom Zerstörungsgrad der koronalen Anteile, der Belastung des Zahnes beim Kauen, der Lokalisation und der prothetischen Versorgung beeinflusst (MORGANO 1996; MORGANO & BRACKETT 1999; BLANKENSTEIN et al. 2002; DGZMK-STELLUNGNAHME 2003). Demzufolge sind endodontisch behandelte Zähne nicht immer mit einem Stift, jedoch mit einer stabilisierenden Restauration zu versehen. Dies können zum Beispiel Kronen, Teilkronen oder Kompositrestaurationen sein (NAUMANN 2003; DGZMK-STELLUNGNAHME 2003).

2.2 Wurzelstifte

2.2.1 Geschichtliche Entwicklung von Wurzelstiftsystemen

Seit über 200 Jahren wird die Versorgung von endodontisch behandelten Zähnen mit Stiften und Kronen beschrieben. 1728 dokumentierte PIERRE FAUCHARD erstmals die Möglichkeit der Verankerung von Zahnersatz unter Nutzung der Zahnwurzel, in dem er die Wurzeln mit Bleifüllungen auffüllte und anschließend künstliche Zähne daran verankerte (BLASS 1953; MORGANO & BRACKETT 1999; SEN 2007). Die Wurzelstifte wurden aus Gold- und Silberdrähten geflochten. Sie wurden entweder mit Fäden aus Hanf oder Birkenrinde umwickelt, welche im Kanal aufquollen und so für die Retention sorgten, oder mit einem Gemisch aus Terpentin, Gummilack und Korallenkalk eingesetzt (BLASS 1953; MORGANO & BRACKETT 1999; QUALTROUGH & MANNOCCI 2003).

Die ersten Kronen bestanden aus Rinder-, Pferde- oder Eselzähnen, welche zurecht gefeilt wurden. Die so gefertigten Kronen wurden für eine ausreichende Stabilität mit Drahtschlingen an den Nachbarzähnen befestigt. BOURDET führte als Erster eine Schraube in den Wurzelkanal ein. Der apikale Teil war mit einem Gewinde versehen und wurde mit dem daran befestigten koronalen Anteil in den Kanal eingeschraubt, nachdem dieser mit Goldfolie oder -plättchen gefüllt war. 1802 entwickelte LAFORGUE den Pivot-Zahn, welcher aus einem schraubenförmigen Zapfen bestand, der sowohl in die Wurzel als auch in die Krone eingeschraubt wurde. Er nutzte erstmals Platin für seine Zapfen (BLASS 1953). HARRIS beschrieb 1871 die Verwendung eines Stiftes bzw. Drehzapfens zur Verankerung einer Krone in einem devitalen Zahn (MORGANO 1996). Im 18. Jahrhundert verwendete FAUCHARD für die Rekonstruktion der Zähne Stifte aus Gold und Silber (BLASS 1953; QUALTROUGH & MANNOCCI 2003). Im 19. Jahrhundert wurde die Verankerung von Stiften und Kronen die wichtigste Versorgung für endodontisch behandelte Zähne (MORGANO 1996; QUALTROUGH & MANNOCCI 2003). Es differenzierten sich Meinungen bei der Verwendung bestimmter Materialien. So bevorzugten die einen Stifte aus Holz, während die anderen Metallstifte verwendeten. 1839 standen laut HARRIS mit Stiften aus Gold und Platin, Stifte für eine sehr hohe Qualität im Vergleich zu Silber, Messing und Kupfer, zur Verfügung (QUALTROUGH & MANNOCCI 2003).

Der Vorteil der Holzstifte lag in der höheren Retention, da diese in Wasser quollen und es keinen geeigneten Zement gab, der die Retention der Metallstifte unterstützte (SHILLINGBURG 1982; QUALTROUGH & MANNOCCI 2003). Nachteil dieser Versorgung waren jedoch die häufigen Wurzelfrakturen auf Grund des Quellens, sowie die fortschreitende Fäulnis auf Grund der Feuchtigkeit (BLASS 1953). Die Versorgung der wurzelkanalbehandelten Zähne führten in den frühen Zeiten häufig zu Misserfolgen, da die Zähne nur unzureichend oder gar nicht endodontisch behandelt waren. Die Stiftkronen wurden aus diesem Grund nur provisorisch eingesetzt, damit bei Bedarf die Konstruktion entfernt werden konnte. Unter anderem löste CLARK 1849 das Problem, indem er im Wurzelkanal ein Röhrchen mit einem Stift platzierte, welches bei Bedarf durch einfaches Herausziehen für einen apikalen Abfluss sorgte (SHILLINGBURG 1982; NERGIZ 1989).

1872 befestigte MACK als Erster den Wurzelstift, ehe er die Krone fixiert. Die Krone bestand aus Porzellan und wurde mit einer plastischen Masse gefüllt (BLASS 1953). Ebenfalls 1872 wurde für stark zerstörte Zähne eine Bandkrone entwickelt, welche den Zahn zusätzlich zirkulär umfasste (NERGIZ 1989).

BLACK entwickelte eine Krone mit einer Porzellanfacette, welche über eine Schraube im Wurzelkanal verankert wurde, nachdem er den Kanal mit Goldfolie gefüllt hatte. Eine Weiterentwicklung der von MACK beschriebenen Konstruktion zur Versorgung der devitalen Zähne war die 1880 von RICHMOND entwickelte Ringstiftkrone durch die eine Schraube in einen vorgebohrten Wurzelkanal verankert wurde (BLASS 1953). Später vereinfachte man die Konstruktion, indem Krone und Stift nun aus einem Stück bestanden, wobei der Zahnstumpf kappenförmig umfasst wurde (SHILLINGBURG 1982). 1976 wurde diese Art der Wurzelfassung von EISSMANN mit dem Begriff „ferrule effect“ belegt (SORENSEN & ENGELMANN 1990a; MORGANO 1996; ISIDOR et al. 1999). 1885 wurde die *Richmond-Krone* durch LOGAN zu einer vollkeramischen Krone mit einem fest eingebrannten Stift modifiziert. Durch WILLIAMS wurde die *Richmond-Krone* so vereinfacht wie sie weit im letzten Jahrhundert noch verwendet wurde. Die Schraube konnte durch einen einfachen Stift ersetzt werden, da inzwischen zur Befestigung der von ROSTAING 1878 eingeführte Phosphatzement zur Verfügung stand (BLASS 1953). Um 1910 verwendete LEGER-DOREZ die *Logan-Krone* und ummantelte den Stift mit Wachs ehe er ihn in den Wurzelkanal drückte. Der so gewonnene Abdruck wurde dann in Gold an den Stift angegossen. Es entstanden somit die ersten individuell gegossen

Stiftaufbauten (BLASS 1953). Später setzte sich die Trennung von Stift und Krone durch, weil dies den Vorteil hatte, dass man die Krone erneuern und den Stift belassen konnte (NERGIZ & SCHMAGE 2004). Im 19. Jahrhundert wurde eine konische Stiftform bevorzugt. Im 20. Jahrhundert setzte sich die zylindrische Form durch, da sich die konischen Stifte selbst bei geringer Kraffteinwirkung leicht lockerten. Die Stiftdimension wurde an die Wurzelverhältnisse angepasst. 1848 entwickelte TOMES Richtlinien für die Stiftdimension, die heute noch ihre Gültigkeit haben (QUALTROUGH & MANNOCCI 2003). NYMANN forderte, dass die Länge des Stiftes die Länge der Krone haben muss. Dieser Forderung schloss sich 1953 auch REICHENBACH an (BLASS 1953).

MAJOR löste das Problem der Torsion, indem er einen exzentrisch gestuften Stift goss, welcher palatinal in eine Aussparung griff. 1925 verwendete SCHLOTTHAUER den *Phönix-Stift*, der gegen Torsion durch eine an der Seite befindliche abgeflachte Stelle geschützt war (BLASS 1953).

1946 wurde von RUETZ ein Gewindestift mit zylindrischer Form eingeführt. Das Stiftbett wurde mit formkongruenten Kanalbohren präpariert. Seitdem wurden verschiedene Stiftsysteme entwickelt und können in individuelle und präfabrizierte Stifte unterteilt werden. Die industriell vorgefertigten Stifte unterteilt man in zwei weitere Gruppen: die aktiven und die passiven Stifte. Die verschiedenen angebotenen Systeme sind zum Beispiel: das *Mooser-System* von 1966, das 1967 entwickelte *Kurer-Anker-System*, das *Radix-Anker-System* der Fa. Maillefer von 1975 oder das bis heute oft verwendete und 1985 eingeführte *Erlanger-Wurzelstift-Aufbausystem* der Fa. Komet (BLASS 1953; SHILLINGBURG & KESSLER 1982; HOFMANN 1985; KURER 1986; NERGIZ & SCHMAGE 2004).

Ein Vorteil der präfabrizierten Systeme ist, dass sie kostengünstiger sind und die Anwendung in einer Sitzung erfolgen kann, während man bei einem individuell gegossenen Stift mindestens zwei Sitzungen benötigt. Die konfektionierten Stifte bestanden aus einer Titan-Legierung oder Stahl, wobei Stahlstifte wegen der Korrosion im Wurzelkanal heute nicht mehr verwendet werden. In der heutigen Zeit stehen als Stiftmaterialien auch zahnfarbene Materialien aus Zirkonoxidkeramik oder glasfaserverstärktem Komposit zur Verfügung. Der individuell im zahntechnischen Labor hergestellte Stift aus den herkömmlichen Gusslegierungen, neuerdings auch aus Presskeramik, hat seine Indikation behalten.

2.2.2 Eigenschaften von Wurzelstiften

In der heutigen Zeit hat sich die Zielsetzung für einen Wurzelstift im Vergleich zu früher verändert. Wurde damals eine maximale Retention für die Stifte angestrebt, so wird in der heutigen Zeit eine minimale Schwächung der Wurzel durch die Präparation und Kraftereinleitung des Stiftes gefordert. Die Retention braucht nicht maximal zu sein, vielmehr soll sich der Stift bei Versagen lockern, so dass die Wurzel nicht zerstört wird (KURER 1986; TORBJÖNER et al. 1995; COHEN et al. 1997; COHEN et al. 1998; HEYDECKE et al. 2001; MANNOCI et al. 2001; KING et al. 2003). Bei einer großen Retention ist die Gefahr der Wurzelsprengung, bevor sich der Stift- Wurzelverbund löst, sehr hoch (DEAN et al. 1998; MARTINEZ-INSUA 1998; MANNOCI et al. 1999). Die Gefahr von Wurzelfrakturen ist abhängig von der Dimension, der Konstruktion und dem Design des Stiftes (SIDOLI et al. 1997; HEYDECKE et al. 2001; BETKE et al. 2003; GERUTSEN et al. 2003; NAUMANN 2003). Die Erhaltung der Zähne kann durch Perforationen bei der Präparation für die Wurzelstifte gefährdet werden. Als ideal gelten Stifte, die die auftretenden Kaukräfte gleichmäßig auf die Wurzel übertragen. Heutzutage werden nach strenger Indikation für einen Wurzelstift passive, konische Stifte bevorzugt, welche dem Wurzelverlauf formkongruent folgen und somit die Kräfte gleichmäßig übertragen (MORGANO & BRACKETT 1996; DIETSCHI et al. 1997; FERNANDES & DESSAI 2001; NERGIZ & SCHMAGE 2004). Eine adäquate Dimensionierung der Stifte unter Berücksichtigung der Wurzelgröße und -form ist für eine dauerhafte Funktion des Wurzelstiftes wichtig (NERGIZ et al. 2002a). Ebenfalls relevant sind die Oberflächenstruktur von Stift und Wurzel, das Befestigungsmaterial und der Aufbau (HOFMANN 1985a; HOFMANN 1985b; DUNCAN & PAMEIJER 1998; FEHÉR et al. 1999; NERGIZ et al. 2002a; SCHÖNBRODT et al. 2003). Die zirkuläre Umfassung des Zahnstumpfes soll als eine 1,5 mm breite Hohlkehle in der verbliebenen Zahnschicht präpariert werden, damit eine Reduzierung der Kräfte, die auf den Stiftaufbau wirken, erreicht wird (SHILLINGBURG & KESSLER 1982; ISIDOR et al. 1999).

Die Form und die Länge der Zahnwurzel bestimmen die Dimension des Stiftes. Die Mindestanforderung, welche an die Stiftdimension gestellt wird, ist die gleiche Länge der klinischen Krone und einen Durchmesser, so dass eine zirkuläre Schichtdicke von 1 mm Wurzeldentin verbleibt. Als optimal wird ein Verhältnis von 1/3 Kronen- zu 2/3 Wurzellänge empfohlen, da so ein günstiges Verhältnis von Hebel- und Lastarm erzielt wird, sowie einen Durchmesser von 1/3 des Wurzeldurchmessers. Die

häufigsten Misserfolge entstehen durch eine zu kurze Stiftlänge, so dass sich die Stifte unter der Funktion lockern oder durch die falsche Auswahl eines Stiftdurchmessers. Ist der Durchmesser zu dünn gewählt, können die Stifte brechen. Ist der Stiftdurchmesser zu dick, kann es zu Wurzelfrakturen kommen (CAPUTO & STANDLEE 1976; ASSIF et al. 1989; GUTMANN 1992; LLOYD & PALIK 1993; LAMBJERG-HANSEN & ASMUSSEN 1997; DGZMK-STELLUNGNAHME 2003). Apikal soll die Wurzelfüllung auf einer Länge von 4 mm belassen werden, was sich manchmal klinisch mit der Forderung nach der optimalen Stiftlänge widerspricht (SORENSEN & MARTINOFF 1984; MORGANO et al. 1994; DGZMK-STELLUNGNAHME 2003).

Neben einer der Wurzeldimension entsprechenden Gestaltung des Stiftes, ist die Sicherung des Stiftes gegen ein Verdrehen ebenfalls ein wichtiges Konstruktionsmerkmal (HOFMANN 1985b; HOFMANN 1988; NERGIZ & SCHMAGE 2003). Im koronalen Anteil des Wurzelbereiches, am Übergang vom Wurzelstift zum Aufbau, treten die größten Belastungen auf. Durch die Anbringung eines 2 mm tiefen Retentionskastens wird der Stift am Boden der Kavität zum einen abgestützt und zum anderen verstärkt damit er nicht bricht oder verbiegt. Eine Lockerung des Stiffaufbaus auf Grund der Rotation der Krone wird durch die Anbringung eines Torsionsschutzes am Retentionskasten verhindert (DESORT 1983; LAUER et al. 1994; MORGANO 1996; ISIDOR et al. 1996; PFEIFFER et al. 2000, VASUT 2008).

Hinsichtlich der Form der Wurzelstifte werden die *aktiven* von den *passiven* Stiften unterschieden. Bei den aktiven Stiften handelt es sich um Wurzelstifte mit einem Schraubgewinde, welche aktiv in den Kanal geschraubt werden. Hierbei kann das Gewinde vom Stift selbst geschnitten oder vorgeschnitten werden, wodurch sie eine hohe Retention erreichen (MILLSTEIN et al. 1987; SPANG 1991). Bei den passiven Stiften wird die Friktion über parallele Wände realisiert. Der Halt der passiven Stifte wird erst durch die Befestigungsmaterialien erreicht und ist geringer als die Friktion der aktiven Wurzelstifte. Der Nachteil der aktiven Stifte sind die an den Schraubspitzen auftretenden Spannungen, welche zu Wurzelfrakturen führen können (CAPUTO & STANDLEE 1976; SHILLINGBURG & KESSLER 1982; MARSHAK et al. 1988).

Außerdem wird die Form der Stifte - zum einen *zylindrisch* und zum anderen *konisch* - unterschieden (CAPUTO & STANDLEE 1976; SHILLINGBURG & KESSLER 1982; HOFMANN 1985a; STOCKTON 1999). Bei der Verwendung von

zylindrischen Stiften ist das Risiko für Perforationen der Wurzel hoch und steigt mit Zunahme der Stiftlänge und -durchmesser, da diese Stifte nicht der Wurzelanatomie folgen (CAPUTO & STANDLEE 1976; HOLMES et al. 1996). Die konischen Stifte werden zwar an ihrem koronalen Ende mehr belastet (SORENSEN & ENGELMANN 1990b) sind aber zu bevorzugen, da sie dem Wurzelverlauf folgen, somit eine maximale Stiftlänge erlauben und einen größeren koronalen Durchmesser besitzen (SCHMAGE et al. 1992; DIETSCHI et al. 1997). Die auftretenden Kaukräfte werden durch sie gleichmäßiger auf die Wurzeloberfläche übertragen und das Risiko von Wurzelfrakturen wird gesenkt (SCHMAGE & NERGIZ 1992; STÄDLER et al. 1995). Ein weiterer Vorteil der konisch passiven Stifte ist der geringere zusätzliche Substanzabtrag (LAUER et al. 1994; STÄDLER et al. 1995). Um die Friktion dieser Stifte zu erhöhen wird eine Behandlung der Wurzelkanalwand und der Stiftoberfläche, sowie die Verwendung von Befestigungskompositen empfohlen (NERGIZ et al. 1993; NERGIZ et al. 1997; NAUMANN 2000; SCHMAGE et al. 2005). Der Nachteil der konisch passiven Wurzelstifte ist die auftretende Keilwirkung, wenn eine koronale Abstützung fehlt, weshalb der Stiftaufbau mit einem Plateau auf dem Boden der Kavität aufliegen muss (DE SORT 1983; ASSIF et al. 1989; SORENSEN & ENGELMAN 1990b; LAMBJERG-HANSEN & ASMUSSEN 1997; NERGIZ & SCHMAGE 2004). Durch die Präparation eines Retentionskastens wird dieses Plateau am Boden der Kavität geschaffen.

Entsprechend ihrem Konstruktionsprinzip können *präfabrizierte* von *individuell gegossenen* Stiften unterschieden werden. Bei den präfabrizierten Wurzelstiften stehen unterschiedliche Materialien, wie glasfaserverstärkter Komposit, Zirkonoxidkeramik und Titan zur Verfügung. Diese Stifte sind in unterschiedlichen Durchmessern und Längen zu erhalten (HOFMANN 1985b; BUTZ et al. 2001; HEYDECKE et al. 2002; NERGIZ & SCHMAGE 2004). Während die aktiven Stifte immer konfektioniert sind und mit einem plastischen Aufbau versehen werden müssen, können die passiven Stifte wahlweise präfabriziert oder individuell gegossen verwendet werden.

Der Vorteil der präfabrizierten Stifte besteht darin, dass sie in einer Sitzung gesetzt und aufgebaut werden können. Dabei wird der Aufbau aus Komposit direkt an den Schaft bzw. auf den Retentionskopf modelliert. Dieses Verfahren kann jedoch nur für Zähne mit einem mittleren koronalen Substanzdefekt, runden Kanalquerschnitt und

einer geringen prothetischen Belastung empfohlen werden (DGZMK-STELLUNGNAHME 2003).

Individuelle Stiftaufbauten sind indiziert, wenn eine große prothetische Belastung des Zahnes, eine ovale Kanalform oder eine starke Zerstörung der klinischen Krone das Setzen eines konfektionierten Stiftes unmöglich machen (OTTL et al. 2002; DGZMK-STELLUNGNAHME 2003; NAUMANN 2003; NERGIZ & SCHMAGE 2003, VASUT 2008). Der Nachteil der gegossenen Stiftaufbauten ist, dass sie mindestens zwei Sitzungen erfordern. Dabei werden in der ersten Sitzung nach der Präparation die Aufbauten direkt im Patientenmund oder indirekt nach einer Abformung im Labor modelliert und gegossen, und in einer zweiten Sitzung eingesetzt (HOFMANN 1985a und 1985b; RINKE & HÜLS 1999a und 1999b; NERGIZ & SCHMAGE 2003). Bei geteilten Stiftaufbauten können die individuell gegossenen mit konfektionierten Stiften kombiniert werden. Dieses Vorgehen ist bei unterschiedlichen Einschubrichtungen von Wurzelkanal und Retentionskasten, sowie bei mehrwurzeligen Zähnen mit mehreren Stiften sinnvoll (HOFMANN 1988a; PFEIFFER et al. 2001). Konstruktionen mit mehreren Stiften bieten einen wirksamen Rotationsschutz, maximale Retention und verhindern eine Fraktur der Furkation (NERGIZ & SCHMAGE 2004)

2.2.3 Stiftmaterial

Von dem verwendeten Material ist die Bruchfestigkeit und Elastizität der Wurzelstifte abhängig (NERGIZ & SCHMAGE 2004). Die physikalischen Eigenschaften der Stifte, wie die Materialbeständigkeit, die Biege- und Bruchfestigkeit müssen zum einen dem Mundmilieu und zum anderen den auftretenden Kaukräften widerstehen.

Neben einer guten Biokompatibilität und einem zahnähnlichen Elastizitätsmodul sollten die Stiftmaterialien nicht quellen, korrodieren oder degradieren (PFEIFFER et al. 2000, 2001 und 2002). Als Material für die konfektionierten Stifte haben sich Reintitan, Zirkonoxidkeramik und faserverstärktes Komposit etabliert (SAHAFI et al. 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003; PFEIFFER et al. 2004).

Für Wurzelstifte werden seit langem Metalle genutzt. Für die präfabrizierten Stifte hat sich gezogenes Reintitan seit Jahren bewährt (HOFMANN 1985a/b; CHRISTENSEN 1996). Neben seiner hohen Biegefestigkeit und großen Härte zeichnet es sich auch durch eine gute Biokompatibilität, eine hohe Korrosionsbeständigkeit und ein

geringes Gewicht aus. Als Nachteil des Titanstiftes ist die fehlende Angussfähigkeit zu sehen (NERGIZ 1989). Unter vollkeramischen Restaurationen oder durch die Gingiva können Wurzelstifte aus Metall dunkel durchscheinen und so die Ästhetik negativ beeinträchtigen. Durch ein zunehmendes ästhetisches Bewusstsein der Patienten werden seit einiger Zeit zahnfarbene Stifte beliebter (EDELHOFF et al. 1998a; FISCHER et al. 1998; KERN et al. 1998)

Die Keramikstifte aus Zirkonoxidkeramik besitzen eine hohe Biegefestigkeit. Jedoch sind sie härter und spröder als Dentin und bergen somit ein hohes Risiko für Wurzelfrakturen (ROSENTRITT et al. 2000; BUTZ et al. 2001; NOTHDURFT et al. 2003). Ein weiterer Nachteil ist ihre schwere Revidierbarkeit. Da bisher noch keine Langzeiterfahrungen vorliegen, sollte der Einsatz von Keramikstiften auf Frontzähne beschränkt bleiben (NERGIZ & SCHMAGE 2004). Konfektionierte Keramikstifte können zum einen direkt mit einem Kompositaufbau oder indirekt im zahntechnischen Labor mit einem Aufbau aus Keramik versehen werden. Im Labor werden die Aufbauten aus Keramik auf die präfabrizierten Keramikstifte gepresst. Alternativ können so auch geteilte Stiffaufbauten hergestellt werden (SIMON & PAFFRATH 1995; FEHÉR et al. 1999; KOUTAYAS & KERN 1999; RINKE & HÜLS 1999a; NERGIZ & SCHMAGE 2003).

Das Elastizitätsmodul von glasfaserverstärkten Kompositstiften ist dem Wurzeldentin ähnlich (PFEIFFER 2002). Dadurch besitzen die Stifte zwar eine geringere Biegefestigkeit als Keramikstifte, versagen jedoch eher selbst, als die Zahnwurzel zu sprengen. In dem Fall wären sie revidierbar. Diese Eigenschaften erscheinen trotz fehlender Langzeiterfahrungen vielversprechend (SIDOLI et al. 1997; ISIDOR et al. 1999; OTTL et al. 2002; JANSSEN & HÜLSMANN 2003). Zum koronalen Aufbau werden Komposite verwendet. Auf Grund der begrenzten Stabilität empfiehlt sich die Versorgung mit diesen Stiften nur für Versorgungen ohne ausgedehnte Substanzdefekte und ohne starke Belastungen durch Bruxismus oder Prothetik (PURTON & PAYNE 1996; MARTINEZ-INSUA et al. 1998; PEST et al. 2002; AKISLI et al. 2003).

2.3 Zahnfarbene Wurzelstifte

2.3.1 Keramikstifte

Als Alternative zu den Metallstiften unter vollkeramischen Systemen wurden vollkeramische Stifte eingeführt. Die ersten individuell gefertigten Stiftaufbauten aus *Dicor* (*DeTrey Dentsply, Konstanz*) und aus glasinfiltrierter Aluminiumoxidkeramik *In-Ceram* (*VITA, Bad Säckingen*) wurden bereits zwischen 1989 und 1991 klinisch eingesetzt (KWIATKOWSKI & GELLER 1989; KERN & KNODE 1991; KOUTAYAS & KERN 1999). Strukturell erschienen jedoch individuell gepresste Keramiken nicht stabil genug und wurden rasch von industriell gefertigten Keramikstiften ersetzt, was eine hohe Beanspruchbarkeit und mechanische Zuverlässigkeit begünstigte (FISCHER et al. 1998, EDELHOFF et al. 2000b). An diese können Aufbauten angepresst werden. In wie weit dies die Stiftstruktur verändert, ist bislang ungeklärt. Die ersten präfabrizierten Stifte aus Zirkonoxidkeramik wurden Mitte der 90er Jahre eingeführt (MEYENBERG et al. 1995; SIMON & PAFFRATH 1995). Die Vorteile der keramischen Stiftaufbauten sind die natürliche Farbwirkung, die durch Absorption und Diffusion des transmittierten Lichtes entsteht, sowie eine gute Biokompatibilität und fehlende Korrosion (FEHÉR et al. 1999; KOUTAYAS & KERN 1999). Des Weiteren verfügen die Zirkonoxikeramiken über eine hohe Biegefestigkeit und Bruchzähigkeit, was nicht immer ein Vorteil ist. Untersuchungen haben gezeigt, dass auf Grund der unterschiedlichen Elastizitätsmodule von Zirkonoxidkeramik und Dentin, das Befestigungsmaterial bei mechanischer Belastung starken Spannungen ausgesetzt ist. Nach thermozyklischer Dauerlast wurden die schlechtesten Ergebnisse ermittelt (EDELHOFF et al. 2000a). Da die Bruchfestigkeit von Aluminiumoxidkeramik deutlich geringer als die von Metallen ist, sind diese nur für weitlumige Kanäle zu empfehlen (KOUTAYAS & KERN 1999). Die Biegefestigkeit von Zirkonoxidkeramikstiften ist zwar ebenso hoch wie die von Titanstiften, führt aber immer sofort zum Bruch, während sich Metall- und FRC- Stifte zurückstellen (PFEIFFER et al. 2006). Zur Behandlung der Oberfläche von Zirkonoxidstiften sollte die tribochemische Oberflächenbeschichtung oder die Korundstrahlung eingesetzt werden, da mit dieser Methode die Haftfestigkeiten gesteigert werden konnten (FISCHER et al. 1998; EDELHOFF et al. 2000a; SCHÖNBRODT et al. 2003). In verschiedenen Studien konnten für die Wurzelstifte aus Zirkonoxid die höchsten Haftfestigkeiten in Kombination von tribochemischer Behandlung der Oberfläche und

Panavia erzielt werden (UTTLE et al. 1997; KERN et al. 1998; EDELHOFF et al. 2000a; SCHÖNBRODT et al. 2003).

2.3.2 Faserverstärkte Kompositstifte

Die kohlefaserverstärkten Wurzelstifte, welche zuerst auf dem Markt erhältlich waren, erfüllen zwar nicht die ästhetischen Ansprüche, stellen jedoch eine metallfreie Alternative dar (SAUPE et al. 1996; AKKAYAN & GOMEZ 2002; ROBBINS 2002). Um den ästhetischen Ansprüchen gerecht zu werden, wurden quarzfaserverstärkte und glasfaserverstärkte Kompositstifte entwickelt und setzten sich durch. Die faserverstärkten Kompositstifte (FRC= fiber-reinforced composite posts) bestehen aus einer Polymermatrix in welche Bündel von Glasfasern eingelagert sind. Am gängigsten sind Glasfasern aus einer Kombination von SiO_2 , CaO , B_2O_3 und Al_2O_3 . Eine andere Möglichkeit sind Glasfasern aus high-strength Glas. Über ein Silan, als Haftvermittler, erfolgt der Verbund zwischen Harz und Faser. Der chemische Verbund zwischen den Adhäsivsystemen mit den Epoxydharzen der Matrix erfolgt über freie Radikale (FERRARI & SCOTTI 2004). Die Transluzenz der Stifte ist unter vollkeramischen Kronen als ästhetisch hochwertige Versorgung positiv zu bewerten (QUALTROUGH & MANNOCCI 2003).

Die präfabrizierten faserverstärkten Kompositstifte haben eine konische oder zylindrokonische, passive Form (KERN et al. 1995; SIMON & PAFFRAHT 1995; KERN et al. 1998; KERN & WEGNER 1998; MANNOCCI et al. 1999; RINKE & HÜLS 1999a; RINKE & HÜLS 1999b; MANNOCCI et al. 2001; SAHAFI 2003). Die Stifte unterscheiden sich nach der Anordnung, der Zusammensetzung und dem Durchmesser der Fasern. Die Fasern der Stifte können miteinander verflochten oder gleichmäßig in Längsrichtung angeordnet sein. Die Wurzelstifte sind in unterschiedlichen Größen, Längen und Durchmessern erhältlich.

Das Elastizitätsmodul der Stifte ist dem von Dentin ähnlich, was aus biomechanischen Gründen günstig erscheint (PURTON & PAYNE 1996; TORBJORNER et al. 1996; OTTL 1998; ROSENTRITT et al. 2000). Bei Stiften aus Metall oder Keramik werden auf Grund des höheren Elastizitätsmoduls im Vergleich zum Dentin, unter der funktionellen Belastung im Wurzelbereich Spannungen erzeugt, welche im ungünstigsten Fall zur Fraktur der Wurzel führen können (ASSIF et al. 1989; BURNS et al. 1990; KERN et al. 1995; FERRARI & SCOTTI 2002; KING

et al. 2003). Das Elastizitätsmodul von Dentin bei endodontisch behandelten Zähnen liegt bei 16 bis 17 Pa (ASMUSSEN et al. 1999). Im Vergleich zu den Stiften aus Metall und Keramik wurden bei den FRC-Stiften weniger Wurzelfrakturen nachgewiesen (ISIDOR et al. 1996; ASMUSSEN et al. 1999; PEST et al. 2002). Neben der ebenfalls guten Biokompatibilität sind die faserverstärkten Wurzelstifte gut revidierbar (TORBJÖNER et al. 1996; MANNOCCI et al. 1999; FERRARI et al. 2000). Bei Komplikationen der Versorgung können die Wurzelstifte entlang der Fasern ausgebohrt werden (MANNOCCI et al. 1999; DE RIJK 2000; ROSENTRITT et al. 2000). Wegen fehlender Langzeiterfahrungen gilt für die Verwendung von FRC-Stiften eine strenge Indikation. Sie sollten nur bei einem mittleren koronalen Zerstörungsgrad und nur in Bereichen ohne hohe funktionelle Beanspruchung verwendet werden (PFEIFFER et al. 2002; KING et al. 2003; DGZMK-STELLUNGNAHME 2003).

Tabelle 1 gibt eine Übersicht über den Vergleich der verschiedenen Stiftmaterialien. Bei dem Vergleich der Bruchfestigkeiten von unterschiedlichen Stiftmaterialien konnte gezeigt werden, dass die faserverstärkten Stifte höhere Werte erzielten als Wurzelstifte aus Metall oder Zirkonoxidkeramik (MC DONALD et al. 1990; ASMUSSEN et al. 1999; RAYGOT et al. 2001; MÖLLERSTEN et al. 2002). Wobei entsprechend zu den Erfahrungen mit gegossenen Stiftaufbauten die Versorgungen mit grazileren Glasfaserstiften öfter frakturierten als dickere (LASSILA et al. 2004). Die Biegefestigkeiten der unterschiedlichen Stiftmaterialien wurden von PFEIFFER et al. (2005 & 2006) in 0,2% Biegeversuchen untersucht. Die Studien verglichen die Biegefestigkeiten in Abhängigkeit vom Stiftdurchmesser und zeigten die höhere Elastizität bei geringerer Belastbarkeit für glasfaserverstärkte Kompositstifte.

Der koronale Aufbau erfolgt üblicherweise mit Kompositen (NAUMANN & BLANKENSTEIN 2002; AKISLI et al. 2003; SAHAFI et al. 2003). Der Verbund zwischen Wurzelstift und Aufbaukomposit kann durch eine Behandlung der Stiftoberfläche mittels tribochemischer Beschichtung verbessert werden (SAHAFI et al. 2003; GORACCI et al. 2005). Viele Hersteller bieten eine Kombination von FRC-Stiften mit dem entsprechenden Befestigungskomposit und Silan an. VDW (München) hat seit einiger Zeit einen vorbeschichteten Stift eingeführt.

Der Einfluss des Speichels sowie die Alterung der Stifte sind noch nicht abschließend untersucht. Die Stifte sollten zirkulär mit einem Komposit ummantelt sein und vom Aufbau komplett gefasst werden, um mögliche Degenerationen zu

vermeiden. Die Entwicklung der FRC-Stifte ist noch nicht abgeschlossen. Zuletzt wurden Stifte mit Retentionskopf oder verbesserter Röntgenopazität entwickelt. Der Retentionskopf soll die Keilwirkung, die bei konischen Stiften aufgrund der fehlenden koronalen Abstützung auftreten kann, vermeiden, den Stift im Bereich der höchsten Belastung verstärken und damit den Indikationsbereich der Wurzelstifte erhöhen. Durch die Verwendung von glasfaserverstärkten Kompositstiften mit Retentionskopf sollen stärker zerstörte Zähne versorgt werden können, wobei die klinischen Langzeiterfahrungen noch fehlen (*DentinPost X*, *ERLANGER-WURZELSTIFT-AUFBAUSYSTEMS*). Die FRC-Stifte erfreuen sich bei den Zahnärzten wegen der metallfreien Alternative, dem zunehmenden ästhetischen Bewusstsein der Patienten und der einfachen, chairside Anwendung immer größerer Beliebtheit. Auf Grund der zunehmenden Popularität bieten immer mehr Hersteller glasfaserverstärkte Wurzelstifte an.

Autor/Journal	Wurzelstifte	Zemente	Oberflächenkonditionierung	Versuchsdesign	Ergebnisse
Drummond et al. Eur J Oral 1999	Karbon Titan	C&B Cement (Bisco)	Sandstrahlung 30 µm für Karbonstifte	Abzugskräfte: 1) ohne 2) Dauerlast 3) Thermocycling 4) Dauerlast und Thermocycling Dauerlast	Bei 4) frakturierten die Karbonstifte vor Erreichen der 2000 Zyklen Dauerlast. Karbonstifte signifikant niedrigere Werte als Titanstifte
Mannocci et al. J Adhesive Dent 1999	1) Astheti Plus (Quarzfaserstift) 2) Astheti Post (Karbonfaserstift) 3) CeraPost (Zirkonoxidstift) 4) ohne Stift	C&B Cement (Bisco)	silanisiert		in 1) und 2) wurde je eine Wurzel- und Stifffraktur beobachtet in Gruppe 3) waren 5 Frakturen Überlebensrate für 3) geringer als für 1) und 2) 1), 2) und 3) höhere Überlebensrate als 4)
Rosentritt et al. J Oral Rehabil 2000	Titan (Komet) Keramik (Ivoclar) Au-Alloy (Degussa) FRC (Ivoclar)	Variolink (Ivoclar) Vivadent), Syntac Zinkphosphatzement	Flusssäure Rocatec	Thermocycling 5°C/55°C, 6000 Zyklen Bruchfestigkeit mit Dauerlast 135° Bruchfestigkeit mit Dauerlast	Beste Werte: Keramik/Flusssäure Keine Signifikanz zwischen Keramik und Titan FRC signifikant < Keramik Beste Ergebnisse Gruppe Quarzfaserstifte Titan- und Keramik frakturierten
Akkayan et al. J Prosthet Dent 2002	Titan Quarzfaser Glasfaser Keramik	Rely X Unicem (3M Espe)	keine		
Janssen & Hülsmann Dtsch Zahnärztl Z 2003	Kontrollgruppe ohne Stift Glasfaserstift Titanstift	Variolink II Zinkphosphatzement	keine	Thermocycling Bruchlastversuch	Titanstifte > Glasfaserstifte bei Versagen der Titanstifte fast immer Wurzelfrakturen
Toksavul et al. J Oral Rehabil 2004	Keramik Keramik FRC Titan Kontrollgruppe ohne Stift	Variolink II Harvard Zement	keine	Bruchfestigkeit mit Dauerlast 135°	Höchste Bruchfestigkeit: Titan gefolgt von Zirkonoxidkeramik, dann FRC niedrigste Bruchfestigkeit: Kontrollgruppe
Rosentritt et al. Dtsch Zahnärztl Z 2004	Faserverstärkte Stifte Vollkeramikstift	Variolink II, Syntac	Entsprechend der Herstellerrangaben	Thermocycling 5°C/55°C, 6000 Zyklen Dauerlast 135°	Glasfaserverstärkte Stifte < Vollkeramik-stifte
Bitter et al. J Prosthet Dent 2006	Zirkoniumoxidstift FRC-Stift	Clearfil Core (Kuraray) MultiLink (Ivoclar) Panavia F (Kuraray) Perma Flo DC (Ultradent) Variolink II (Ivoclar) Rely X Unicem (3M Espe) Ketac Cem (3M Espe)	CoJet Rocatec Soft (30µm) Rocatec Pre (110 µm)	Abzugskräfte	Signifikante Unterschiede: FRC > Zirkonoxidkeramik Pretreatment signifikant höher als Kontrollgruppe, dabei Rocatec > CoJet

Tabelle 1: Vergleich der Wurzelstifte

2.4 Befestigungsmaterialien für Wurzelstifte

2.4.1 Konventioneller Zinkphosphatzement

1858 entwickelte S. A. Rostaing mit seinem Sohn Charles den ersten brauchbaren Zinkphosphatzement. Bis zur Jahrhundertwende fand der Phosphatzement einen breiten Anwendungsbereich in der zahnärztlichen Praxis. Mit der Weiterentwicklung und Verbesserung der Zemente wurde der Zinkphosphatzement als definitives Füllungsmaterial immer mehr verdrängt, behielt jedoch zur Verankerung von metallischen Restaurationen seine Bedeutung. Zur definitiven Befestigung von Restaurationen hat sich ein feinkörniger Zinkphosphatzement (15 µm) bewährt (ROSENSTIEL et al. 1998; FEHÉR et al. 1999; NERGIZ & SCHMAGE 2004). Im abgebundenen Zustand besitzt der Zinkphosphatzement nur eine geringe Klebekraft. Während die Haftung der heutigen Befestigungskomposite auf einer kombinierten chemischen und mechanischen Retention beruht, haftet der Zinkphosphatzement durch mechanische Verkeilung von Zementbestandteilen in Oberflächenrauigkeiten beider miteinander zu verklebender Flächen (ØILO & JØRGENSEN 1978; MARXKORS & MEINERS 1982; NERGIZ & SCHMAGE 2004). Ein Vorteil des Zementes ist seine einfache, wenig techniksensitive und schnelle Verarbeitung (FEHÉR et al. 1999; STOCKTON 1999). Der Nachteil ist die Lockerung der Restauration in Folge einer mechanischen Ermüdung des Zinkphosphatzementes (FEHÉR et al. 1999).

Die Retention kann im Falle metallischer Wurzelstifte durch die Anrauhung des Wurzelzentrums und die Behandlung der Oberfläche mittels Sandstrahlung deutlich erhöht werden (NERGIZ et al. 1993; NERGIZ et al. 1997; MILLER et al. 1998). Das Anrauen des Wurzelzentrums erfolgt, nach der Stiftpräparation direkt vor dem Zementieren des Stiftes, manuell mit einem diamantierten Instrument (ER-System, Komet, Lemgo). Beim Zementieren wird nur der Wurzelstift mit dem Zement beschickt und mit pumpenden Bewegungen in den vorbereiteten Wurzelkanal eingebracht. Durch dieses Vorgehen wird sichergestellt, dass das überschüssige Befestigungsmaterial abfließen kann. Bis zur Aushärtung soll der Wurzelstift mit leichtem Druck fixiert werden. Die ideale Voraussetzung für eine maximale Friktion wird durch eine 30 bis 50 µm breite Zementfuge geschaffen (JØRGENSEN 1960; SCHMAGE et al. 1992; NERGIZ & SCHMAGE 2004). Eine breitere Zementfuge wird sich negativ auswirken, da für eine dauerhafte Retention und zur Vermeidung des

Herauswaschens eine Breite von unter 50 µm gefordert wird (Øilo & JØRGENSEN 1978; EICHNER 1981). SCHMAGE et al. beschrieben 1992 eine durchschnittliche Zementfugenbreite 37 bis 42 µm beim Einsetzen von Titanstiften des ER-Stiftsystems. Die Breiten unterschieden sich vor und nach dem Zementieren nicht signifikant. Verantwortlich dafür war das formkongruente Stiftbettpräparationsinstrument, das eine gute Passung unter Berücksichtigung des Zementspaltes herstellte.

2.4.2 Befestigungskomposite

Zum Einsetzen von Keramik- oder faserverstärkten Kompositstiften sollten Befestigungskomposite verwendet werden, da sie einen chemisch-mechanischen Haftverbund bieten und bakterielles Mirkoleakage vermeiden. Außerdem sollen diese die unterschiedlichen Elastizitätsmodule von Wurzeldentin und Stiftmaterial, wie ein Puffer, ausgleichen (TROPE et al. 1985; STIEFENHOFER et al. 1994; MENDOZA et al. 1997; FEHÉR et al. 1999; DÉRAND & DÉRAND 2000; EDELHOFF et al. 2000a; FERNANDES & DESSAI 2001; SAHAFI et al. 2003). Auf Grund der Materialeigenschaften von konventionellem Zinkphosphatzement und der schlechteren Verbindung zum Dentin bzw. zum Stiftmaterial, hat der klassische Befestigungszement eine geringere Pufferwirkung (EDELHOFF et al. 2000b).

Die adhäsiven Befestigungsmaterialien bestehen aus einer Kunststoffmatrix und anorganischen Füllkörpern. Bei den Befestigungskompositen werden adhäsive Kleber, modifizierte Komposite und Komposite unterschieden. Während bei den Kompositen das Monomer auf Dimethacrylat-Basis mit anorganischen Füllkörpern aus silanisierten Glas- oder Keramikpartikeln ist, sind die modifizierten Komposite ebenfalls auf Dimethacrylat- oder Bis-GMA-Basis (Bis-Phenol-Glycidyl-A-Methacrylat) ausgelegt. Außerdem werden Befestigungskomposite auf Methylmethacrylat-Basis angeboten. Kleber auf Bis-GMA-Basis mit aktivierten Phosphorestern dienen zur Befestigung von metallischen Restaurationen (NAUMANN 2000). Die Füllkörper sollen die Wasseraufnahme und die Polymerisationsschrumpfung reduzieren und gleichzeitig die Druck- und Abrasionsfestigkeit erhöhen (POWERS 2002).

Die Haftung der Befestigungskomposite erfolgt zum einen chemisch und zum anderen mechanisch. Jedoch ist die mikromechanische Retention weniger relevant,

obwohl ein Teil der Haftfestigkeit über eine mechanische Verkeilung der Partikel erfolgt. Um bakterielles Mikroleakage zu vermeiden, ist nicht nur die chemische Dentinhaftung ideal, sondern die Wurzelstifte sollten ebenfalls an der Oberfläche behandelt und der Wurzelkanal angeraut werden, um einen noch besseren Verbund zum Komposit herzustellen (FLEISSNER 1996; DGZMK-STELLUNGNAHME 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003). Die chemische Abbindung ist eine Polymerisationsreaktion, welche durch einen Katalysator aktiviert wird. Bei den dualhärtenden Befestigungskompositen kann diese Reaktion chemisch oder durch Licht aktiviert werden (MARXKORS & MEINERS 2001). Auf Grund der schlechten Lichtleitung im Wurzelkanal sollten zur Befestigung von Wurzelstiften nur chemisch oder dualhärtende Komposite verwendet werden (NAUMANN & BLANKENSTEIN 2004; PATYK et al. 2005). Ebenfalls sollte ein dualhärtendes Bonding, d.h. ein mit einem Aktivator zuversetzendes, verwendet werden.

Die Frage, ob eine minimale Zementfuge auch bei der Verwendung von Befestigungskompositen von Vorteil wäre oder ob eine breitere Zementfuge wegen der geringeren Kontraktionskräfte anzustreben ist, ist noch nicht abschließend geklärt (NERGIZ & SCHMAGE 2004). Die Stabilität der Komposite erscheint nicht ausreichend, um eine breitere Fuge zu füllen und die selben Haftfestigkeiten zu erreichen (PINTO 2008; SCHMAGE et al. 2008). ROSENSTIEL beschreibt dagegen die Schrumpfung der Befestigungskomposite als Problem (ROSENSTIEL et al. 1998). Auf Grund einer anderen Struktur des apikalen Wurzel Dentins ist der Haftverbund geringer als zum koronalen Dentin (MORGANO 1996; DIETSCHI et al. 1997; SCHMAGE 2003). Zudem können Fehler bei der Verarbeitung der Befestigungskomposite und bei der Vorbereitung der Wurzelkanaloberfläche die Haftfestigkeit stark reduzieren (MORGANO 1996; STOCKTON 1999; SCHMAGE et al. 2001). Eugenolhaltige provisorische Zemente zur Befestigung der Stiftprovisorien oder eugenolhaltige Sealer beeinflussen die Haftfestigkeit der Komposite negativ. Einen ebenfalls ungünstigen Einfluß auf die Haftfestigkeit hat die Spülung des Wurzelkanals mit NaOCl- haltigen Spüllösungen (STOCKTON 1999; WATANABE et al. 1999; SCHMAGE et al. 2003).

In verschiedenen Studien haben sich eine Vielzahl von Befestigungskompositen bewährt (Tab. 2), so dass eine Empfehlung auf Grund des wechselnden Angebotes nicht gegeben werden kann (COHEN et al. 1998; KERN et al. 1998; DÉRAND & DÉRAND 2000; MANNOCI et al. 2001; SCHÖNBRODT et al. 2003). In den letzten

Jahren wurden die Komposite hinsichtlich der Materialeigenschaften, dem Dentinverbund und der Abbindung weiterentwickelt. Das Problem der Adhäsion zwischen Befestigungskomposit und Wurzeldentin scheint durch die Einführung von autopolymerisierenden Bondings zuverlässig gelöst (FERRARI et al. 2001; GORACCI et al. 2004; GRANDIDI et al. 2005a/b). Man unterscheidet bei den Befestigungskompositen 3 und 2 Stufensysteme. Bei den 3 Stufensystemen, wie zum Beispiel *Compolute (3M Espe)*, wird zuerst das Dentin mit Phosphorsäure konditioniert, dann das Adhäsiv und in einem dritten Schritt das Bonding appliziert. Dagegen gehört *Panavia 21EX (Kuraray, Japan)* zu den 2 Stufensystemen. Hier sind das Bonding und das Adhäsiv zum sogenannten Primer zusammengefasst und werden direkt nach der Konditionierung der Dentinoberfläche aufgetragen. Das Problem dieser Systeme ist die Techniksensitivität. Inzwischen werden selbstkonditionierende Befestigungssysteme angeboten, wie zum Beispiel *Rely X Unicem (3M Espe,)*. Diese Systeme benötigen nur einen Arbeitsschritt und vermeiden so Anwendungsfehler (PIWOWARCZYK et al. 2002). Die Benetzung der Stiftoberfläche mit dem Adhäsiv und Bonding wird bei den FRC-Stiften empfohlen, da durch eine Diffusion in die oberflächlichen Kompositbestandteile ein besserer Haftverbund erzielt wird (NAUMANN & BLANKENSTEIN 2002; EDELHOFF et al. 2006; MANNOCCI et al. 2006).

Autor/Journal	Zemente	Art	Wurzelstifte	Versuchsdesign	Ergebnisse
Utter et al. JADA 1997	Panavia 21 EX Modern Tenacin	Kst Phz	Para Post (Coltene)	Thermocycling 500x Abzugskraftmessung	Haftfestigkeit von Panavia signifikant höher als Phosphatzement Thermocycling reduziert die Haftfestigkeiten
Braga et al. J Oral Rehabil 2002	1) Enforce 2) Variolink II 3) Rely X 4) C&B	Kst Kst Kst Kst	keine	Dreipunkt-Biege-Test	3) dualhärtend höhere Werte als anderen Gruppen 2) und 3) zeigten nach Lichtaktivierung höhere Festigkeitswerte 1) hat höhere Werte als Dualzement, selbsthärter Zement keine Signifikanzen in der Elastizität zwischen den verschiedenen Gruppen
Rosin et al. Quintessenz 2003	1) Harvard 2) Ketac-Cem 3) Dyract 4) Compolute 5) ohne	Phz GPZ Kompomer Kst	Perma-tex aktiv (DeguDent)	Wasserlagerung: A) ohne B) mit Thermocycling C) mit Thermocycling und Dauerlast Abzugskraftmessung	A: 3) signifikant höher; 1) und 4) auf gleichem Niveau B: 4) signifikant höher 3) und 1) stark reduziert 2) niedrigste Werte C: 1) signifikant niedrigere Werte 2), 3) und 4) waren gleich, wobei Belastung bei 4) zu einer Abnahme der Werte führte
Schmage et al. J Oral Rehabil 2004	1) Compolute 2) Flexi Flow 3) Panavia 21 Ex 4) Twinlook	Kst Kst Kst Kst	Titan sandgestrahlt	A) ohne Konditionierung B) Ätzen mit 37%iger Phosphorsäure C) Ätzen und Bonding	Keine Signifikanzen zwischen A), B) und C) bei Compolute und Twinlook Flexi Flow: signifikant höhere Werte für A) im Vergleich zu C) Panavia 21 Ex: signifikant niedrigere Werte für A) und B) im Vergleich zu C) und einem verwendeten Primer
Luthy et al. Dent Mater 2006	1) Ketac Cem 2) Nexus 3) Rely X Unicem 4) Superbond C&B 5) Panavia 6) Panavia 21	GPZ Kst Kst Kst Kst Kst	Zirkonoxidstifte (ZrO2-TZP)	Scherversuche ohne und mit Thermocycling (10000 Zyklen)	Frakturen erfolgten im Zement bzw. zwischen Keramik und Zement Signifikante Abnahme der Haftfestigkeiten für Ketac Cem und Nexus nach Thermocycling Nexus in Kombination mit tribochemischer Beschichtung erzielte höhere Ergebnisse Kunststoffe erzielten bessere Ergebnisse nach Thermocycling Höchste Haftfestigkeiten für Panavia 21

Tabelle 2: Vergleich der Befestigungskomposite

2.5. Oberflächenbehandlung der Wurzelstifte

Neben einem guten Haftverbund von Wurzeldentin und Befestigungsmaterial ist für die Haftfestigkeit von Wurzelstiften ebenfalls der Verbund zwischen Befestigungskomposit und Stiftoberfläche relevant. Dieser Verbund kann durch Oberflächenbehandlung verbessert werden (Tab. 3). Für die Behandlung der Stiftoberfläche stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. So wurden zum Beispiel die Stifte an der Oberfläche sandgestrahlt, mit verschiedenen Säureätzverfahren behandelt oder tribochemisch beschichtet (PURTON & PAYNE 1996; SCHÖNBRODT et al. 2003; SCHMAGE et al. 2006). Die Anwendung von Flusssäure in Kombination mit einer Silanbeschichtung erhöht die Haftfestigkeit zwischen Komposit und Feldspatkeramik (VANO et al. 2006). Die Anätzung der Oberfläche nutzt die leichte Löslichkeit von Feldspatkeramik gegenüber fluorionenhaltigen Säuren. Diese Methode führt jedoch bei den Aluminiumoxid- und Zirkonoxidkeramiken nicht zu den bekannten mikroretentiven Mustern (GÖBEL et al. 1998; EDELHOFF et al. 2000a). Der Nutzen der Flusssäureätzung ist auf Grund der Gefahren im Umgang mit der Säure abzuwägen (SCHMAGE et al. 2003a). Die Sandstrahlung hat sich bei Metallstiften zur Steigerung der Haftung schon seit längerem bewährt, indem die mikromechanische Retention für den Zement erhöht wird. Die tribochemische Oberflächenbeschichtung kann auf verschiedenen Materialien wie beispielsweise Metall-, Keramik- und FRC- Stiften angewendet werden und steigerte die Haftfestigkeiten für alle drei Stiftmaterialien zusätzlich (GÖBEL et al. 1998; KERN & WEGNER 1998; NERGIZ et al. 2001; AKISLI et al. 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003; SCHMAGE et al. 2006). Der Vorteil der tribochemischen Behandlung von Oberflächen liegt in der Möglichkeit dieses Verfahrens chairside anzuwenden und vermeidet den Umgang mit starken Chemikalien. Das Prinzip entspricht dem zum Beispiel für die Zahntechnik entwickelten *Rocatec-Verfahren* (3M Espe) oder dem *Silicoater-Verfahren* (Heraeus Kulzer, Hanau), wobei hier der Verbund von Verblendkunststoff zu Metallgerüsten durch Silikatisierung erreicht werden soll (TILLER et al. 1984; PEUTZFELD & ASMUSSEN 1988; PFEIFFER et al. 1993; PFLÜGL 1994). Durch die tribochemische Beschichtung wird zum einen eine mechano-chemische Adhäsion und zum anderen durch den Substanzabtrag eine Säuberung der Oberfläche erreicht (EDELHOFF 1998 b). Die Oberfläche von Wurzelstiften wird direkt vor der Insertion der Stifte tribochemisch beschichtet. Dies kann zum Beispiel mit dem *CoJet-System* (3M Espe)

und einem Handstrahlgerät direkt am Behandlungsstuhl erfolgen. Das CoJet-System besteht aus dem CoJet-Sand und einer Silanlösung. Bei dem Verfahren wird der CoJet-Sand, welcher eine Mischung aus 30 µm Aluminium- und Siliziumoxid ist, mit Hilfe des Sandstrahlgerätes auf die Oberfläche der Wurzelstifte aufgebracht. Das Korund erzeugt auf der Stiftoberfläche Mikroretentionen und erhöht die Oberflächenenergie des bestrahlten Materials. Im Anschluss wird die Silanlösung appliziert und dabei der Verbund zwischen dem Stiftmaterial und den Glasparkeln im Komposit vermittelt. (EDELHOFF & MARX 1995; EDELHOFF et al. 2000; NERGIZ et al. 2001; VALLITTU & KURUNMÄKI 2002). Das CoJet-Verfahren wurde ursprünglich zur Behandlung von Keramikrestorationen vor ihrer adhäsiven Befestigung entwickelt und ebenfalls erfolgreich zum Kleben von Brackets auf bestehenden festsitzenden Zahnersatz und zur intraoralen Reparatur von insuffizienten Keramik- und Kunststoffverblendungen eingesetzt (PROÄNO 1997; AKISLI et al. 1999 & 2003; SCHMAGE et al. 2003a; NERGIZ 2004; SELÇUK 2006). Die tribochemische Oberflächenbeschichtung wurde bereits an Titanstiften untersucht, wobei hierbei nur für den Befestigungskomposit *Compolute (3M Espe)* die Haftfestigkeit signifikant gesteigert werden konnte (SCHÖNBRODT et al. 2003; SCHMAGE et al. 2006). Die Kombination von tribochemischer Oberflächenkonditionierung und Befestigungskompositen war nur bei der Verwendung bestimmter Materialien effizient (ROSENTRITT et al. 2000; SAHAFI et al. 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003). Die Frage, wie diese Materialien nach der Oberflächenkonditionierung auf eine thermische Dauerbelastung reagieren, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht abschließend geklärt. Ebenfalls ist bis jetzt unklar wie andere, neueingeführte Befestigungskomposite, auf dieses Verfahren der Oberflächenbehandlung reagieren (OTTIL et al. 2002; SCHMAGE et al. 2004).

Autor/Journal	Oberflächenkonditionierung	Wurzelstifte	Zemente	Versuchsdesign	Ergebnisse
Edelhoff et al. Dtsch Zahnärztl Z 2000	1) Flusssäure 2) Diamantschleifer 50µm 3) Sandstrahlung 110µm 4) Rocatec 110µm	Keine Aluminiumkeramik- Körper (In-Ceram) Zirkonoxidkeramik- Körper (TKT Metoxid)	Panavia 21 EX Variolink II	Drei-Punkt-Biegeversuch, künstliche Alterung	1) erreichte die geringsten Haftfestigkeiten 4) erreichte die höchsten Werte, wobei die Kombination mit Variolink II am höchsten war Panavia zeigte bei Aluminiumkeramik signifikant höhere Werte als Variolink II Silanisieren bewirkte unabhängig von Keramik und Zement signifikante Steigerung der Haftfestigkeit Nach 150 Tagen ausreichende Stabilität außer silikatisierte Aluminiumkeramik
Nergiz et al. J Dent Res 2001	1) Sandstrahlung 2) Tribochemische Beschichtung	Titan (Komet)	A) Compolute (Espe) B) Flexi Flow (EDS) C) Panavia 21 Ex (Kuraray) D) Twinlock (Heraeus- Kulzer) E) Zinkphosphat (Tenet)	Abzugskraftmessungen nach Thermocycling	Signifikant höhere Werte für Compolute mit 2) im Vergleich zu 1)
Özcan et al. Int J Prosthodont 2001	1) 5%ige Flusssäure 2) Sandstrahlung 3) tribochemische Beschichtung anschließend Silanapplikation	Keine In Ceram Proben	Kunststoffzemente Kompomer	Abzugskraftmessungen nach Thermocycling	Haftfestigkeiten für Kompomer nach 3) signifikant geringer als für Kunststoffe Haftfestigkeiten der unterschiedlichen Zemente variierte stark
Robin et al. Dent Mater 2002	1) Sandstrahlung Rocatec Pre 2) tribochemische Beschichtung Rocatec plus 3) ohne	Keine Au-Pt-Pd Zylinder Feldspatkeramik- zylinder	keine	Thermocycling Weibull	Oberflächenbehandlung steigerte Werte signifikant Thermocycling hatte einen leicht zunehmenden Effekt für die Keramikhaftung

Tabelle 3: Vergleich der Oberflächenkonditionierung

Autor/Journal	Oberflächenkonditionierung	Wurzelstifte	Zemente	Versuchsdesign	Ergebnisse
Schönbrodt et al. Dtsch Zahnärztl Z 2003	1) unbehandelt 2) sandgestrahit 3) tribochemische Beschichtung	Cera Post Dentin Post Titan (Komet)	Panavia 21 Ex (Kuraray) Compolute (3M Espe) PhosphaCem (Vivadent)	Abzugskraftmessung ohne Thermocycling	Beste Ergebnisse: Compolute mit 3) Keine Unterschiede zwischen DentinPost und CeraPost, jedoch signifikant niedriger als Titan
Balboosh et al. J Prosthet Dent 2006	1) Alkohol 2) Alkohol und Primer 3) Sandstrahlung 50 µm 4) Sandstrahlung 50 µm und Primer	Dentin Post (Komet)	Panavia F	Abzugskraftmessung nach Thermocycling	Besten Ergebnisse für 4) und 3) ohne signifikanten Unterschied 3) und 4) signifikant höher als 1) und 2)
Schmage et al. Dent Mat 2006	1) Sandstrahlung 2) tribochemische Beschichtung	Titanstifte	Compolute Flexi Flow Panavia 21 Ex Twinlook Tenet	Thermocycling Dauerlast Abzugskraftmessung	Keine Signifikanzen nach Sandstrahlung Compolute signifikant höhere Ergebnisse nach 2) gegenüber allen Zementen Flexi Flow nach 2) signifikant geringere Werte Höchste Werte für Compolute nach 2) Keine Signifikanzen für Tenet nach 1)
Valandro et al. J Adhes Dent 2006	1) 32%ige Phosphorsäure und Silanapplikation 2) 10%ige Flussäure und Silanapplikation 3) tribochemische Beschichtung (Co Jet System)	FRC Stifte	Duo Link	Abzugskraftmessung	Haftfestigkeiten für 3) signifikant höher als für 2) und 1) Frakturen verliefen alle zwischen Zement und FRC
Magni et al. J Adhes Dent 2007	1) Sandstrahlung 2) Sandstrahlung und Silan 3) Silan 4) ohne	FRC Stifte	Multilink MultiCore Variolink II Monobond-S (Silan)	Microtensile	Keine Unterschiede zwischen den Zementen 2) erzielt höhere Ergebnisse als 1) und 4) 3) signifikant höhere Werte als 4) keine Signifikanzen zwischen 2) und 3)

Tabelle 3: Vergleich der Oberflächenkonditionierung

3. Fragestellung

Die Fragestellungen der vorliegenden Arbeit waren:

1. Gibt es Unterschiede der Haftfestigkeiten von präfabrizierten Wurzelstiften aus Zirkonoxidkeramik und glasfaserverstärktem Komposit des Erlanger Wurzelstiftsystems (Komet, Lemgo)?
2. Inwieweit beeinflusst eine Konditionierung der Stiftoberfläche die Haftfestigkeit und welche Oberflächenbehandlung scheint für einen klinischen Einsatz am geeignetsten?
3. Welches Befestigungsmaterial erreicht die höchsten Haftwerte?
4. Wie stellen sich Haftfestigkeit und Bruchverhalten der Wurzelstifte nach künstlicher Alterung dar?

4. Material und Methode

4.1 Versuchsdesign

In dieser Arbeit wurden konische Wurzelstifte aus Zirkonoxidkeramik (CeraPost) und glasfaserverstärktem Komposit (DentinPost) des Erlanger Wurzelstiftsystems (Brasseler, Lemgo) der Größe II mit einer Länge von 12 mm untersucht (Abb. 1). Die durchschnittlichen Oberflächenrauigkeiten R_z der DentinPost betragen herstellungsbedingt 13 μm , die der CeraPost 4 μm . In Vorversuchen wurde die Oberflächenrauigkeit R_z an je 3 Stiften stichprobenartig an 3 Messstellen ermittelt.

Um den Einfluss von Oberflächenkonditionierungen zu untersuchen, wurden CeraPost und DentinPost zusätzlich mit Aluminiumoxid sandgestrahlt und alle drei Materialien tribochemisch mit dem CoJet System (3M Espe) beschichtet. Es wurden anschließend die Wurzelstiftoberflächen im REM untersucht und ihre durchschnittliche Oberflächenrauigkeit R_z bestimmt.

Die Oberflächenbehandlungen erzeugten für den DentinPost eine Rautiefe von 15,05 μm für die sandgestrahlte und von 14,9 μm für die tribochemisch beschichtete Oberfläche. Der Substanzabtrag betrug 0,0031 μm für die sandgestrahlte Oberfläche und 0,004 μm für die mit dem CoJet System behandelte Oberfläche.

Für den CeraPost wurde nach der Sandstrahlung der Oberfläche eine Rautiefe von 4,7 μm und nach der tribochemischen Oberflächenbeschichtung eine Rautiefe von 4,2 μm erreicht. Der Substanzabtrag lag für beide verwendeten Oberflächenbehandlungen bei 0,0034 μm .

Bei einigen Stiften wurden nach einer Behandlung der Oberfläche gleiche bzw. größere Durchmesser ermittelt, was auf die Toleranz des Messmittels von 0,005 mm zurückzuführen war.

Das Einsetzen der Stifte erfolgte mit den beiden dualhärtenden Befestigungskompositen Compolute (3M Espe) und Panavia 21EX (Kuraray, Osaka, Japan). Compolute wurde mit 37%iger Phosphorsäure konditioniert und mit dem EBS Multi Primer sowie EBS Multi Bond verarbeitet. Für Panavia 21EX erfolgte die Konditionierung mit dem ED Primer aus den Flüssigkeiten A und B, das Komposit wurde aus Paste und Katalysator zusammengemischt. Der Zinkphosphatzement PhosphaCem PL (Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein) wurde als Kontrollgruppe mit den unbehandelten und sandgestrahlten Oberflächen verwendet. Auf diese Weise wurden 16 Hauptgruppen zu je 20 Stiften gebildet. Die verwendeten Materialien sind in Tabelle 4 aufgelistet. In Tabelle 5 ist die Einteilung der

Versuchsgruppen dargestellt. Nach der Stiftinsertion wurden die Proben für 24 Stunden feucht gelagert. Jeweils 10 Proben einer Gruppe wurden ohne Thermocycling abgezogen und 10 Proben einem Thermocycling unterzogen. Damit ergaben sich für diese Arbeit insgesamt 32 einzelne Versuchsgruppen zu je 10 Probenkörpern.

Die Stifte wurden mit Hilfe der Instron - Maschine axial abgezogen und die Abzugskräfte in Newton gemessen. Anschließend wurden die Bruchmodalitäten bestimmt, indem die Wurzeln nach Entfernung des Stiftes längs aufgesägt wurden und die verbliebenen Zementreste auf Wurzel und Stift lichtmikroskopisch analysiert wurden. Die Abzugskraftergebnisse wurden statistisch ausgewertet.

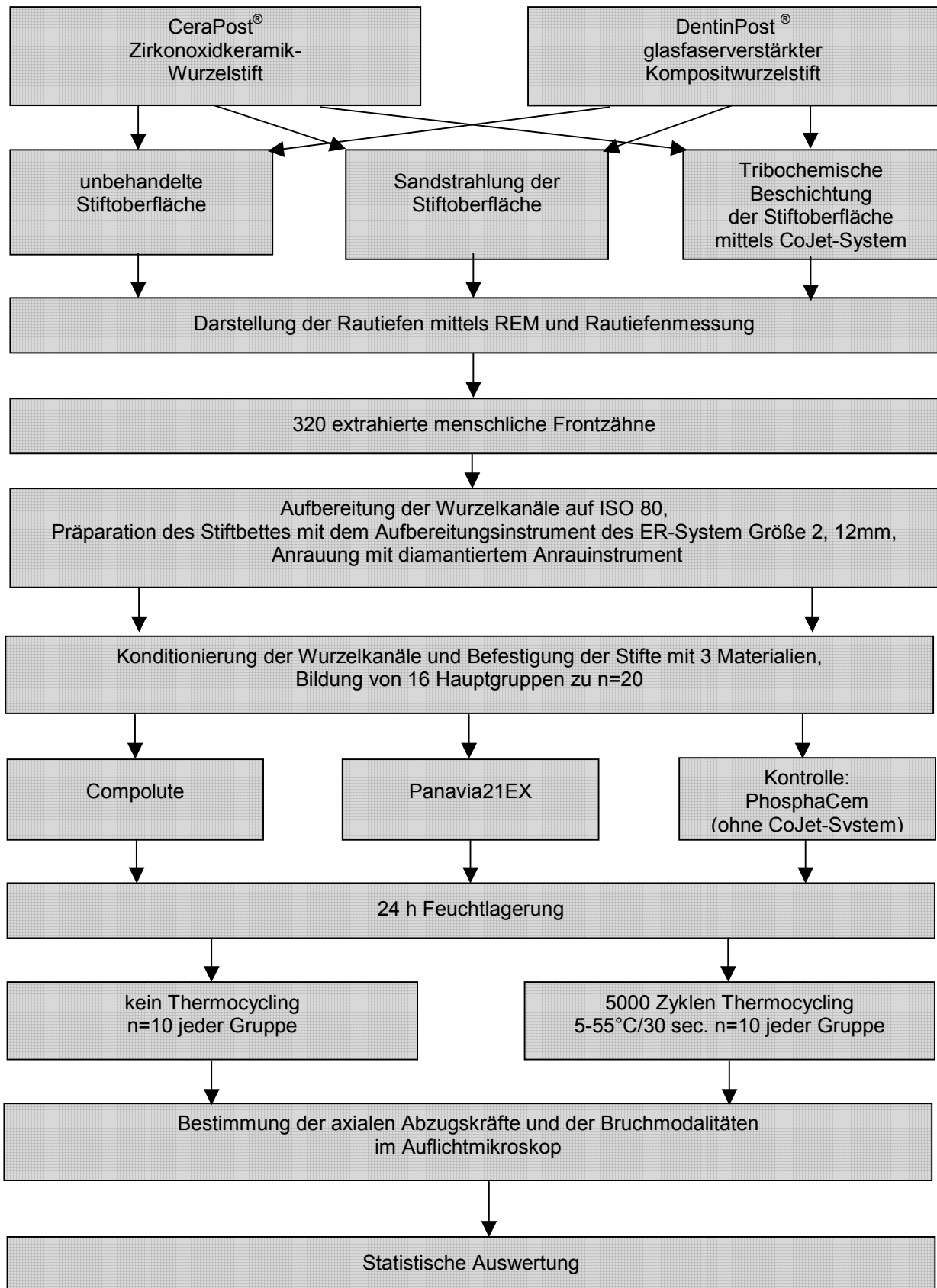


Abbildung 1: Versuchsdesign

Produkt	Hersteller und Ort	Beschreibung
Hedströmfeilen und Reamer (ISO 15 bis 90)	Anteos, VDW, München	endodontische Aufbereitung
<u>ER-Wurzelstiftsystem:</u> - Präparationsinstrumente - diamantiertes Anrauinstrument - glasfaserverstärkte Kompositstifte (DentinPost) - Zirkonoxidkeramikstifte (CeraPost)	Komet, Lemgo	Präparation des Stiftbettes Anrauen des Wurzelkanals konisch passive Stifte konisch passive Stifte
<u>Befestigungsmaterialien:</u> Comolute Apicap Panavia 21EX PhosphaCem PL	3M Espe, Seefeld Kuraray, Osaka, Japan Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein	empfohlene Verwendung mit: Konditionierung und Bonding Primer ohne Konditionierung
<u>Sandstrahlung:</u> Aluminiumkorrund	Harnisch & Rieth, Winterbach	verwendete Körnung: DentinPost 150 µm CeraPost 250 µm
<u>Tribochemische Beschichtung:</u> CoJet-System RONDO flex 2013	3M Espe, Seefeld KaVo, Bieberach	CoJet-Sand und Silan Handstrahlgerät

Tabelle 4: Materialien

Zemente	Dentinpost			Cerapost		
	unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet	unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet
Compolute	20	20	20	20	20	20
Panavia 21EX	20	20	20	20	20	20
Kontrollgruppe PhosphaCem PL	20	20		20	20	

Tabelle 5: 16 Versuchsgruppen zu je 20 Probekörpern aufgeteilt nach Stiftmaterial, Oberflächenbehandlung und Befestigungsmaterial.

4.2 Probenherstellung

Vorbereitung der Wurzeln

Als Prüfkörper dienten 320 frisch extrahierte menschliche Frontzähne, die in physiologischer Kochsalzlösung gelagert wurden. Die Kronen wurden mit einer Trennscheibe unter Wasserkühlung so abgetrennt, dass der Wurzelkanal senkrecht zur Schnittebene verlief und eine Mindestwurzellänge von 14 mm verblieb. Es wurde darauf geachtet, dass das Kanallumen zur Aufnahme konfektionierter Wurzelstifte der Größe 2 des Erlanger Wurzelstiftsystems geeignet war. Die endodontische Aufbereitung der Wurzelkanäle erfolgte bis zu der ISO-Größe 50 maschinell mit einem Endo-Winkelstück. Anschließend wurden die Kanäle um zwei weitere Größen auf ISO-Größe 60 von Hand aufbereitet. Dieses Vorgehen hat sich in Vorversuchen bewährt, um eine exakte kanaläre Passung der Wurzelstifte zu erzielen.

Im Anschluss daran erfolgte die Stiftbettpräparation mit dem entsprechenden Kanalerweiterungsinstrument der Größe 2 (entsprechend ISO 90) auf 12 mm Länge durch Aufstecken der entsprechenden Tiefenlehre (Abb. 2; Tab. 4). Die Wurzelkanäle wurden mit dem formkongruenten diamantierten Aufrauinstrument durch 5malige manuelle Rotation kurz vor dem Zementieren der Stifte angeraut. Während der gesamten Vorbereitung erfolgte eine intensive Spülung mit 1,5%igem Natriumhypochlorid. Abschließend wurden die Wurzelkanäle mit Papierspitzen getrocknet. Die Friktion und die wandständige Passung der Stifte wurde vor dem Zementieren überprüft und apikale Perforationen vermieden. Alle Wurzeln wurden randomisiert auf 16 Gruppen zu je n=20 verteilt.



Abbildung 2: ER - Plateaubohrer, ER – Kanalerweiterungsinstrument der Größe II mit Tiefenlehre für 12 mm, ER - Diamantanrauinstrument der Größe II und Stifte: links Keramik und rechts FRC-Stift.

Oberflächenbehandlung der Stifte

Direkt vor der Insertion wurden die Stiftoberflächen von je 60 DentinPost und CeraPost sandgestrahlt, sowie von je 40 DentinPost, CeraPost im gesamten konischen Anteil tribochemisch beschichtet.

Die Keramik- und FRC- Stifte wurden mit Aluminiumoxid (Glanzstahlmittel EW 60/250 μm für die CeraPost und EW 150A/150 μm für die DentinPost) von Hand im zahntechnischen Labor sandgestrahlt. Die Sandstrahlung erfolgte unter kontinuierlicher Rotation der Stifte mit einem Strahldruck von 3 bar in 5 cm Abstand. Die Zirkonoxidstifte wurden für 60 s mit Aluminiumkorund der Körnung 250 μm sandgestrahlt. Die glasfaserverstärkten Kompositstifte wurden mit einer Körnung von 150 μm für 2 s sandgestrahlt. Vorversuche ergaben, dass eine längere Behandlung der DentinPost-Oberfläche nicht sinnvoll war, da sonst zu viel und zu ungleichmäßig Substanz abgetragen wurde und die Passung der Stifte verschlechtert hätte. Die CeraPost zeigten mit feinerem Strahlmittel mikroskopisch keinerlei Veränderungen an der Oberfläche. Aus diesem Grund wurden die Zirkonoxidstifte mit dem gröberen Aluminiumkorund für eine deutlich längere Zeit sandgestrahlt. Nach der Sandstrahlung wurden überschüssige Partikel per Luftpüster weggeblasen. Für die tribochemische Oberflächenbehandlung der Stifte wurde das CoJet System (3M

Espe) verwendet. Dieses System besteht aus dem CoJet Sand (SiO_2 und Al_2O_3) mit einer Körnung von $30\ \mu\text{m}$ und dem Silan 3M ESPE Sil. Alle Stiftoberflächen wurden chairside für 10 s mit dem CoJet Sand bei 2,5 bar und 2 cm Abstand mit Hilfe des Strahlgerätes (KaVo RONDO flex 2013, Bieberach) (Abb.4) unter kontinuierlicher Rotation der Stifte bestrahlt.



Abbildung 3: CoJet System



Abbildung 4: Strahlgerät RONDO flex 2013

Anschließend wurde die Silanlösung 3M ESPE Sil appliziert. Die leicht flüchtige Lösung wurde für 5 min. bei Raumtemperatur getrocknet.

Bis zur Verarbeitung wurden die Oberflächen nicht mehr berührt. Zusätzlich vorbehandelte Stifte der zwei Stiftmaterialien wurden mit den verschiedenen Oberflächenbehandlungen rasterelektronenmikroskopisch analysiert (Abb. 5-7: für den CeraPost; Abb. 8-10: für den DentinPost).

CeraPost

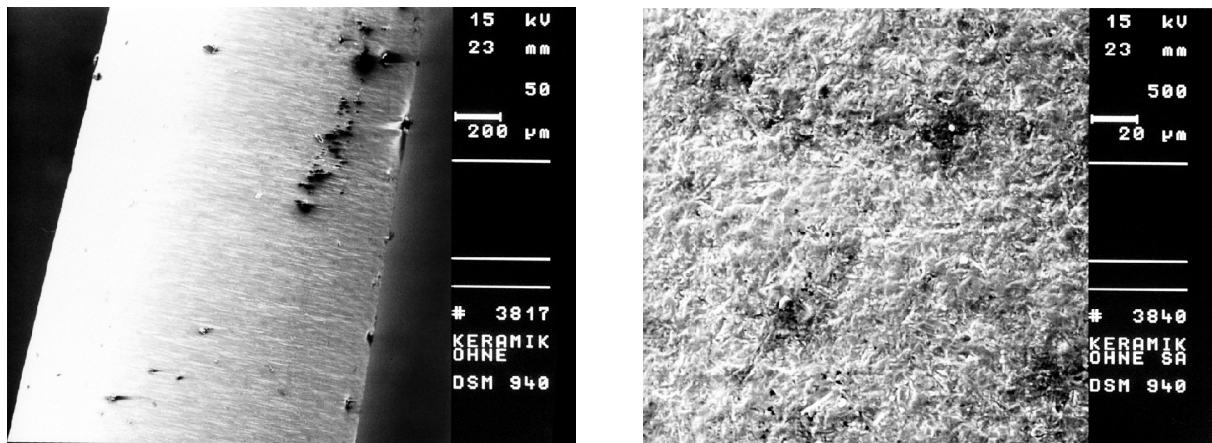


Abbildung 5: ohne Oberflächenkonditionierung

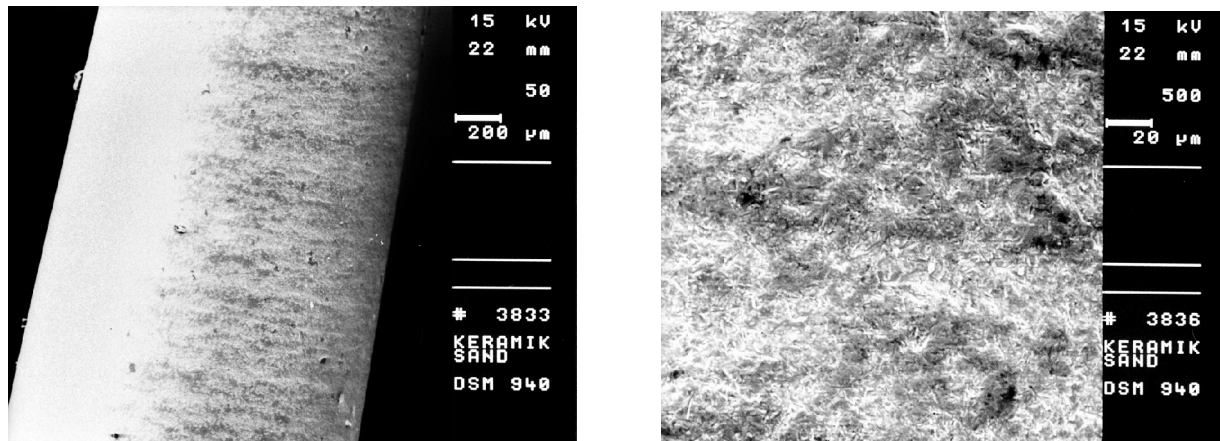


Abbildung 6: nach Sandstrahlung

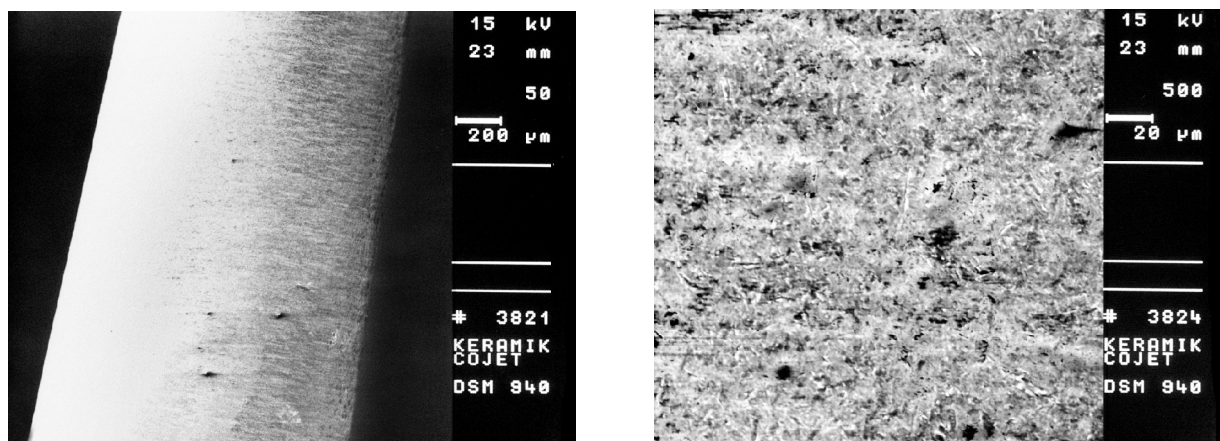


Abbildung 7: nach tribochemischer Beschichtung

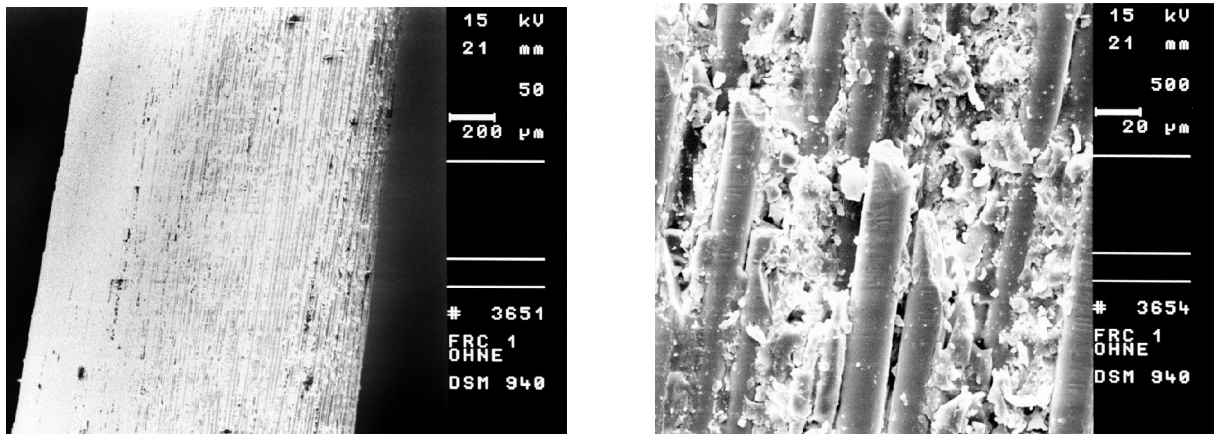
DentinPost

Abbildung 8: ohne Oberflächenkonditionierung

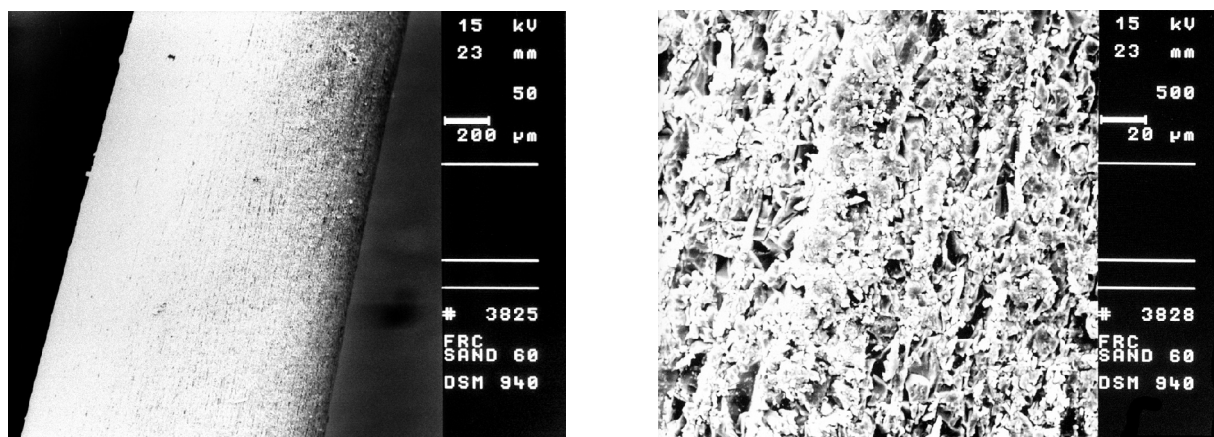


Abbildung 9: nach Sandstrahlung

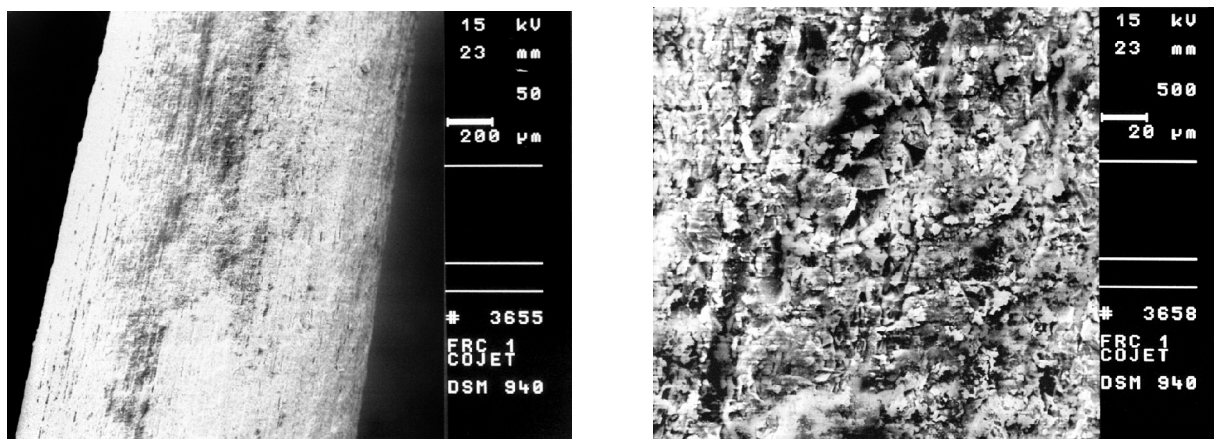


Abbildung 10: nach tribochemischer Beschichtung

Stiftinsertion

Entsprechend des Versuchsdesigns (Abb.1/Tab.5) wurden je 20 Stifte der 3 Materialien und Oberflächenbehandlungen mit dem vorgesehenem Befestigungsmaterial gruppenweise eingesetzt. Die unkonditionierten und sandgestrahlten Oberflächen wurden direkt vor der Insertion mit Alkohol entfettet. Zur Befestigung der Stifte wurden die Zemente nach den individuellen Herstellerangaben verarbeitet.

Compolute

Die Wurzelkanäle wurden zunächst mit 37%iger Orthophosphorsäure für 20 s konditioniert. Anschließend wurde die Oberfläche gründlich mit Wasser abgespült, mit dem Luftspray trockengeblasen und mit Papierspitzen getrocknet. Danach wurde der EBS[®]-multi Primer für 20 s auf das Wurzelkanalentin mit Papierspitzen einmassiert. Der Überschuss wurde wiederum mit einem schwachen Luftstrom und zum Kanal passenden Papierspitzen entfernt. Dann wurde das EBS[®]-multi Bond aufgezogen, 20 s mit Papierspitzen einmassiert, dünn verblasen und Überschüsse mit Papierspitzen aufgesaugt und anschließend für 20 s lichtgehärtet. Der Befestigungskomposit wurde im Silamix Mischgerät für 10 s angemischt, die Wurzelstifte mit Compolute innerhalb der Verarbeitungszeit dünn beschickt und in den Kanal unter pumpenden Fingerdruck inseriert. Der Kompositüberschuss wurde entfernt und die Stifte unter leichtem Druck (ca. 40 N) im Kanal fixiert bis der Zement nach 5 min erhärtete.

Panavia 21EX

Für Panavia 21EX wurde die Kanalwand zuerst mit dem ED Primer, der zu gleichen Teilen aus den Flüssigkeiten A und B angemischt wurde, für 60 s mittels Pinsel und Papierspitzen benetzt. Anschließend wurde der überschüssige Primer mit Papierspitzen entfernt. Die Panavia21EX Paste und der Katalysator wurden manuell aus dem Dispenser auf einen Block aufgebracht und für 20-30 s sorgfältig vermischt. Die Stifte wurden mit dem Komposit beschickt, in den Kanal pumpend inseriert, so dass Überschüsse abfließen konnten. Die Überschüsse wurden entfernt und die Stifte in ihrer Position unter Fingerdruck (ca. 40 N) fixiert bis der Zement nach 4 min erhärtete. Am Kanaleingang wurde mittels Oxygard II-Paste der Sauerstoffzutritt an

das Komposit verhindert. Die Entfernung des Oxygard II erfolgte nach der Aushärtung mit Wasser.

PhosphaCem PL

Der Zinkphosphatzement wurde streng nach den Herstellerangaben immer von derselben Person auf einer dicken und gekühlten Glasplatte angemischt, um zu gewährleisten, dass die Anmischtemperatur von 20°C nicht überschritten wurde. Es wurden fraktioniert kleine Portionen des Pulvers in die Flüssigkeit eingespatelt bis eine cremige Konsistenz erreicht war. Die richtige Konsistenz war erreicht, wenn der angerührte Zement nicht mehr vom Spatel tropfte. Die Stifte wurden mit einer dünnen Portion des Zementes beschickt, pumpend in die nicht vorbehandelten Kanäle eingebracht und mit stetem Fingerdruck von 40 bis 50 N positioniert. Der Zement war nach 10 min erhärtet.

Nach dem alle Überschüsse entfernt waren, wurden alle Proben 24 Stunden feucht gelagert. Jeweils 10 Probekörper einer Gruppe wurden direkt danach den Abzugskraftversuchen unterzogen, während die übrigen 10 Probekörper einem Thermocycling zugeführt wurden.

Thermocycling

Das Thermocycling diente zur künstlichen Alterung der Proben. Jede Probe wurde einer thermischen Wechsellast von 5000 Zyklen ausgesetzt. Jeder einzelne Zyklus bestand aus einer Lagerung für 30 Sekunden in 5°C kaltem Wasser und anschließender Überführung der Proben für ebenfalls 30 Sekunden in ein Wasserbad mit einer Temperatur von 55°C. Die Abtropfzeit zwischen den Bädern betrug wiederum 30 Sekunden. Die thermische Wechselbelastung wurde nach der ISO-Norm 1044 durchgeführt.

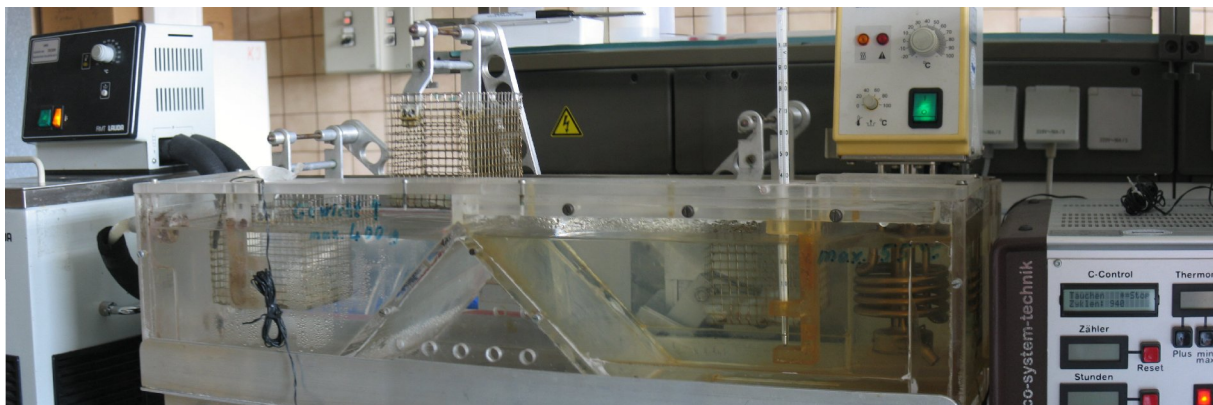


Abbildung 11: Transportkorb des Thermocyclings in den drei Positionen von links: 5°C Bad, Überführung und 55°C Bad.

4.3 Messdurchführung

Abzugsversuche

Zur Überprüfung der Haftfestigkeiten der Wurzelstifte wurden die Prüfkörper in einem axialen Abzugsversuch getestet. In der Versuchsanordnung (Abb. 12) wurden die Probekörper in der Abzugskraftmaschine eingesetzt, indem der Schaft des Wurzelstiftes auf der einen Seite eingespannt wurde und die Wurzel durch eine Aussparung in einem Blech auf der Gegenseite zurückgehalten wurde. Die Versuche wurden an einer Universal – Prüfmaschine LR 10K (Ametek Precision Instruments Europe) durchgeführt. Der Geschwindigkeitsbereich der Maschine lag zwischen 0,1 – 500 mm/min. Für die Abzugsversuche wurde eine Vorschubgeschwindigkeit von 0,5 mm/min gewählt. Die Probekörper wurden bis zum Versagen der Zementierung belastet. Gemessen wurde die Maximalkraft in Newton, die aufgewendet werden musste, um die Stifte aus dem Wurzelkanal zu ziehen.

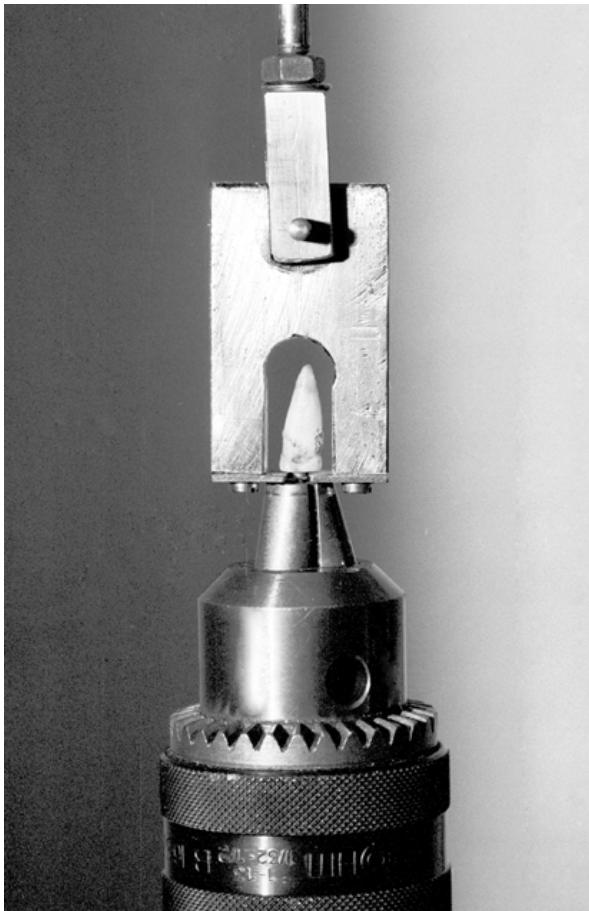


Abbildung 12: Abzugskraftmaschine mit eingespanntem Probekörper

Bestimmung der Bruchmodi

Nachdem die Stifte aus den Kanälen entfernt waren, wurden die Wurzeln zur Beurteilung der Bruchmodi der Länge nach in der Mitte durchgesägt (EXAKT Trennschleifsysteme, Norderstedt). Es sollte das Bruchverhalten zwischen Kanalwand und Stift beurteilt werden. Unter dem Stereomikroskop SV8 (Fa. Carl Zeiss, Jena) sind die Proben bei 10 bis 16 facher Vergrößerung ausgewertet worden. Die Brucharten wurden, wie in Tabelle 6 angegeben, eingeteilt.

Einteilung der Bruchmodi	Bruchverlauf
Adhäsivbruch B-S	Bruchverlauf zwischen Befestigungsmaterial und Stift
Adhäsivbruch B-D	Bruchverlauf zwischen Befestigungsmaterial und Dentin
Kohäsivbruch	Bruchverlauf innerhalb des Befestigungsmaterials

Tabelle 6: Einteilung der Bruchverläufe

4.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem multifaktoriellen ANOVA-Test und der Scheffé Korrektur. Das Signifikanzniveau betrug $\alpha=0,05$.

5. Ergebnisse

5.1 Haftfestigkeiten der verschiedenen Stiftmaterialien

5.1.1 Haftfestigkeiten von CeraPost

Die Ergebnisse der Abzugskraftmessungen sind für den CeraPost in der Abbildung 13 ohne und in der Abbildung 14 mit Thermocycling dargestellt. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind jeweils in den Tabellen 7 und 8 angegeben.

Für die Stifte ohne Konditionierung und mit sandgestrahlter Oberfläche ohne Thermocycling bestanden für den CeraPost keine signifikanten Unterschiede zwischen den verwendeten Befestigungsmaterialien. Die Messungen ergaben ohne Thermocycling bei einer unbehandelten Stiftoberfläche Mittelwerte für die Befestigungskomposite Compolute von 211 N und für Panavia 21EX von 203 N, sowie für die Kontrollgruppe PhosphaCem von 164 N (Abb.13).

Nach Sandstrahlung der Stiftoberfläche veränderten sich die Abzugskräfte der CeraPost Stifte nicht signifikant (Tab.7). Für Compolute wurden Mittelwerte von 222 N, für Panavia 21EX von 219 N und für die Kontrollgruppe von 225 N erreicht.

Mit einer tribochemisch beschichteten Oberfläche konnten die Werte mit Compolute signifikant gegenüber Stiften ohne Konditionierung gesteigert werden. So erreichten die Haftfestigkeiten mit Compolute durchschnittlich 437 N. Dabei war der Unterschied zwischen Compolute signifikant höher als für PhosphaCem ohne Oberflächenkonditionierung und niedrig signifikant höher als für die beiden Befestigungskomposite Compolute und Panavia 21EX. Bei der Verwendung des Panavia 21EX differierten die Haftfestigkeiten, mit durchschnittlich 248 N, nicht signifikant von den übrigen Vergleichsgruppen (Abb. 13, Tab. 7).

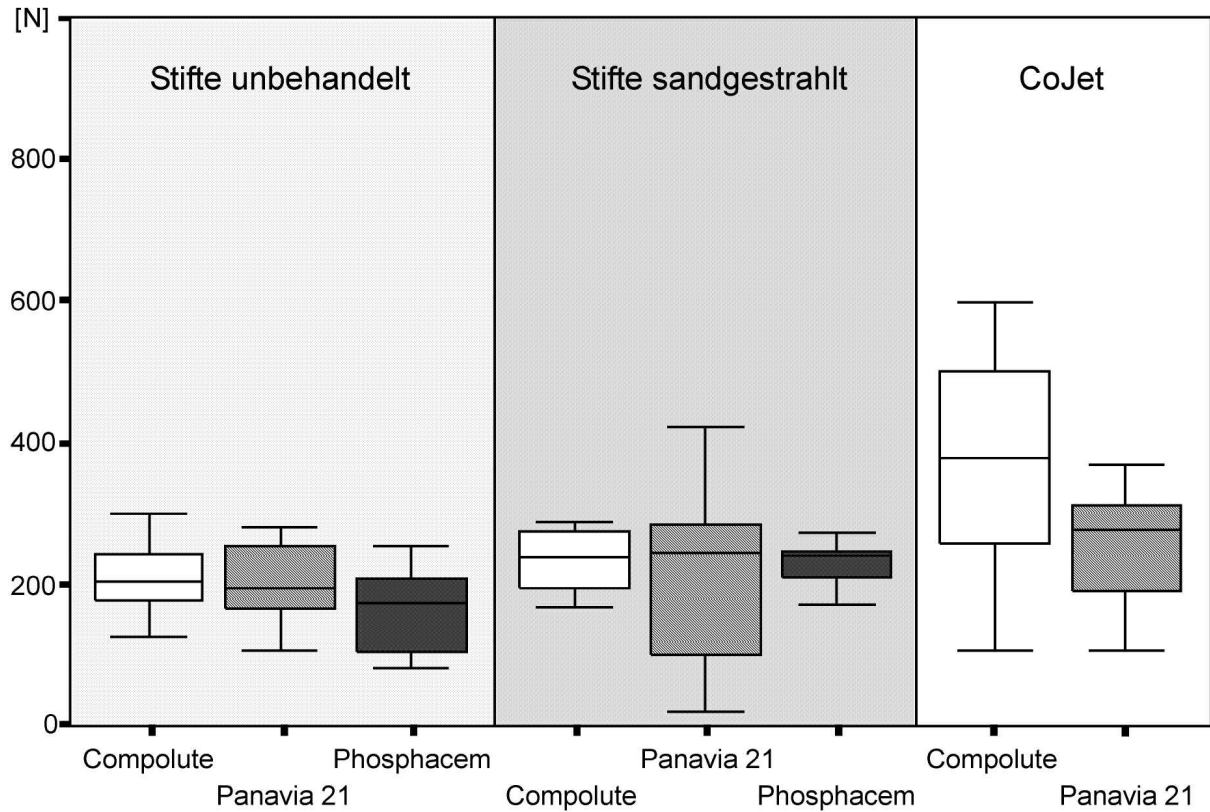


Abbildung 13: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für den CeraPost hinsichtlich der Oberflächenbehandlung ohne Thermocycling.

CeraPost ohne Thermocycling									
		unbehandelte Oberfläche			sandgestrahlte Oberfläche			Oberfläche mit CoJet	
		Compolute	Panavia 21EX	Phospha Cem	Compolute	Panavia 21EX	Phospha Cem	Compolute	Panavia 21EX
unbehandelte Oberfläche	Compolute		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
	Panavia21EX	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.
	PhosphaCem	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
	PhosphaCem	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.
Oberfläche mit CoJet	Compolute	*	*	**	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
	Panavia21EX	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Tabelle 7: Signifikante Differenzen zwischen den Haftfestigkeitsergebnissen für den CeraPost ohne Thermocycling (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01)

Nachdem die Stifte einer künstlichen Alterung unterzogen worden waren, lagen die Abzugskräfte insgesamt höher als ohne Thermocycling (Abb. 14). Für die präfabrizierte Oberfläche erreichten die Haftfestigkeiten bei Verwendung von Compolute einen Mittelwert von 282 N. Bei der Verwendung von Panavia 21EX wurde ein Mittelwert von 406 N gemessen. Der Mittelwert der Kontrollgruppe mit PhosphaCem lag bei 193 N. Dies war niedrig signifikant niedriger als die Haftfestigkeit mit Panavia 21EX (Tab. 8).

Die Haftfestigkeiten steigerten sich für CeraPost nach der Sandstrahlung tendenziell aber nicht signifikant für die jeweiligen Zemente. Der Mittelwert lag für Compolute bei 464 N, für Panavia 21EX bei 583 N und für PhosphaCem bei 355 N. Die Werte für Panavia 21EX waren dabei niedrig signifikant höher als die für PhosphaCem. Panavia 21EX unterschied sich mit der sandgestrahlten Oberfläche signifikant von Compolute und hochsignifikant von PhosphaCem ohne eine Oberflächenbehandlung.

Durch die tribochemische Beschichtung der Oberfläche wurde der Mittelwert für Compolute auf 629 N erhöht. Dies war signifikant gegenüber dem Wert ohne Konditionierung. Bei der Verwendung des Panavia 21EX lag der Mittelwert bei 534 N und unterschied sich nicht signifikant von den Werten der übrigen Oberflächenbehandlungen mit Panavia 21EX. Für Compolute und Panavia 21EX wurden die Haftfestigkeiten mit tribochemischer Beschichtung hochsignifikant gegenüber dem PhosphaCem ohne Oberflächenkonditionierung gesteigert. Die Haftfestigkeiten für Compolute und Panavia 21EX unterschieden sich nicht signifikant voneinander nach tribochemischer Beschichtung.

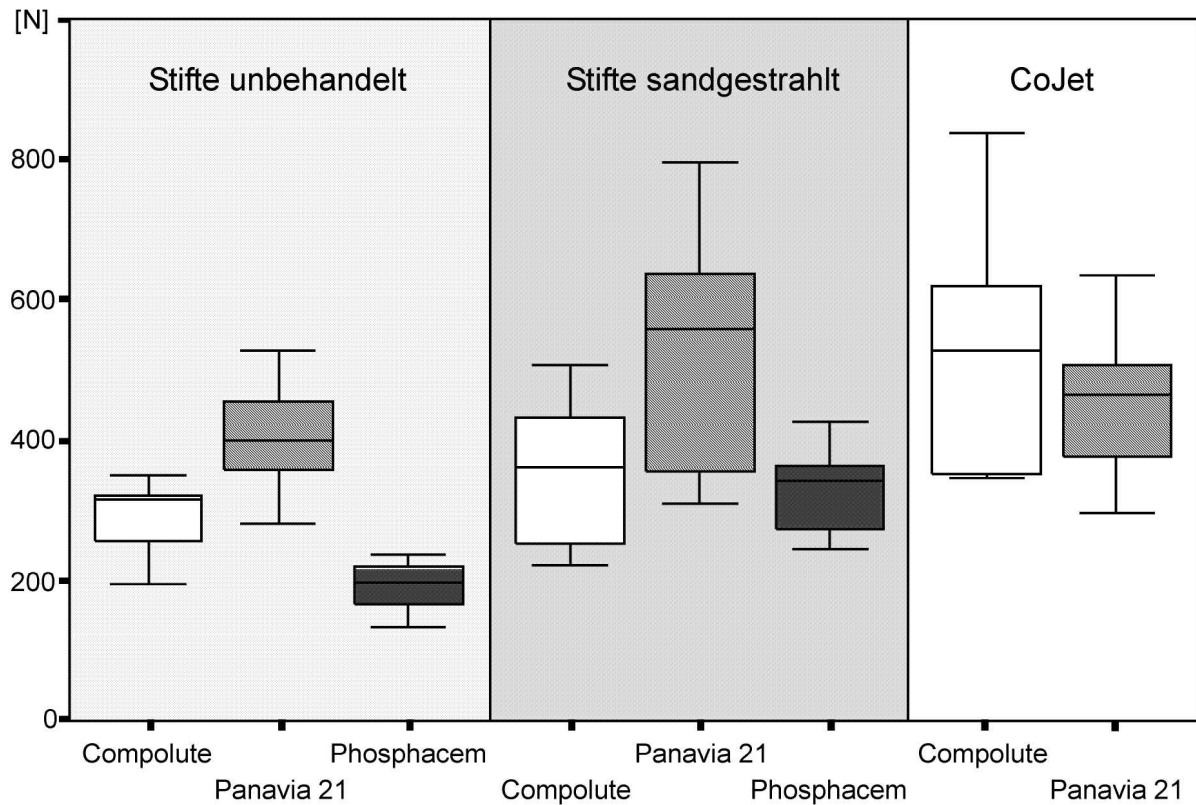


Abbildung 14: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für den CeraPost hinsichtlich der Oberflächenbehandlung nach erfolgtem Thermocycling.

CeraPost mit Thermocycling									
		unbehandelte Oberfläche			sandgestrahlte Oberfläche			Oberfläche mit CoJet	
		Compolute	Panavia 21EX	Phospha Cem	Compolute	Panavia 21EX	Phospha Cem	Compolute	Panavia 21EX
unbehandelte Oberfläche	Compolute		n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	**	n.s.
	Panavia21EX	n.s.		*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	PhosphaCem	n.s.	*		n.s.	***	n.s.	***	***
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX	**	n.s.	***	n.s.		*	n.s.	n.s.
	PhosphaCem	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*		*	n.s.
Oberfläche mit CoJet	Compolute	**	n.s.	***	n.s.	n.s.	*		n.s.
	Panavia21EX	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	

Tabelle 8: Signifikante Differenzen zwischen den Haftfestigkeitsergebnissen für den CeraPost mit Thermocycling (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001)

5.1.2 Haftfestigkeiten von DentinPost

Die Haftfestigkeitsergebnisse für den DentinPost sind in Abbildung 15 ohne und in Abbildung 16 mit Thermocycling dargestellt. In Tabelle 9 und Tabelle 10 sind die signifikanten Differenzen jeweils aufgelistet.

Bei Verwendung der unbehandelten Oberfläche bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kompositbefestigungsmaterialien. Die Mittelwerte lagen mit 241 N für Compolute niedrig signifikant höher als für PhosphaCem mit 110 N. Für den Panavia 21EX wurden Haftfestigkeiten von 126 N ermittelt.

Nachdem die Oberflächen der DentinPosts sandgestrahlt waren, wurden ohne Thermocycling folgende Mittelwerte gemessen: 300 N mit Compolute, 269 N mit Panavia 21EX und 224 N für die mit PhosphaCem eingesetzten Stifte. Diese unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Gegenüber den unbehandelten Stiften bestanden mit Compolute nicht signifikante, aber mit Panavia 21EX signifikant höhere Werte.

Nach tribochemischer Beschichtung erreichte die Haftfestigkeit für den DentinPost ohne Thermocycling durchschnittlich 389 N mit Compolute und 263 N mit Panavia 21EX. Compolute war Panavia 21EX niedrig signifikant überlegen. Für Compolute waren die Werte mit tribochemischer Oberflächenbeschichtung denen ohne Konditionierung signifikant überlegen. Für Panavia 21EX erhöhten sich die Werte der DentinPost-Haftfestigkeiten mit tribochemischer Oberflächenbeschichtung gegenüber denen ohne Konditionierung niedrig signifikant. Zwischen Sandstrahlung und tribochemischer Beschichtung wurden keine signifikanten Unterschiede gefunden.

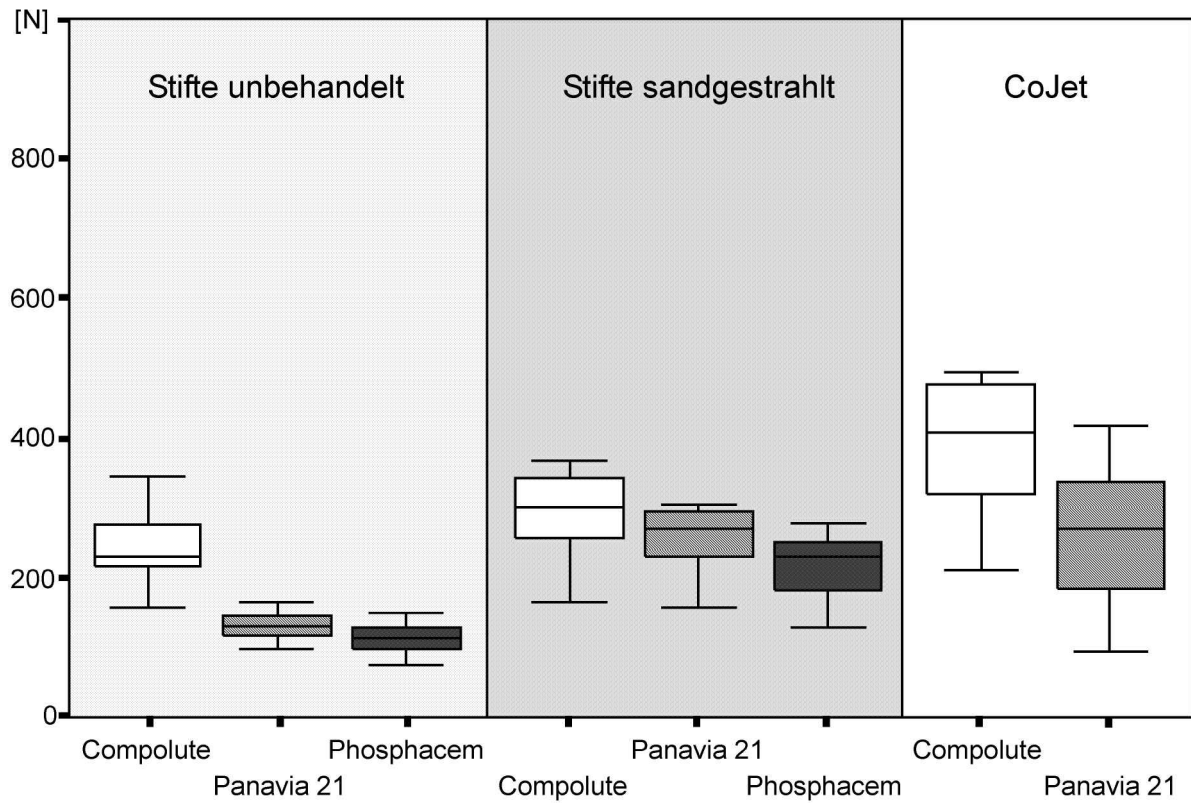


Abbildung 15: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für den DentinPost hinsichtlich der Oberflächenbehandlung ohne Thermocycling

		DentinPost ohne Thermocycling								
		unbehandelte Oberfläche			sandgestrahlte Oberfläche			Oberfläche mit CoJet		
		Compolute	Panavia 21EX	Phospha Cem	Compolute	Panavia 21EX	Phospha Cem	Compolute	Panavia 21EX	
unbehandelte Oberfläche	Compolute		n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	n.s.	
	Panavia21EX	n.s.		n.s.	***	**	n.s.	***	*	
	PhosphaCem	*	n.s.		***	**	n.s.	***	**	
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute	n.s.	***	***		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
	Panavia21EX	n.s.	**	**	n.s.		n.s.	*	n.s.	
	PhosphaCem	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		***	n.s.	
Oberfläche mit CoJet	Compolute	**	***	***	n.s.	*	***		*	
	Panavia21EX	n.s.	*	**	n.s.	n.s.	n.s.	*		

Tabelle 9: Signifikante Differenzen in den Haftfestigkeitsergebnissen für DentinPost ohne Thermocycling (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001)

Die Ergebnisse der DentinPost nach Thermocycling sind in der Abbildung 16 und Tabelle 10 gezeigt, wobei die Werte über denen ohne Thermocycling lagen. DentinPost mit unbehandelter Oberfläche ergaben Mittelwerte von 347 N für Compolute, 377 N für Panavia 21EX und 216 N für PhosphaCem. Diese Werte unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Nach Sandstrahlung der DentinPost lagen die durchschnittlichen Werte für Compolute mit 621 N hoch signifikant höher als ohne Oberflächenkonditionierung. Für Panavia 21EX mit durchschnittlich 465 N und für PhosphaCem mit durchschnittlich 258 N unterschieden sich die Werte nicht signifikant gegenüber der unbehandelten Oberfläche. Für Panavia 21EX waren die Werte signifikant höher als für PhosphaCem jeweils mit sandgestrahlter Oberfläche. Die Werte von Compolute unterschieden sich hochsignifikant von PhosphaCem innerhalb der sandgestrahlten Versuchsgruppe.

Durch die tribochemische Beschichtung erreichten die Ergebnisse für Compolute durchschnittlich 541 N und für Panavia 21EX 599 N. Beide Zemente unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Signifikant höher waren die Haftfestigkeitswerte für Panavia 21EX nach der tribochemischen Beschichtung gegenüber den DentinPost mit unbehandelter Oberfläche. Für Compolute wurde nach tribochemischer Beschichtung nur eine niedrig signifikante Erhöhung der Ergebnisse gegenüber der unbehandelten Stiftoberfläche berechnet.

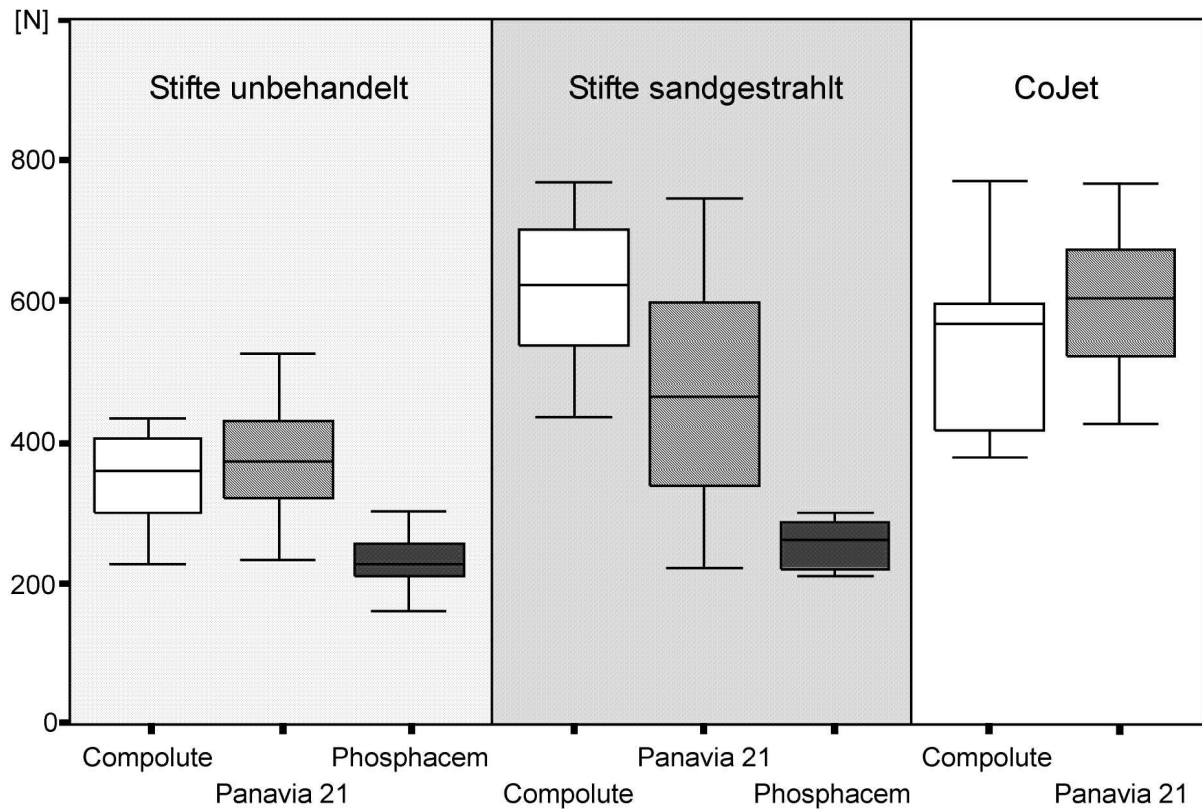


Abbildung 16: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für den DentinPost hinsichtlich der Oberflächenbehandlung nach erfolgtem Thermocycling

		DentinPost mit Thermocycling								
		unbehandelte Oberfläche			sandgestrahlte Oberfläche			Oberfläche mit CoJet		
		Compolute	Panavia 21EX	Phospha Cem	Compolute	Panavia 21EX	Phospha Cem	Compolute	Panavia 21EX	
unbehandelte Oberfläche	Compolute		n.s.	n.s.	***	n.s	n.s.	*	***	
	Panavia21EX	n.s.		n.s.	***	n.s	n.s.	n.s.	**	
	PhosphaCem	n.s.	n.s.		***	***	n.s.	***	***	
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute	***	***	***		n.s	***	n.s.	n.s.	
	Panavia21EX	n.s.	n.s.	***	n.s.		**	n.s.	n.s.	
	PhosphaCem	n.s.	n.s.	n.s.	***	**		***	***	
Oberfläche mit CoJet	Compolute	*	n.s.	***	n.s.	n.s	***		n.s.	
	Panavia21EX	***	**	***	n.s.	n.s	***	n.s.		

Tabelle 10: Signifikante Differenzen in den Haftfestigkeitsergebnissen für den DentinPost mit Thermocycling (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001)

5.2 Haftfestigkeiten abhängig vom Befestigungskomposit

5.2.1 Compolute

Die Haftfestigkeiten für CeraPost und DentinPost, die mit Compolute eingesetzt und nicht thermogecycelt wurden, sind in der Abbildung 17 und ihre signifikanten Differenzen in Tabelle 11 dargestellt.

Die Haftfestigkeitswerte für den CeraPost lagen mit Compolute mit durchschnittlich 211 N für die unbehandelte, sowie mit durchschnittlich 222 N für die sandgestrahlte Oberfläche niedriger als für die tribochemisch beschichtete Oberfläche mit durchschnittlich 437 N. Dabei unterschied sich nur der Wert von dem unbehandelten von dem tribochemisch beschichteten CeraPost niedrig signifikant.

Für den DentinPost wurden Haftfestigkeiten von durchschnittlich 389 N für die tribochemisch beschichtete Oberfläche ermittelt, die über denen für die sandgestrahlte Oberfläche mit durchschnittlich 300 N und mit durchschnittlich 241 N für die unbehandelte Stiftoberfläche lagen. Nur zwischen dem unbehandelten und tribochemisch beschichteten DentinPost bestand eine signifikante Differenz. Der Wert für die tribochemisch beschichtete Oberfläche war nur niedrig signifikant höher als für die sandgestrahlte Oberfläche.

Die höchsten Haftfestigkeiten wurden von dem Befestigungskomposit Compolute, unabhängig vom Stiftmaterial, ohne Thermocycling mit einer tribochemischen Oberflächenbeschichtung erreicht.

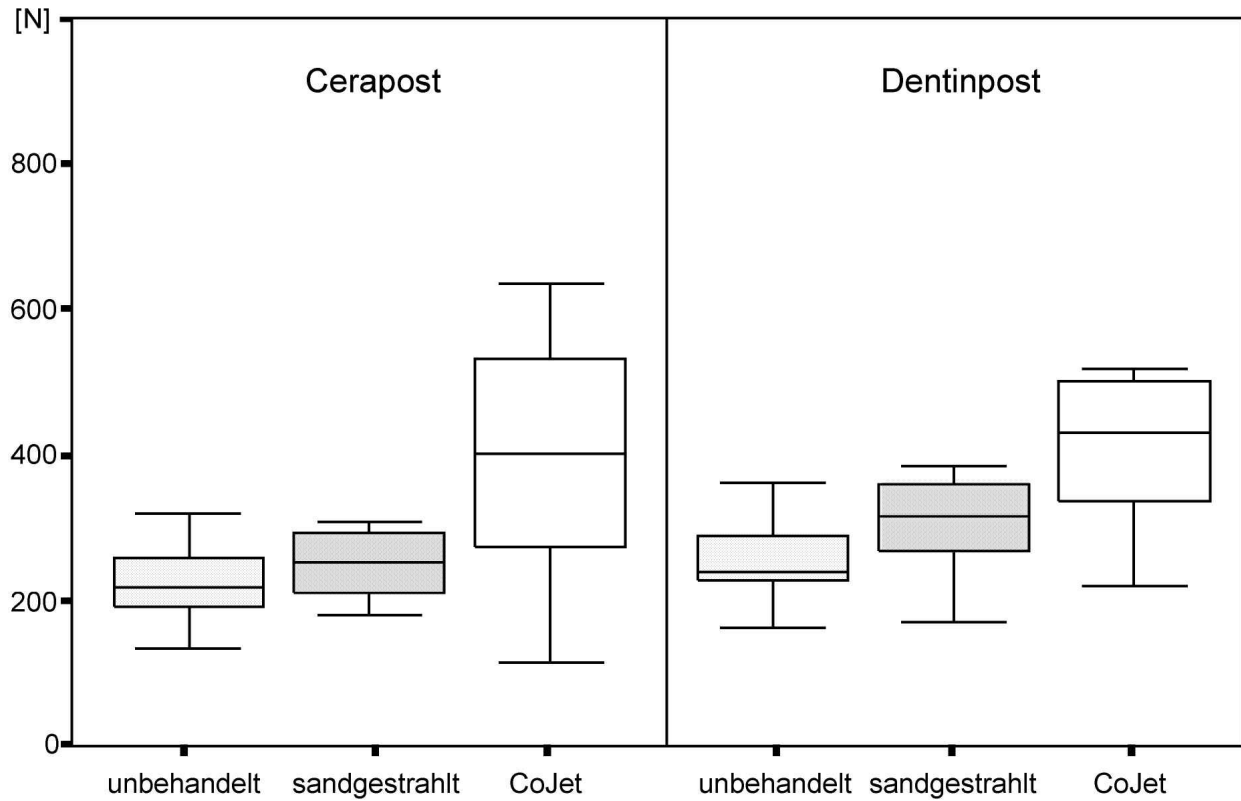


Abbildung 17: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für Compolute hinsichtlich der Oberflächenbehandlung und der verwendeten Stiftmaterialien ohne erfolgtes Thermocycling.

Compolute ohne Thermocycling							
		CeraPost			DentinPost		
		unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet	unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet
CeraPost	unbehandelt		n.s.	*	n.s.	n.s.	**
	sandgestrahlt	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	*
	CoJet	*	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
DentinPost	unbehandelt	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	*
	sandgestrahlt	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
	CoJet	**	*	n.s.	*	n.s.	

Tabelle 11: Signifikante Differenzen in den Haftfestigkeitsergebnissen für Compolute ohne Thermocycling (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01)

Die Haftfestigkeiten für CeraPost und DentinPost, die mit Compolute befestigt und einer künstlichen Alterung unterzogen wurden, sind in Abbildung 18 und Tabelle 12 angegeben. Die Werte lagen mit durchschnittlich 629 N für die mit dem CoJet System behandelte Oberfläche des CeraPost signifikant höher als für die unbehandelte Oberfläche mit durchschnittlich 282 N. Die Werte für sandgestrahlte CeraPost unterschieden sich mit durchschnittlich 464 N nicht signifikant von der unbehandelten und der tribochemisch beschichteten Oberfläche.

Die höchsten Werte für DentinPost wurden mit Compolute nach Sandstrahlung der Stiftoberfläche erzielt. Die durchschnittlichen Werte von DentinPost mit 616 N waren im Vergleich zu den DentinPost mit der unbehandelten Oberfläche mit durchschnittlich 347 N signifikant höher. Für die tribochemisch behandelten DentinPost wurde mit durchschnittlich 541 N eine Haftfestigkeit erreicht, die niedrig signifikant höher war als das Ergebnis der unbehandelten Oberfläche und nicht signifikant niedriger als das der sandgestrahlten Oberfläche.

Bei der Betrachtung der verwendeten Stiftmaterialien und der Verwendung von Compolute wurden nach Thermocycling signifikant höhere Haftfestigkeitswerte nach der Sandstrahlung der DentinPost festgestellt als nach der Sandstrahlung der CeraPost. Durch eine Behandlung der Stiftoberflächen konnten die Haftfestigkeiten gesteigert werden. Die höchsten Werte erzielten bei der Verwendung von Compolute mit dem DentinPost die Behandlung der Stiftoberfläche mit Aluminiumkorund bzw. für den CeraPost die Behandlung der Oberfläche mit dem CoJet System.

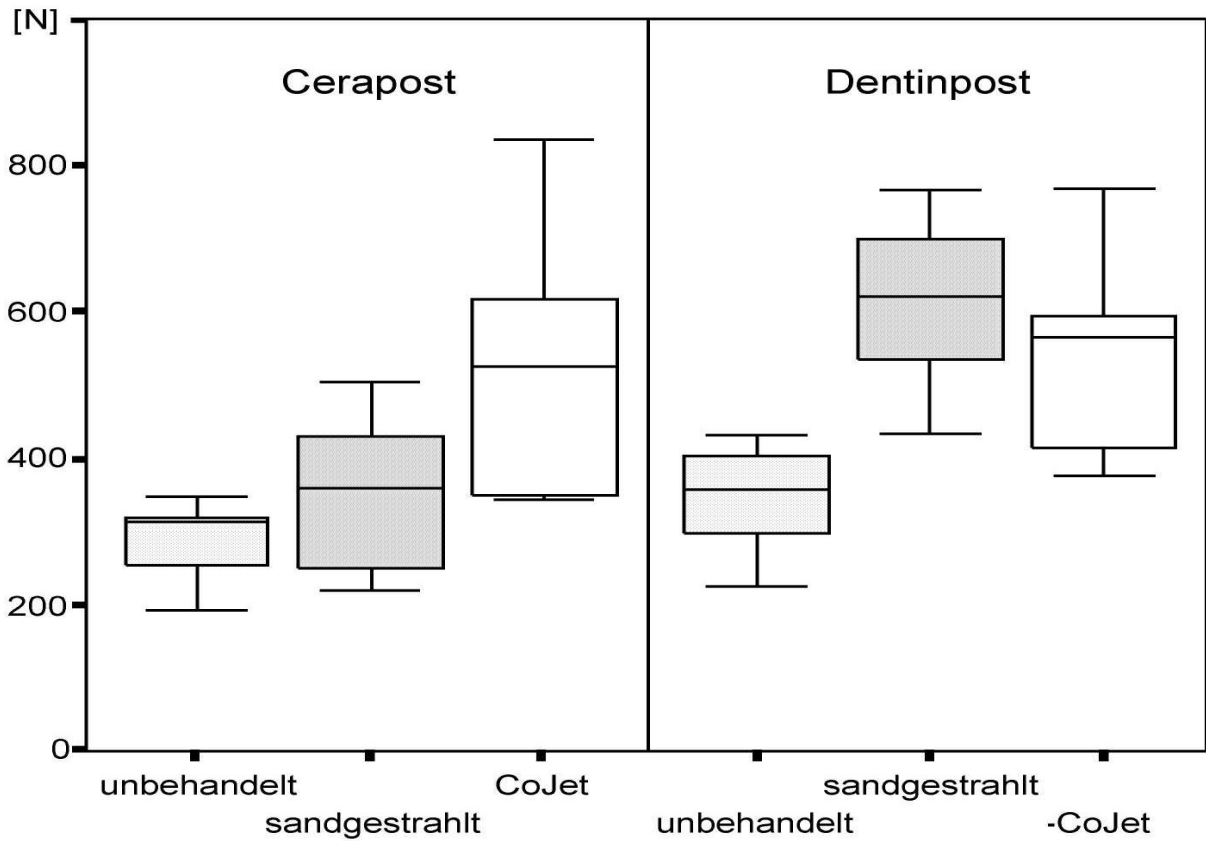


Abbildung 18: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für Compolute hinsichtlich der Oberflächenbehandlung und der verwendeten Stiftmaterialien nach erfolgtem Thermocycling

		Compolute mit Thermocycling					
		CeraPost			DentinPost		
		unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet	unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet
CeraPost	unbehandelt		n.s.	**	n.s.	***	**
	sandgestrahlt	n.s.		n.s.	n.s.	**	n.s.
	CoJet	**	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
DentinPost	unbehandelt	n.s.	n.s.	n.s.		**	*
	sandgestrahlt	***	**	n.s.	**		n.s.
	CoJet	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	

Tabelle 12: Signifikante Differenzen in den Haftfestigkeitsergebnissen für Compolute mit Thermocycling (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001)

5.2.2 Panavia 21EX

Die Haftfestigkeitsergebnisse für Panavia 21EX ohne Thermocycling sind in der Abbildung 19 und die signifikanten Differenzen in der Tabelle 13 dargestellt.

Bei der Verwendung von Panavia 21EX wurden für CeraPost zwischen den verschiedenen Arten der Behandlung der Stiftoberfläche keine signifikanten Unterschiede ermittelt. Die Haftfestigkeiten betragen durchschnittlich zwischen 203 N für unbehandelte Oberflächen und 248 N für die tribochemische Beschichtung der Oberfläche.

Die Haftfestigkeiten des DentinPost mit Panavia 21EX erreichten mit durchschnittlich 269 N für die sandgestrahlte, bzw. 263 N für die tribochemisch beschichtete Oberfläche niedrig signifikant höhere Werte als für die unbehandelte Oberfläche mit durchschnittlich 126 N.

Zwischen CeraPost und DentinPost bestanden, bezogen auf die gleiche Oberflächenbehandlung, keine signifikanten Unterschiede.

Die besten Haftfestigkeitswerte mit Panavia 21EX ohne Thermocycling erzielten DentinPost, nachdem die Oberfläche sandgestrahlt bzw. tribochemisch beschichtet wurde, und CeraPost nach tribochemischer Beschichtung.

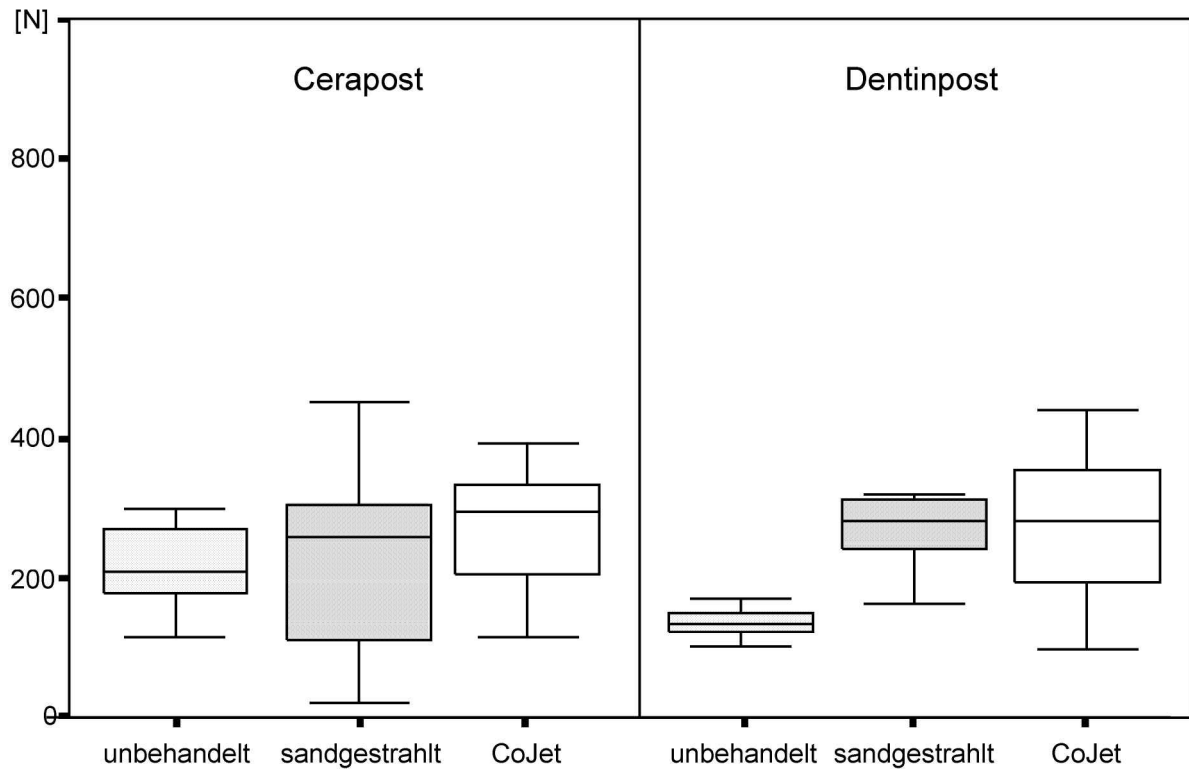


Abbildung 19: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für Panavia 21EX hinsichtlich der Oberflächenbehandlung und der verwendeten Stiftmaterialien ohne Thermocycling.

Panavia 21EX ohne Thermocycling							
		CeraPost			DentinPost		
		unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet	unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet
CeraPost	unbehandelt		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	sandgestrahlt	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	CoJet	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
DentinPost	unbehandelt	n.s.	n.s.	n.s.		*	*
	sandgestrahlt	n.s.	n.s.	n.s.	*		n.s.
	CoJet	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	

Tabelle 13: Signifikante Differenzen in den Haftfestigkeitsergebnissen für Panavia 21EX ohne Thermocycling (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05)

Nach dem Thermocycling wurden für CeraPost mit Panavia 21EX die höchsten Haftfestigkeiten von durchschnittlich 583 N nach Sandstrahlung der Oberfläche gemessen, gefolgt von durchschnittlich 534 N für CeraPost mit tribochemischer Beschichtung und durchschnittlich 406 N für CeraPost mit unbehauelter Oberfläche. Die drei Oberflächentypen unterschieden sich nicht signifikant voneinander. Die Haftfestigkeitsergebnisse sind in Abbildung 20 und in der Tabelle 14 dargestellt.

Für DentinPost wurden nach künstlicher Alterung mit Panavia 21EX niedrig signifikant höhere Werte mit durchschnittlich 599 N für die tribochemische Beschichtung im Vergleich zu der unbehauelten Oberfläche mit durchschnittlich 377 N ermittelt. Die Ergebnisse für sandgestrahlte Oberflächen differierten mit durchschnittlich 465 N nicht signifikant von denen der übrigen beiden Oberflächen.

Der Vergleich der Abzugskräfte für die beiden Stiftmaterialien mit Panavia 21EX ergab keine signifikanten Unterschiede.

Die höchsten Werte der CeraPost wurden nach Sandstrahlung der Oberfläche, sowie der DentinPost mit der tribochemisch beschichteten Oberfläche erzielt.

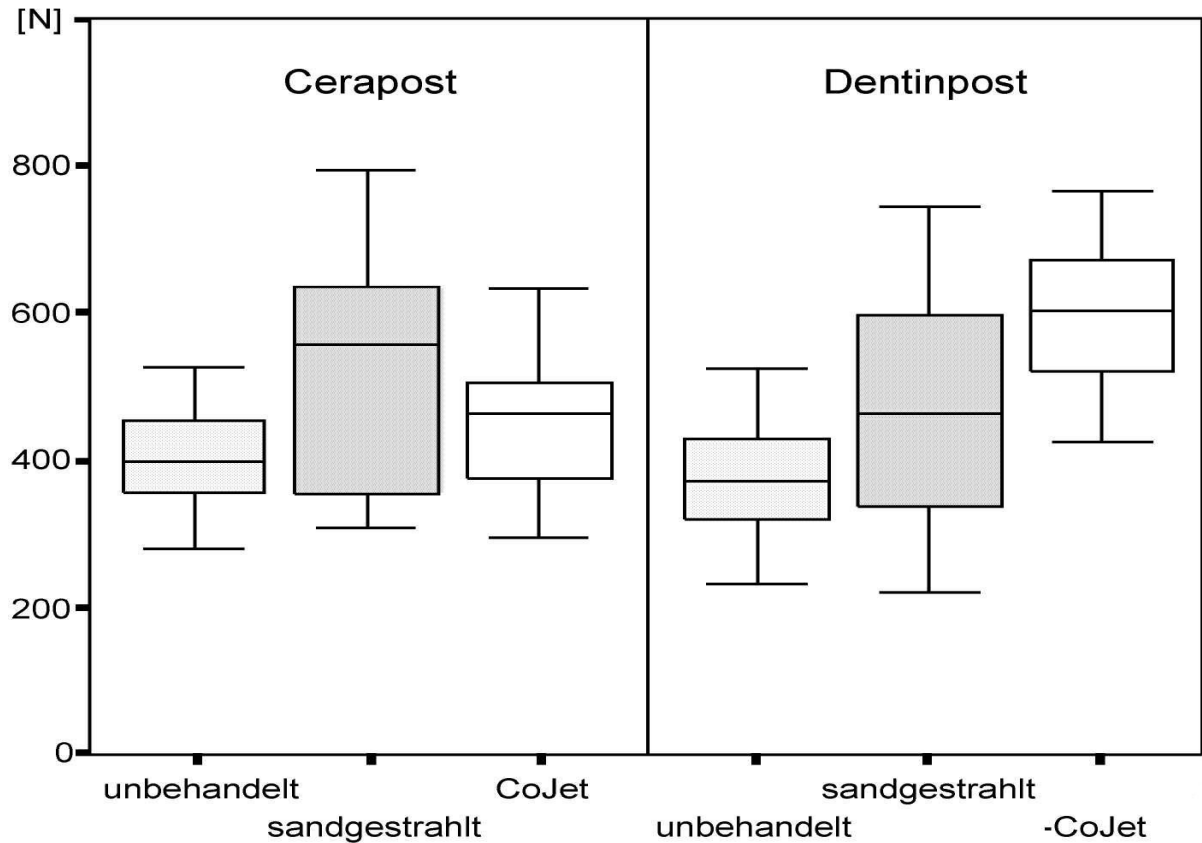


Abbildung 20: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für Panavia 21EX hinsichtlich der Oberflächenbehandlung und der verwendeten Stiftmaterialien nach erfolgtem Thermocycling

		Panavia 21EX mit Thermocycling					
		CeraPost			DentinPost		
		unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet	unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet
CeraPost	unbehandelt		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	sandgestrahlt	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	CoJet	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
DentinPost	unbehandelt	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.	*
	sandgestrahlt	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		n.s.
	CoJet	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	

Tabelle 14: Signifikante Differenzen in den Haftfestigkeitsergebnissen für Panavia 21EX mit Thermocycling (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05)

5.3 Haftfestigkeiten abhängig vom Thermocyclingeffekt

5.3.1 Einfluss des Thermocycling auf den CeraPost

Die Haftfestigkeiten für den CeraPost mit Thermocycling lagen für alle Befestigungsmaterialien höher als für die Vergleichsgruppen ohne Thermocycling. Die Ergebnisse sind in der Abbildung 21 und den Tabellen 15 bis 17 dargestellt.

Bei dem Vergleich des CeraPost ohne Oberflächenbehandlung waren diese Differenzen mit und ohne Thermocycling für alle Zemente jedoch nicht signifikant unterschiedlich. Tabelle 15 zeigt, dass CeraPost ohne Oberflächenbehandlung und Thermocycling im Vergleich zu solchen mit sandgestrahlter Oberfläche und Thermocycling beim Einsetzen mit Panavia 21EX hochsignifikant niedrigere Haftfestigkeiten erzielten. Außerdem wurden im Vergleich zu tribochemisch beschichteten CeraPost mit Compolute und Thermocycling hochsignifikante und mit Panavia 21EX signifikant niedrigere Werte festgestellt (Tab. 15).

Nach Sandstrahlung der CeraPost Oberfläche hatte das Thermocycling einen hochsignifikanten Effekt auf die Haftfestigkeiten beim Einsetzen mit Panavia 21EX, jedoch keinen signifikanten mit Compolute und PhosphaCem. Die CeraPost mit sandgestrahlter Oberfläche zeigten ohne Thermocycling mit Compolute hoch signifikant niedrigere Werte als nach tribochemischer Beschichtung mit Thermocycling. Ebenfalls wurden für Panavia 21EX im Vergleich von sandgestrahlten CeraPost ohne Thermocycling zu tribochemisch beschichteten mit Thermocycling niedrig signifikant höhere Werte gemessen. Im Vergleich von sandgestrahlten CeraPost mit Thermocycling zu tribochemisch beschichteten Stiften ohne Thermocycling wurden hochsignifikante Differenzen ermittelt (Tab. 16).

Beim Vergleich der tribochemisch behandelten CeraPost hatte das Thermocycling weder bei Compolute noch bei Panavia 21EX einen signifikanten Einfluss (Tab.17).

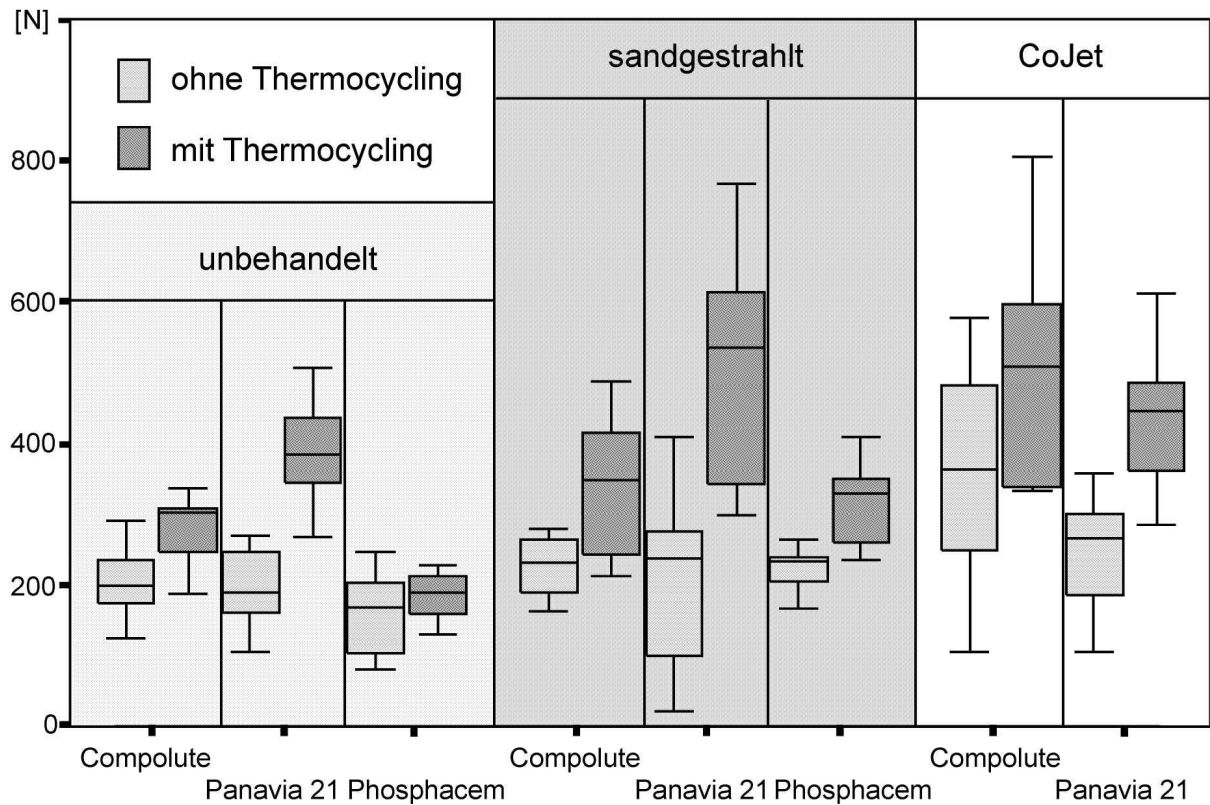


Abbildung 21: Ergebnisse der Hauffestigkeitsmessung in Newton für CeraPost hinsichtlich Oberflächenbehandlung und Thermocycling

		CeraPost					
		unbehandelte Oberfläche					
		Compolute o	Compolute m	Panavia21EX o	Panavia21EX m	PhosphaCem o	PhosphaCem m
unbehandelte Oberfläche	Compolute o		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Compolute m	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	n.s.		*	n.s.
	PhosphaCem o	n.s.	n.s.	n.s.	*		n.s.
	PhosphaCem m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Compolute m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	***	*	***	n.s.	***	***
	PhosphaCem o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	PhosphaCem m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Oberfläche mit CoJet	Compolute o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Compolute m	***	*	***	n.s.	***	***
	Panavia21EX o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	*	n.s.	**	n.s.	***	**

Tabelle 15: Signifikante Differenzen der Hauffestigkeiten für den CeraPost ohne Oberflächenbehandlung unter Einfluß des Thermocyclings (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p<0,001); (o – ohne Thermocycling; m – mit Thermocycling).

		CeraPost					
		sandgestrahlte Oberfläche					
		Compolute o	Compolute m	Panavia21EX o	Panavia21EX m	PhosphaCem o	PhosphaCem m
unbehandelte Oberfläche	Compolute o	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
	Compolute m	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	PhosphaCem o	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
	PhosphaCem m	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute o		n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
	Compolute m	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	n.s.		***	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	***	n.s.	***		***	n.s.
	PhosphaCem o	n.s.	n.s.	n.s.	***		n.s.
	PhosphaCem m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
Oberfläche mit CoJet	Compolute o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Compolute m	***	n.s.	***	n.s.	***	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	*	n.s.	*	n.s.	*	n.s.

Tabelle 16: Signifikante Differenzen der Haftfestigkeiten für den CeraPost mit sandgestrahlter Oberfläche unter Einfluß des Thermocyclings (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p<0,001); (o – ohne Thermocycling; m – mit Thermocycling).

		CeraPost			
		Oberfläche mit CoJet behandelt			
		Compolute o	Compolute m	Panavia21EX o	Panavia21EX m
unbehandelte Oberfläche	Compolute o	n.s.	***	n.s.	*
	Compolute m	n.s.	*	n.s.	*
	Panavia21EX o	n.s.	***	n.s.	**
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	PhosphaCem o	n.s.	***	n.s.	***
	PhosphaCem m	n.s.	***	n.s.	**
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute o	n.s.	***	n.s.	*
	Compolute m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	***	n.s.	*
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	***	n.s.
	PhosphaCem o	n.s.	***	n.s.	*
	PhosphaCem m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Oberfläche mit CoJet	Compolute o		n.s.	n.s.	n.s.
	Compolute m	n.s.		**	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	**		n.s.
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	n.s.	

Tabelle 17: Signifikante Differenzen der Haftfestigkeiten für den CeraPost mit tribochemisch beschichteter Oberfläche unter Einfluß des Thermocyclings (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p<0,001); (o – ohne Thermocycling; m – mit Thermocycling).

5.3.2 Einfluss des Thermocycling auf den DentinPost

Die Haftfestigkeiten für den DentinPost mit Thermocycling lagen für alle Befestigungszemente und Oberflächenbehandlungen über den Werten ohne Thermocycling (Abb. 22). Die einzelnen signifikanten Differenzen sind in den Tabellen 18 bis 20 angegeben. Die Differenzen durch den Thermocyclingeinfluss waren hochsignifikant für den DentinPost ohne Oberflächenbeschichtung und Panavia 21EX, für sandgestrahlte DentinPost mit Compolute, sowie für tribochemisch behandelte DentinPost mit Panavia 21EX. Die übrigen Differenzen zwischen den Vergleichsgruppen mit und ohne Thermocycling verhielten sich nicht signifikant.

Für Compolute erhöhten sich die Werte von unbehandelten DentinPost ohne Thermocycling im Vergleich zu sandgestrahlten, sowie tribochemisch beschichteten DentinPosts mit Thermocycling hochsignifikant. Für Panavia 21EX zeigte der Vergleich zwischen unbehandelten DentinPost ohne Thermocycling und sandgestrahlten, sowie tribochemisch beschichteten DentinPost mit Thermocycling hochsignifikante Differenzen. Die sandgestrahlten DentinPost ohne Thermocycling verhielten sich im Vergleich zu tribochemisch beschichteten Stiften mit Thermocycling für Compolute signifikant und mit Panavia 21EX hochsignifikant unterschiedlich. Für PhosphaCem wurde kein signifikanter Unterschied zwischen den Oberflächen und den Alterungsmodalitäten festgestellt.

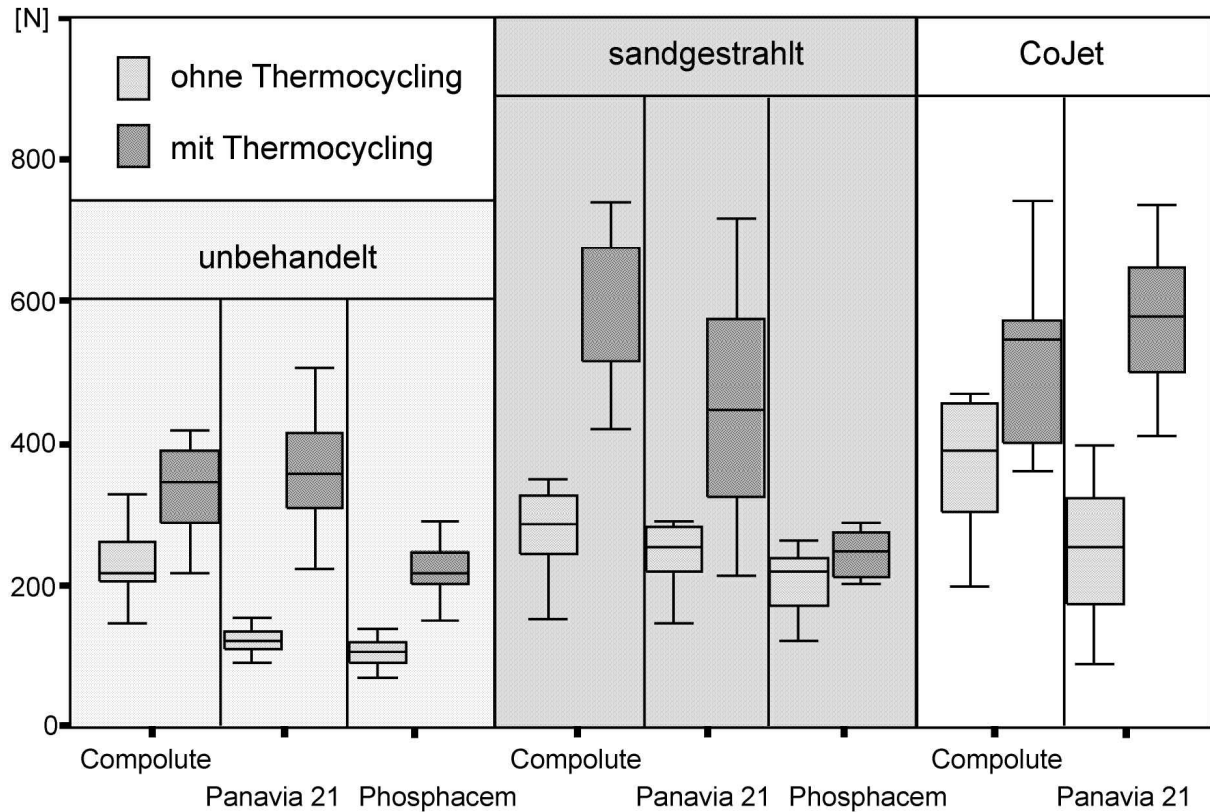


Abbildung 22: Ergebnisse der Haftfestigkeitsmessung in Newton für DentinPost hinsichtlich Oberflächenbehandlung und Thermocycling.

		DentinPost					
		unbehandelte Oberfläche					
		Compolute o	Compolute m	Panavia21EX o	Panavia21EX m	PhosphaCem o	PhosphaCem m
unbehandelte Oberfläche	Compolute o		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Compolute m	n.s.		**	n.s.	**	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	**		***	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	***		***	n.s.
	PhosphaCem o	n.s.	**	n.s.	***		n.s.
	PhosphaCem m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Compolute m	***	***	***	**	***	***
	Panavia21EX o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	**	n.s.	***	n.s.	***	**
	PhosphaCem o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	PhosphaCem m	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
Oberfläche mit CoJet	Compolute o	n.s.	n.s.	***	n.s.	***	n.s.
	Compolute m	***	n.s.	***	n.s.	***	***
	Panavia21EX o	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	***	***	***	**	***	***

Tabelle 18: Signifikante Differenzen der Haftfestigkeiten unter dem Einfluss des Thermocyclings für DentinPost mit unbehandelter Oberfläche (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001) (o – ohne Thermocycling; m – mit Thermocycling).

		DentinPost					
		sandgestrahlte Oberfläche					
		Compolute o	Compolute m	Panavia21EX o	Panavia21EX m	PhosphaCem o	PhosphaCem m
unbehandelte Oberfläche	Compolute o	n.s.	***	n.s.	**	n.s.	n.s.
	Compolute m	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	***	n.s.	***	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	PhosphaCem o	n.s.	***	n.s.	***	n.s.	n.s.
	PhosphaCem m	n.s.	***	n.s.	**	n.s.	n.s.
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute o		***	n.s.	***	n.s.	n.s.
	Compolute m	***		***	n.s.	***	***
	Panavia21EX o	n.s.	***		n.s.	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	n.s.		***	*
	PhosphaCem o	n.s.	***	n.s.	***		n.s.
	PhosphaCem m	n.s.	***	n.s.	*	n.s.	
Oberfläche mit CoJet	Compolute o	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
	Compolute m	**	n.s.	***	n.s.	***	***
	Panavia21EX o	n.s.	***	n.s.	*	n.s.	n.s.
	Panavia21EX m	***	n.s.	***	n.s.	***	***

Tabelle 19: Signifikante Differenzen der Haftfestigkeiten unter dem Einfluss des Thermocyclings für DentinPost mit sandgestrahlter Oberfläche (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001) (o – ohne Thermocycling; m – mit Thermocycling).

		DentinPost			
		Oberfläche mit CoJet behandelt			
		Compolute o	Compolute m	Panavia21EX o	Panavia21EX m
unbehandelte Oberfläche	Compolute o	n.s.	***	n.s.	***
	Compolute m	n.s.	n.s.	n.s.	***
	Panavia21EX o	***	***	n.s.	***
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	n.s.	**
	PhosphaCem o	***	***	n.s.	***
	PhosphaCem m	n.s.	***	n.s.	***
sandgestrahlte Oberfläche	Compolute o	n.s.	**	n.s.	***
	Compolute m	**	n.s.	***	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	***	n.s.	***
	Panavia21EX m	n.s.	n.s.	*	n.s.
	PhosphaCem o	n.s.	***	n.s.	***
	PhosphaCem m	n.s.	***	n.s.	***
Oberfläche mit CoJet	Compolute o		n.s.	n.s.	*
	Compolute m	n.s.		***	n.s.
	Panavia21EX o	n.s.	***		***
	Panavia21EX m	*	n.s.	***	

Tabelle 20: Signifikante Differenzen der Haftfestigkeiten unter dem Einfluss des Thermocyclings für DentinPost mit tribochemisch beschichteter Oberfläche (n.s. – nicht signifikant; *p < 0,05; **p < 0,01; ***p < 0,001) (o – ohne Thermocycling; m – mit Thermocycling).

5.4 Bruchverhalten

Bruchverhalten des CeraPost Stiftes

Bei den unbehandelten und den sandgestrahlten CeraPost Stiften wurden für Compolute und PhosphaCem meist adhäsive Bruchverläufe zwischen dem Befestigungsmaterial und der Stiftoberfläche festgestellt. Für Panavia 21EX verliefen die Brüche meist adhäsiv zwischen der Kanalwand und dem Befestigungsmaterial. Nachdem die Stiftoberfläche tribochemisch beschichtet wurde, verliefen die Bruchmodi bei der Verwendung von Compolute hauptsächlich kohäsiv, dass heißt innerhalb des Befestigungsmaterials. Bei einer Verwendung des Panavia 21EX wurden wieder meist adhäsive Bruchverläufe zwischen dem Dentin und dem Befestigungsmaterial ermittelt.

CeraPost	unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet
Compolute	adhäsiv B-S	adhäsiv B-S	kohäsiv
Panavia 21EX	adhäsiv D-B	adhäsiv D-B	adhäsiv D-B
PhosphaCem	adhäsiv B-S	adhäsiv B-S	-

Tabelle 21: Vorherrschendes Bruchverhalten der verschiedenen Befestigungsmaterialien für den CeraPost: adhäsiv B-S = Bruch zwischen Befestigungsmaterial und Stift; adhäsiv D-B = Bruch zwischen Dentin und Befestigungsmaterial; kohäsiv = Bruch innerhalb des Befestigungsmaterials

Bruchverhalten des DentinPost Stiftes

Für Compolute und PhosphaCem lagen die Bruchverläufe ohne Oberflächenkonditionierung meist adhäsiv zwischen der Stiftoberfläche und dem Befestigungsmaterial. Dagegen wurden hauptsächlich kohäsive Brüche bei Verwendung von Panavia 21EX ermittelt. Mit PhosphaCem und sandgestrahlter Oberfläche präsentierten sich für DentinPost wiederum meist adhäsive Bruchverläufe zwischen Stift und Zement. Für Compolute wurden vorherrschend kohäsive Bruchverläufe bei sandgestrahlter und tribochemisch beschichteter Oberfläche notiert. Für Panavia 21EX wurden für sandgestrahlte und tribochemisch beschichtete Stiftoberflächen hauptsächlich adhäsive Bruchmodalitäten zwischen Dentin und Zement registriert.

DentinPost	unbehandelt	sandgestrahlt	CoJet
Compolute	adhäsiv B-S	kohäsiv	kohäsiv
Panavia 21EX	kohäsiv	adhäsiv D-B	adhäsiv D-B
PhosphaCem	adhäsiv B-S	adhäsiv B-S	-

Tabelle 22: Vorherrschendes Bruchverhalten der verschiedenen Befestigungsmaterialien für den DentinPost: adhäsiv B-S = Bruch zwischen Befestigungsmaterial und Stift; adhäsiv D-B = Bruch zwischen Dentin und Befestigungsmaterial; kohäsiv = Bruch innerhalb des Befestigungsmaterials

6. Diskussion

6.1 Methodendiskussion

Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss der einzelnen Faktoren, d. h. Stiftmaterial, Oberflächenkonditionierung und Befestigungskomposit zu untersuchen, da von Wurzelstiften eine langfristige Retention gefordert wird. Daher wurde im Gegensatz zu anderen Arbeiten auf einen Stumpfaufbau und eine Überkronung verzichtet, um allein die Haftfestigkeiten der Wurzelstifte im Kanal zu bestimmen. Als anerkannte werkstoffkundliche Methode zur Retentionsbestimmung der unterschiedlichen Faktoren dient die Messung der axialen Haftfestigkeitswerte (CHAN et al. 1993; COHEN et al. 1998; NERGIZ et al. 2002b; GORACCI et al. 2004; AKGUNGOR et al. 2006). Für die Reproduzierbarkeit der einzelnen Messungen wurden die Versuche nach DIN 51221 durchgeführt. In anderen In-vitro Studien wurden Abscherfestigkeiten im 45°- bzw. 135°- Winkel bestimmt (ISIDOR et al. 1996; DIETSCHI et al. 1997; MANNOCCI et al 1999; ROSENTRITT et al. 2000; BUTZ et al. 2001). In solchen Abscherversuchen wird die Stabilität des gesamten Systems aus Wurzel, Stift, Aufbau und Krone getestet (MENDOZA et al. 1997; ROSENTRITT et al. 2000; TOKSAVUL et al. 2004). In dieser Arbeit lagen die Haftfestigkeiten für die Versuchsgruppen ohne Thermocycling in der selben Größenordnung wie bei den Messungen anderer Autoren.

Um die Erkenntnisse aus In-vitro Studien klinisch zu übertragen, muss sich der Haftverbund unter simulierten Stressbedingungen bewähren. Deshalb wurden in dieser Arbeit die Materialien einem Thermocycling nach DIN 10477 unterzogen. Diese Methode simuliert eine künstliche Alterung, welche einer Tragedauer von 2 Jahren im Mundmilieu entspricht (MORGANO 1996; STOCKTON 1999). Bei einer thermomechanischen Wechselbelastung könnten zusätzlich zur Alterung auch die variablen Kräfte einer dynamischen Okklusion getestet werden (DRUMMOND et al. 1999; FEHÉR et al. 1999; BARCLAY et al. 2002; IRIE et al. 2004).

Der Nachteil bei den Abzugskraftversuchen sind die gemessenen Maximalkräfte, welche klinisch nie auftreten. Dagegen werden bei einer thermomechanischen Wechselbelastung die klinischen Faktoren besser berücksichtigt (ROSIN et al. 2003; BALBOSH et al. 2006; DILMENER et al. 2006). Jedoch ist dieses Versuchsdesign zeitintensiver und aufwendiger, so dass nur die besten Gruppen aus Vorversuchen

getestet werden können. Zudem ist ein Aufbau des gesamten Zahnes inklusive Stift, Aufbau und Krone notwendig, so dass der Einfluss einzelner Komponenten kaum differenziert werden kann. In dieser Arbeit sollten die geeignetsten Befestigungskomposite und Oberflächenkonditionierungen für die unterschiedlichen Stiftmaterialien ermittelt werden. Da die wissenschaftlichen Studien der schnellen Weiterentwicklung der Produkte oft hinterherhinken, sind möglichst zeitnahe Aussagen über die unterschiedlichen Retentionseigenschaften notwendig (DGZMK-Stellungnahme 2003; JANSSEN & HÜLSMANN 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003).

Die Haftfestigkeit der Wurzelstifte ist von vielen Faktoren abhängig. Die Stifte wurden ohne vorherige Wurzelkanalfüllung inseriert, um mögliche Einflüsse durch den Sealer auszuschließen. In der Literatur gibt es keine festgeschriebene Haftfestigkeit der Stifte, jedoch sollten die Haftfestigkeiten für zahnfarbene Wurzelstifte in den Bereichen der klinisch bewährten Titanstifte liegen (SCHMAGE et al. 1992; NERGIZ et al. 1997; NERGIZ et al. 2002a; NERGIZ et al. 2002b). SCHMAGE et al. haben in wissenschaftlichen Studien für Titanstifte mit einer Länge von 12 mm und einem Durchmesser entsprechend ISO 90 Haftfestigkeiten mit unterschiedlichen Befestigungskompositen von durchschnittlich 400 N beschrieben (SCHMAGE et al. 2004; SCHMAGE et al. 2006).

Ein stabiler Verbund des Klebesystems, sowohl zum Wurzelkanal als auch zum Stift, ist zur Vermeidung eines bakteriellen Mikroleakage anzustreben (ROSENSTIEL et al. 1998; MANOCCI et al. 2001; DGZMK-Stellungnahme 2003). Aus diesem Grund wurden in der vorliegenden Arbeit die Bruchmodalitäten bestimmt. Der adhäsive Bruchmodus erfolgt zum einem an der Kanalwand oder zum anderen am Wurzelstift. Bei diesem Bruchmuster ist erkennbar, dass der Klebeverbund nachgegeben hat (SAHAFI et al. 2003). Bei einem kohäsiven Bruchmodus erweist sich der Verbund stabil, hier ist nur noch die Materialstabilität der Kompositfuge der limitierende Faktor. Ein kohäsiver Bruchmodus ist anzustreben, wobei die Materialfestigkeit durch die Hersteller weiter erhöht werden sollte (COHEN et al. 1992).

6.2 Ergebnisdiskussion

Die im Vergleich geringsten Haftfestigkeiten von CeraPost und DentinPost mit einer unbehandelten Stiftoberfläche ließen sich durch den fehlenden chemischen oder mechanischen Haftverbund zwischen Komposit und Oberfläche der Stifte erklären. In vorangegangenen Studien wurde gezeigt, dass eine geringe Oberflächenrauigkeit eine geringe mechanische Retention zur Folge hat (NERGIZ et al. 1993; Nergiz et al. 1997). Dies verdeutlichte der adhäsive Bruchmodus zwischen Befestigungskomposit und Stiftoberfläche, wobei diese Grenzfläche die Schwachstelle des Verbundes darstellte. Bei den CeraPost erhöhte die Sandstrahlung auf Grund der Materialhärte die Rauigkeiten in der Oberfläche nur gering. Deshalb stieg die Haftfestigkeit auf Grund des besseren mechanischen Verbundes ebenfalls nur gering. Vorversuche hatten gezeigt, dass eine feinere Körnung oder eine kürzere Strahldauer, als die verwendeten, keine Oberflächenveränderungen bewirkten. Bei den DentinPost verbesserte die Sandstrahlung deren Haftfestigkeiten deutlich, was neben der höheren Oberflächenrauigkeit auch mit einer Veränderung des Bruchverhaltens einher ging. In Vorversuchen führte eine längere Strahldauer bei den DentinPost zu einem zu großen, zu ungleichmäßigen Substanzabtrag und einer Beschädigung der Glasfasern. Durch die manuelle Sandstrahlung konnte die Passung der Stifte verändert werden. Die Zementfuge betrug bei den Erlanger Wurzelstiften 30 µm (NERGIZ et al. 1993). Aus der größeren Zementfuge durch eine schlechte Passung der Stifte, könnte wiederum eine geringere Friktion des Stiftes resultieren, die den Effekt der besseren Haftung auf der rauen Oberfläche aufhebt. Der Substanzabtrag konnte nicht exakt ermittelt werden, da er sich in einer Größenordnung bewegte, um die die Stiftdimension herstellungsbedingt variierte. Präfabrizierte sandgestrahlte Wurzelstifte mit einer formkongruenten Passung zum Präparationsinstrument sind aus diesem Grund zu bevorzugen. Die physikalischen Eigenschaften, die an glasfaserverstärkte Kompositstifte gestellt wurden, (MORGANO & BRACKETT 1999) sind nur mit einer konditionierten Oberfläche zu erfüllen.

Durch die tribochemische Oberflächenbeschichtung wurde ein chemischer Verbund zwischen dem Befestigungskomposit und CeraPost bzw. DentinPost, der sich in den maximalen Haftfestigkeiten widerspiegelte, hergestellt. Die chemisch-mechanische Oberflächenkonditionierung ist zu empfehlen, wenn darauf geachtet wird, dass die tribochemische Beschichtung mit dem jeweils verwendeten Komposit funktioniert

(EDELHOFF et al. 2006; MONTICELLI et al. 2006; WRABS et al. 2006; SCHMAGE et al. 2008).

Die 3M-Espe-Produktlinie: das CoJet-System und das Befestigungskomposit Compolute schienen optimal aufeinander abgestimmt zu sein. Oberflächenrauigkeiten sind für den chemischen Verbund nicht erforderlich, weshalb die tribochemisch beschichteten CeraPost trotz geringerer Rauigkeiten effektive Haftfestigkeiten besaßen.

Der Bruchverlauf für die mit Compolute inserierten Stifte war kohäsiv, das heißt der Verbund zwischen Komposit und Wurzelentin bzw. Stiftmaterial war stabiler als das Befestigungsmaterial selbst. Bei Panavia 21EX war der chemische Verbund zu den beschichteten Oberflächen geringer, aber es war ebenfalls ein Effekt feststellbar. Der Verlauf der Bruchmodi war meist adhäsiv zwischen Dentin und Befestigungskomposit, was darauf hindeutete, dass das Material – unabhängig von der Beschichtung – immer gut auf dem Stift haftete. In der Literatur wurde häufig über die erfolgreiche Verwendung von Panavia 21EX berichtet (KERN et al. 1995; ROSENSTIEL et al. 1998; EDELHOFF et al. 2000b). Diese herausragenden Ergebnisse konnten in der vorliegenden Arbeit nicht bestätigt werden, wenngleich Panavia 21EX akzeptable Werte erreichte. Ein kohäsiver Bruchverlauf wird als günstiger erachtet, da ein bakterielles Mikroleakage entlang möglicher Fugen an der Verbundstelle zur Wurzelkanalwand oder zum Stift nicht auftritt (SCHMAGE et al. 2008). Auf Grund der verschiedenen chemischen Zusammensetzung von Compolute und Panavia 21EX und der damit verbundenen unterschiedlichen Affinität zum Wurzelentin, lassen sich die Unterschiede in der Haftfestigkeit erklären. In Übereinstimmung mit früheren Studien konnte die vorliegende Arbeit zeigen, dass sich für zahnfarbene Stifte eine adhäsive Befestigung gegenüber dem konventionellen Phosphatzement bewährt hat (ISIDOR et al. 1996; FEHÉR et al. 1999; ROSENSTIEL et al. 1998). Ein Vorteil des chemischen Verbundes gegenüber dem Phosphatzement ist der Schutz vor einem bakteriellen Mikroleakage und damit verbunden die Vermeidung der Degradation von Komposit und FRC-Stift (MANNOCCI et al. 2001; VICHI et al. 2002; MONTICELLI et al. 2006; SCHMAGE et al. 2008). Die Empfehlung zur adhäsiven Befestigung resultiert zudem aus dem Wunsch einen Puffer in Form des Befestigungskomposits zwischen der starren Keramik und dem elastischeren Dentin zu bringen, wodurch ein Lösen des Stiftes

und Wurzelfrakturen vermieden werden sollen (ISIDOR et al. 1996; DIETSCHI et al. 1997; EDELHOFF et al. 2000b).

Die Elastizitätsmodule von dem glasfaserverstärkten Komposit und der Zirkonoxidkeramik sind sehr unterschiedlich (MANNOCCHI et al. 1999; PFEIFFER et al. 2002). Daher überraschten in der vorliegenden Arbeit die ähnlichen Abzugsfestigkeiten. Dadurch dass axiale Abzugskraftmessungen durchgeführt wurden, wirkte sich das unterschiedliche Elastizitätsmodul nicht aus. Unter dem Einfluss von Horizontalverbiegungen hätten die Ergebnisse stärker differiert (PFEIFFER et al. 2002). Einschränkend muß jedoch festgestellt werden, dass die Bedingungen für eine Anwendung der Befestigungskomposite im Wurzelkanal nicht ideal sind und durch eine eingeschränkte Sicht die Applikation der einzelnen Substanzen erschwert ist (NAUMANN 2008). So können Dentinspäne, Reste der Wurzelfüllung und des Sealers, sowie Phosphorsäurereste an der Kanalwand verbleiben und so die Haftfestigkeit beeinflussen (SERAFINO et al. 2004). Desweiteren können durch das Applizieren des Befestigungskomposites Lufteinschlüsse innerhalb der Zementfuge entstehen und ebenfalls die Abzugskräfte negativ beeinflussen (GRANDINI et al. 2005). Das Problem der Dentinkonditionierung ist noch nicht abschließend gelöst, da sich Wurzelentin und koronales Dentin strukturell deutlich unterscheiden und durch Vorbehandlungen nicht nachvollziehbaren Einflüssen unterliegen (BLUNK & HALLER 1999; MORGANO & BRACKETT 1999; WATANABE et al. 1999; SCHMAGE et al. 2003b). Um die Einflüsse von Sealer und Guttapercha zu vermeiden, wurden die Wurzelkanäle nicht gefüllt. Da die Zähne auch nicht endodontisch vorbehandelt waren, konnten die Einflüsse von medikamentösen Einlagen und Spüllösungen ausgeschlossen werden. Die Befestigungskomposite ebenso wie die Bondings sollten autopolymerisierend oder dual-härtend sein, da die Lichtleitung entlang der zahnfarbenen Stifte nicht ausreichend ist (GUTMANN et al. 1992; UTTER et al. 1997; ROULET & DEGRANDE 2000; FERRARI et al. 2001; KALKAN et al. 2006). Die Befestigungskomposite erfüllten diese Forderung. Zum Zeitpunkt der Untersuchungen wurde noch kein autopolymerisierendes Bondingsystem angeboten. Compolute hatte trotz der Verwendung eines lichthärtenden Bondings gute Haftfestigkeiten. Mit dualhärtendem Bond wären noch bessere Haftfestigkeiten zu erwarten, da die Lichthärtung nur 8 mm tief in den Kanal eindringt (PATYK et al. 2005). Daher war der Haftverbund im apikalen Drittel der 12 mm langen Stifte nicht ideal. Bei Panavia 21EX wird jedoch

ein Primer verwendet, welcher mit dem Zement erhärtet, so dass die Forderung nach Dualhärtung bei diesem System erfüllt ist.

Zur Steigerung der Haftfestigkeiten von zahnfarbenen Wurzelstiften ist die tribochemische Oberflächenbeschichtung geeignet. Diese Methode wurde für die Insertion von Keramikstiften schon länger angewendet (EDELHOFF et al. 1995; KERN et al. 1995; FISCHER et al. 1998; ROSENTRITT et al. 2000). Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigten die Steigerung der Haftfestigkeiten durch die Anwendung der tribochemischen Oberflächenbeschichtung und decken sich mit anderen Untersuchungen von SCHMAGE (2004) und SEN (2007). In anderen Untersuchungen wird der sinnvolle Einsatz der tribochemischen Beschichtung von Werkstoffen ebenfalls bestätigt (PFEIFFER et al. 1993; ÖZCAN et al. 1998; ROULET & DEGRANDE 2000; SCHMAGE et al. 2003a und 2003b; SCHÖNBRODT et al. 2003). Die tribochemische Beschichtung ist universell auf den unterschiedlichen Stiftmaterialien einsetzbar. Ein weiterer Vorteil ist die Vermeidung von Mikroleakage entlang der Stiftoberfläche und die Steigerung der Biegefestigkeit des gesamten Stift-Wurzel-Komplexes (EDELHOFF et al. 1995; FISCHER et al. 1998; ÖZCAN et al. 1998; EDELHOFF et al. 2000). Durch die Verwendung des Strahlgerätes konnte die tribochemische Beschichtung der Stiftoberfläche problemlos „chairside“ angewendet werden, was sich ohne großen Aufwand in der Praxis umsetzen ließe (EDELHOFF et al. 2000; NERGIZ et al. 2001; SCHÖNBRODT et al. 2003). Jedoch konnte die tribochemische Beschichtung nicht zusammen mit dem mechanisch haftenden Zinkphosphatzement PhosphaCem verwendet werden. Ein positiver Effekt der CoJet-Beschichtung ist nur für die chemisch härtenden Befestigungskomposite zu erwarten, da das Siliciumoxid die Verbindung der beschichteten Oberfläche zum Silan und zur Kompositmatrix vermittelt. Die Haftfestigkeiten konnten nicht grenzenlos gesteigert werden, weil die limitierenden Faktoren die Komposite und das Material der Stifte waren (SAHAFI et al. 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003; SCHMAGE et al. 2006; BITTER et al. 2007; SCHMAGE et al. 2008).

Die erzielten Haftfestigkeiten scheinen ausreichend zu sein, wenn sich die Stifte bei indikationsgerechten Einsatz klinisch bewährt haben. Stifte aus zahnfarbenen Materialien müssen mit herkömmlichen Metallstiften, beispielsweise aus Titan, konkurrieren. Titanstifte in der gleichen Dimensionierung und aus dem gleichen Stiftsystem lieferten in früheren Untersuchungen Haftfestigkeiten um 400 N ebenfalls mit den in dieser Arbeit getesteten Befestigungskompositen und PhosphaCem in der

gleichen Versuchsanordnung (NERGIZ et al. 2001; SCHMAGE et al. 2004 und 2006). Diese Größenordnung erscheint vor dem Hintergrund, dass bei der Kaufunktion selten höhere Kräfte erzeugt werden, akzeptabel (LYONS & BAXENDALE 1990). Allerdings erreichen zahnfarbene Stiftmaterialien diese Größenordnung nur nach Oberflächenkonditionierung. Erfahrungen, ob der Haftverbund auch nach Jahren mechanischer Wechsellast in dieser Größenordnung bestehen bleibt, liegen noch nicht vor. Durch die Konizität der Stifte und die Stabilität der Befestigungsmaterialien sind die Abzugskräfte grundsätzlich limitiert (NERGIZ et al. 1997; NERGIZ & SCHMAGE 2003; SCHÖNBRODT et al. 2003; NERGIZ & SCHMAGE 2004; SCHMAGE et al. 2004; SEN et al. 2005). Ein wesentlicher Faktor für den klinischen Erfolg ist vor allem der „ferrule effect“, der besagt, dass die artifizielle Krone den Zahn mindestens 1,5 mm breit in gesunder Zahnschubstanz marginal umfasst (STANKIEWICZ & WILSON 2002; SCHMAGE et al. 2008). Dadurch werden die Belastungen auf den Stift und dessen erforderliche Haftfestigkeit relativiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen rechtfertigen die Verwendung beider Befestigungsmaterialien Compolute und Panavia 21EX. Das Compolute ist bei einer tribochemischen Beschichtung auf Grund der besseren Abstimmung der einzelnen Produkte zu empfehlen, obwohl sich die Befestigungsmaterialien nicht signifikant unterscheiden.

Die nach dem Thermocycling gemessenen Haftfestigkeiten lagen über den ohne Thermocycling gefundenen Ergebnissen, wobei alle Befestigungskomposite polymerisiert waren. Dieses Ergebnis zeugte davon, dass die Haftfestigkeit unter dem Thermocycling noch zunahm. Für Panavia 21EX konnten diese Ergebnisse auch in anderen Studien ermittelt werden (LÜTHY et al. 2006). Üblicherweise reduzieren sich die Haftfestigkeiten durch die Alterung (KERN & WEGNER 1998; BLATZ et al. 2004; PIWOWARCZYK et al. 2005; ÖZCAN et al. 2007; ÖZCAN et al. 2008). In diesem Falle könnte der Effekt durch eine Quellung der Kompositmaterialien erklärt werden, da es stärker Panavia 21EX und den DentinPost betraf als PhosphaCem und den CeraPost. Die Komposite und Glasfasern waren während des Thermocyclings durch die fehlende Überkronung nicht gegen den Wasserzutritt geschützt. Die Wasseraufnahme von Kompositen mit feinen Partikeln ist größer als die mit mikrofeinen Partikeln. Die hygroskopische Expansion beginnt 15 min nach der initialen Polymerisation. Die meisten Komposite benötigen 7 Tage zur Einstellung eines Gleichgewichtes. Nach 4 Tagen zeigen sie die größte Expansion

(GRAIG & POWERS 2002). Da die Versuchsgruppen ohne ein Thermocycling nach einer Feuchtlagerung von 24 Stunden bereits abgezogen wurden, konnte sich das Gleichgewicht der Expansion nicht einstellen, was sich vermutlich in den geringeren Haftfestigkeiten widerspiegelt. Ein anderer möglicher Grund für die höheren Werte könnte das adhesive-phosphate-Monomer (APM) des Panavia 21EX Primers sein. Andere Studien haben gezeigt, dass Komposite mit APM signifikant höhere Haftfestigkeiten, als Befestigungskomposite ohne APM erzielten (KERN & WEGNER 1998; LÜTHY et al. 2006; BLATZ et al. 2007; NOTHDURFT et al. 2008). Vermutlich reagieren die Hydroxylgruppen aus den APM-Kompositen weiter mit den Hydroxylgruppen aus der Keramikoberfläche, so dass neben dem mechanischen auch ein chemischer Verbund entsteht. Es handelt sich hierbei um einen ähnlichen Effekt, wie bei der Reaktion von Phosphatester Monomeren mit Metalloxiden (PIWOWARCZYK et al. 2005; LÜTHY et al. 2006; NOTHDURFT et al. 2008). Ein weiteres Argument anderer Autoren ist, dass das Aufbringen eines APM-haltigen Silan-Haftvermittlers einen besseren Haftverbund zur Keramik erzielt (BLATZ et al. 2004).

Außerdem könnte die zunehmende Erfahrung bei der Versuchsdurchführung zu präziseren Präparationen im zweiten Teil der Arbeit mit Thermocycling geführt haben. Ebenfalls könnten die unterschiedliche Herkunft der gesammelten extrahierten Zähne eine Rolle gespielt haben. Die im Widerspruch zur gängigen Literatur stehenden Ergebnisse nach Thermocycling sind bei der Bewertung der vorliegenden Arbeit zu berücksichtigen. Die in der Literatur beschriebene Reduzierung der Haftfestigkeiten nach 10 Jahren wird in der Zukunft noch kritisch und genauer zu beobachten sein (VALLITTU 2007).

Das Ziel weiterer Untersuchungen sollte sein, die Weiterentwicklung der Stifte, der Adhäsivsysteme, der Befestigungskomposite und der Oberflächenkonditionierung wissenschaftlich zu bewerten. Vor allem in-vivo müssen sich die modernen Systeme bewähren, da die Verarbeitung der adhäsiven Materialien durch das Mundmilieu evtl. erschwert ist. Durch die vorliegende Arbeit kann die derzeit gültige Empfehlung der DGZMK unterstützt werden, zahnfarbene Stiftmaterialien eher bei einer moderaten Defektgröße des Stumpfes und bei Einzelzahnversorgungen im Frontzahnbereich einzusetzen. Metallische Stiftmaterialien und Stift-Stumpfaufbauten widerstehen höheren Kräften und bieten eine größere Sicherheit bei umfangreichen prothetischen

Rekonstruktionen (ROSENTRITT et al. 2000; DGZMK-Stellungnahme 2003; VASUT 2008).

6.3 Schlussfolgerungen

- Sowohl CeraPost als auch DentinPost müssen adhäsiv zementiert werden.
- Eine tribochemische Oberflächenkonditionierung bringt für beide Stiftmaterialien Nutzen, aber nur in Abstimmung auf das Befestigungskomposit. Dabei hat sich Compolute bewährt.
- Panavia 21EX zeigte Vorteile durch seine Dualhärtung des Primers und nach einer „Reifung“.
- Oberflächenrauigkeiten zur Erhöhung der mechanischen Retention sollten herstellerseitig durchgeführt werden und sind grundsätzlich zusätzlich zur chemischen Retention zu befürworten.
- Künftige Versuche sollten den Einfluss der Quellung von FRC-Stiften bzw. Kompositen stärker berücksichtigen.

7. Zusammenfassung

Zahnfarbene Wurzelstifte sind aus Gründen der Metallfreiheit und Ästhetik, sowie FRC-Stifte auf Grund ihres dentinähnlichen Elastizitätsmoduls seit einigen Jahren sehr populär. Im Allgemeinen ist die Haftfestigkeit von Wurzelstiften u.a. von den Faktoren Oberflächenstruktur der Wurzel und des Stiftes, sowie dem Befestigungskomposit abhängig. Bislang ist noch ungeklärt, ob die Haftfestigkeiten von Stiften aus zahnfarbenen Materialien mit denen aus Metall vergleichbar und ausreichend hoch sind, um einen dauerhaften Erfolg der Restauration zu ermöglichen. Außerdem ist unklar, welcher Befestigungskomposit am geeignetsten ist. Zur Erhöhung der Haftfestigkeiten von zahnfarbenen Stiften stehen verschiedene Oberflächenkonditionierungen zur Verfügung, wie die tribochemische Beschichtung. In dieser in-vitro Studie sollte untersucht werden, ob die Haftfestigkeiten von zwei verschiedenen zahnfarbenen Wurzelstiften des Erlanger Wurzelstiftsystems bei der Verwendung drei unterschiedlicher Befestigungsmaterialien und drei Arten von Oberflächenkonditionierungen gesteigert werden können.

Insgesamt wurden 320 frisch extrahierte menschliche Frontzähne für die Aufnahme von Wurzelstiften des ER-Wurzelstiftsystems der Größe 2 mit einer Länge von 12mm endodontisch aufbereitet und anschließend präpariert. Die Zähne wurden randomisiert in 16 Gruppen zu je 20 Probekörpern aufgeteilt. Die Versuchsgruppen setzten sich folgendermaßen zusammen: DentinPost (FRC) und CeraPost (Keramik) Stifte wurden jeweils unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen (unbehandelt, sandgestrahlt und tribochemisch beschichtet) unterzogen und anschließend mit zwei verschiedenen Befestigungskompositen (Compolute (3M Espe) und Panavia 21EX (Kuraray)) inseriert. Als Kontrollgruppen wurden zusätzlich die Stifte mit einem Zinkphosphatzement untersucht. Die Befestigungsmaterialien wurden streng nach Herstellerangaben verarbeitet. Zur Oberflächenbehandlung wurden die Stifte zum einen im zahntechnischen Labor mit Aluminiumoxid sandgestrahlt und zum anderen chairside mit dem CoJet-System (3M Espe) tribochemisch beschichtet. Nach der Stiftinsertion wurden die Proben für 24 Stunden feucht gelagert. Anschließend wurde jede Gruppe in 2 Untergruppen zu je 10 Probekörpern geteilt, von denen eine sofort abgezogen wurde und die andere zuvor einem Thermocycling nach DIN 10477 mit 5000 Zyklen zwischen 5-55°C unterzogen wurde. Bei allen Gruppen erfolgte die Bestimmung der Abzugskräfte mit einer Instron-Maschine nach ISO 51221 und die

Bestimmung der Bruchmodalitäten. Die statistische Auswertung erfolgte mit ANOVA und Scheffé-Korrektur ($p < 0,05$).

Die axialen Haftfestigkeiten der CeraPost und DentinPost-Wurzelstifte unterschieden sich nicht grundsätzlich voneinander. Die Haftfestigkeiten von unbehandelten zahnfarbenen Wurzelstiften aus Zirkondioxidkeramik oder kompositverstärkter Glasfaserkeramik waren signifikant niedriger als die mit einer behandelten Oberfläche.

Die Behandlung der Stiftoberfläche durch Sandstrahlung erhöhte die Ergebnisse für den DentinPost signifikant. Für den CeraPost wurden jedoch keine signifikant höheren Werte erzielt.

Eine tribochemische Behandlung der Oberfläche erhöhte für beide Stiftmaterialien in Kombination mit Compolute, unabhängig von einer künstlichen Alterung, die Haftfestigkeiten deutlich. Für Panavia 21EX brachte die tribochemische Beschichtung keine deutlichen Vorteile gegenüber der Sandstrahlung.

Nach erfolgtem Thermocycling lagen die Haftfestigkeiten tendenziell für alle Versuchsgruppen, am stärksten bei Panavia 21EX und dem DentinPost, höher als ohne Thermocycling.

Für die Verwendung von zahnfarbenen Stiften ist eine adhäsive Befestigung zu empfehlen, da die Haftfestigkeiten signifikant höher waren als für den konventionellen Phosphatzement. Beide untersuchten Befestigungskomposite haben sich bewährt.

Für einen erfolgreichen klinischen Einsatz von zahnfarbenen Wurzelstiften wäre eine Behandlung der Stiftoberfläche mit dem CoJet-System in Kombination mit Compolute zu empfehlen.

8. Literaturverzeichnis

1. **Akgungor G, Akkayan B** (2006) Influence of dentin bonding agents and polymerization modes on the bond strength between translucent fiber posts and three dentin regions within a post space. *J Prosthet Dent* 87: 431-7
2. **Akkayan B, Gulmez T** (2002) Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent* 95: 368-78
3. **Akisli I** (1999) Die Haftung von verschiedenen Aufbaumaterialien an unterschiedlich konditionierten Titan-Oberflächen. *Zahnmed Diss Köln*
4. **Akisli I, Özcan M, Nergiz I** (2003) Effect of surface conditioning techniques on the resistance of resin composite core materials on titanium posts. *Quintessence Int* 34:766-71
5. **Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T** (1999) Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent* 27: 275-8
6. **Assif D, Aviv I, Himmel R** (1989) A rapid dowel core construction technique. *J Prosthet Dent* 61:16-17
7. **Attin T, Hellwig E, Hilgers RD** (1994) Der Einfluß verstärkender Wurzelstifte auf die Frakturanfälligkeit endodontisch versorgter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 49: 586-89
8. **Balbosh A, Kern M** (2006) Effect of surface treatment on retention of glass-fiber endodontic posts. *J Prosthet Dent* 95: 218-23
9. **Barclay CW, Boyle EL, Williams R, Marquis PM** (2002) The effect of thermocycling on five adhesive luting cements. *J Oral Rehabilitation* 29: 546-52
10. **Betke H, Hülsmann M, Attin T** (2003) Zahninfraktionen - Ein Überblick. *Endodontie* 12: 147-62
11. **Bitter K, Priehn K, Martus P, Kielbassa AM** (2006) In vitro evaluation of push-out bond strengths of various luting agents to tooth-colored posts. *J Prosthet Dent* 95: 302-10
12. **Bitter K, Noetzel J, Neumann KH, Kielbassa, AM** (2007) Effect of silanization on bond strength of fiber post to various resin cements. *Quintessence Int* 38: 121-8
13. **Blankenstein F, Naumann M, Lange KP** (2002) Überlebenswahrscheinlichkeit endodontisch behandelter Zähne - Vorschlag zur klinischen Erfassung des Erhaltungsgrades. *Dtsch Zahnärztl Z* 57: 558-61

14. **Blaß H** (1953) Die Geschichte des Stiftzahnes und der Richmondkrone von ihren Anfängen bis in die Gegenwart und Untersuchungen über ihre derzeitige Anwendbarkeit. *Zahnmed Diss Berlin*
15. **Blatz MB, Chiche G, Holst S, Sadan A** (2007) Influence of zirconium-oxide ceramic surface treatments on the bond strength to adhesive resin. *J Prosthet Dent 95: 430-6*
16. **Blatz MB, Sadan A, Martin J, Lang B** (2004) In vitro evaluation of shear bond strengths of resin to densely-sintered high-purity zirconium-oxide ceramic after long-term storage and thermal cycling. *J Prosthet Dent 91: 356-62*
17. **Blunck U, Haller B** (1999) Klassifikation von Bondingsystemen. *Quintessenz 50/10: 1021-33*
18. **Braga RB, Cesar PF, Gonzaga CC** (2002) Mechanical properties of resin cements with different activations modes *J of Oral Rehabilitation 29: 257-62*
19. **Burns DA, Krause WR, Douglas HB, Burns DR** (1990) Stress distribution surrounding endodontic posts. *J Prosthet Dent 64: 855-7*
20. **Butz F, Lennon ÁM, Heydecke G, Strub JR** (2001) Survival rate and fracture strength of endodontically treated maxillary incisors with moderate defects restored with different post-and-core systems: An in vitro study. *Int J Prosthodont 14:58-64*
21. **Caputo A, Standlee JP** (1976) Pins and posts - why, when and how. *Dent Clin N Am 20/2:300-11*
22. **Chan F, Harcourt JK, Brockhurst PJ** (1993) The effect of post adaption in the root canal on retention of post with various cements. *Aust Dent J 38/1: 39-45*
23. **Christensen GJ** (1996) Posts: necessary or unnecessary? *JADA 127/18:1522-6*
24. **Cohen BI, Deutsch AS, Condos S, Musikant BL, Scherer W** (1992) Compressive and diametral tensile strength of titanium-reinforced composites. *J Esthet Dent Suppl 4: 50-5*
25. **Cohen BI, Pagnillo MK, Newman I, Musikant BL, Deutsch AS** (1997) Cyclic fatigue testing of five endodontic post designs supported by four core materials. *J Prosthet Dent 78: 458-64*
26. **Cohen BI, Pagnillo MK, Newman I, Musikant BL, Deutsch AS** (1998) Retention of three endodontic posts cemented with five different dental cements. *J Prosthet Dent 79/5:520-5*

27. **Craig G, Powers JM** (2002) Restorative Dental Materials 11th Edition. *Mosby An Affiliate of Elsevier Science, St. Louis, London, Philadelphia, Sydney, Toronto ISBN: 0-323-01442-9*
28. **Dean JP, Jeansonne BG, Sarkar N** (1998) In vitro evaluation of a carbon fiber post. *J Endod 24: 807-10*
29. **Dérاند P, Dérاند T** (2000) Bond strength of luting cements to zirconium oxide ceramics. *Int J Prosthodont 13/2:131-5*
30. **De Rijk WG** (2000) Removal of fiber posts from endodontically treated teeth. *Am J Dent 13: 19B-21B*
31. **DeSort KD** (1983) The prosthodontic use of endodontically treated teeth: Theory and biomechanics of post preparation. *J Prosthet Dent 49/2: 203-6*
32. **DGZMK-Stellungnahme** (2003) Aufbau endodontisch behandelter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z 58:199-201*
33. **Dietschi D, Romelli M, Goretti A** (1997) Adaption of adhesive posts and cores to dentin after fatigue testing. *Int J Prosthodont 10/6:498-507*
34. **Dilmener, FT, Sipahi C, Dalkiz M** (2006) Resistance of three new esthetic post-and-core systems to compressive loading. *J Prosthet Dent 95: 130-6*
35. **Drummond JL, Toepke T, King T** (1999) Thermal and cycling loading of endodontic posts. *Eur J Oral Sci 107: 220-4*
36. **Duncan JP, Pameijer CH** (1998) Retention of parallel-sided titanium posts cemented with six luting agents: An in vitro study. *J Prosthet Dent 80:423-8*
37. **Edelhoff D, Abuzayeda M, Yildirim M, Spiekermann H, Marx R** (2000a) Adhäsion von Kompositen an hochfesten Strukturkeramiken nach unterschiedlicher Oberflächenbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z 55:617-23*
38. **Edelhoff D, Marx R** (1995) Adhäsion zwischen Vollkeramik und Befestigungskomposit nach unterschiedlicher Oberflächenbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z 50: 112-17*
39. **Edelhoff D, Marx R, Spiekermann H** (1998a) Reparatur abgeplatzter Verblendungen durch intraorale Silikatisierung – eine in-vitro Untersuchung. *Dtsch Zahnärztl Z 53: 115-19*
40. **Edelhoff D, Spiekermann H, Yildirim M** (2000b) Klinische Erfahrungen mit konfektionierten Wurzelstiften und individuellen Stumpfaufbauten aus Keramik. *Dtsch Zahnärztl Z 55:746-50*

41. **Edelhoff D, Weber M, Spiekermann H, Marx R** (2006) PVD – Beschichtung für verbesserte Retention glasfaserverstärkter Wurzelkanalstifte. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 116/10: 992-9
42. **Edelhoff D, Yildirim M, Fischer H, Spiekermann H, Rübber A** (1998b) Wurzelstifte und individuelle Stumpfaufbauten aus Keramik – Erste klinische Erfahrungen mit dem CosmoPost-System. *Quintessenz* 49:257-65
43. **Eichner K** (1981) Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 4. Aufl. Bd. 2: Werkstoffe unter klinischen Aspekten. *Hüthig Verlag, Heidelberg*
44. **Fehér A, Egger B, Lüthy H, Schumacher M, Loeffel O, Schärer P** (1999) ISO-Zementevaluation und klinische Untersuchung von Zirkonoxidstiften. *Acta Med Dent Helv* 4:201-9
45. **Fernandes AS, Dessai GS** (2001) Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: A review. *Int J Prosthodont* 14:355-63
46. **Fernandes AS, Shetty S, Coutinho I** (2003) Factors determining post selection: A literature review. *J Prosthet Dent* 90:556-62
47. **Ferrari M, Scotti R** (2002) Classification of endodontic posts. In: *Ferrari M, Scotti R (Hrsg.): fiber post characteristic and clinical application. Masson, Milano* 7-14
48. **Ferrari M, Scotti R** (2004) Fiber post – Characteristics and clinical applications *Masson, Milano* 15-51
49. **Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F** (2000) Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent* 13: 15B-18B
50. **Ferrari M, Vichi A, Grandini S, Goracci C** (2001) Efficacy of a self-curing adhesive-resin cement system on luting glass-fiber posts into root canals: an SEM investigation. *Int J Prosthodont* 14: 543-9
51. **Fischer H, Edelhoff D, Marx R** (1998) Mechanische Beanspruchbarkeit von Zirkonoxidwurzelstiften. *Dtsch Zahnärztl Z* 53 (12): 854-8
52. **Fleissner P** (1996) Optimierung von Oberflächen bei Wurzelstiften. *Diplomarbeit, Fachhochschule Aalen*
53. **Geurtsen W, Schwarze T, Günay H** (2003) Diagnosis, therapy and prevention of the cracked tooth syndrome. *Quintessence Int* 34: 409-17

54. **Göbel R, Luthardt R, Welker D** (1998) Experimentelle Untersuchungen zur Befestigung von Restaurationen aus Zirkonoxid und Titan. *Dtsch Zahnärztl Z* 53/4:295-8
55. **Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Bertelli E, Ferrari M** (2005) The adhesion between prefabricated FRC posts and composite cores: microtensile strength with and without postsilanisation. *Dent Mater* 21 437-44
56. **Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso C, Tay F, Ferrari M** (2004) The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *Eur J Oral Sci* 112: 353-61
57. **Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Borracchini A, Ferrari M** (2005) SEM evaluation of the cement layer thickness after luting two different posts. *J Adhes Dent* 7: 235-40
58. **Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M** (2005a) Fatigue resistance and structural characteristics of fiber post: three-point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater* 21: 75-82
59. **Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Grandini R, Ferrari M** (2005b) Clinical Evaluation of Use of Fiber Posts and Direct Resin Restorations for Endodontically Treated Teeth. *Int J Prosthodont* 18: 399-404
60. **Gutmann J** (1992) The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 67/4:458-67
61. **Half M, Koeck B, Utz K** (2002) Problematik der Restauration wurzelgefüllter Zähne. *Zahnärztl Mitt* 92/10:1156-62
62. **Heydecke G, Butz F, Hussein A, Strub JR** (2002a) Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post-and-core systems. *J Prosthet Dent* 8:438-45
63. **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: 427-33
64. **Heydecke G, Peters MC** (2002b) The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct posts and cores: a systematic review. *J Prosthet Dent* 87: 380-6

65. **Hofmann M** (1985a) Das ER–Stiftsystem zum Aufbau marktoter Zähne (I-III). *Quintessenz* 36:1-24
66. **Hofmann M** (1985b) Das ER-Stift-Wurzelaufbausystem, Materialkundliche Untersuchungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 40:1169-78
67. **Hofmann M** (1988a) Retention durch Wurzelkanalstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 43:819-28
68. **Hofmann M** (1988b) Der geteilte Stiftaufbau. *Die Quintessenz* 39: 2093-100
69. **Holmes DC, Diaz-Arnold AM, Leary JM** (1996) Influence of post dimension on stress distribution in dentin. *J Prosthet Dent* 75:140-7
70. **Irie M, Windmueller B, Suzuki K** (2004) Effect of thermocycling on flexural properties of luting agents. *J Dent Res* 83: Nr 0515
71. **Isidor F, Brøndum K, Ravnholt G** (1999) The influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts. *Int J Prosthodont* 12:78-82
72. **Isidor F, Ödman P, Brøndum K** (1996) Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts. *Int J Prosthodont* 2:131-6
73. **Janssen U, Hülsmann M** (2003) Das Bruchverhalten endodontisch verankerter Aufbauten mit den Wurzelstiftsystemen Luscent-Anchor und Permatex im In-vitro-Test. *Dtsch Zahnärztl Z* 58: 331-6
74. **Jørgensen KD** (1960) Factors effecting the film thickness of zinc phosphate cements. *Acta Odontol Scand* 18: 479-90
75. **Kalkan M, Usumez A, Ozturk AN, Belli S, Eskitascioglu G** (2006) Bond strength between root dentin and three glas-fiber post systems. *J Prosthet Dent* 96: 41-46
76. **Kern M, Knode H** (1991) Stiftkernaufbauten aus In-Ceram: Direkte und indirekte Methode *Quintessenz Zahntech* 17: 917-25
77. **Kern M, Pleimes AW, Strub JR** (1995) Bruchfestigkeit metallischer und vollkeramischer Stiftkernaufbauten. *Dtsch Zahnärztl Z* 50: 451-3
78. **Kern M, Simon MHP, Strub J** (1998) Erste klinische Erfahrungen mit Wurzelstiften aus Zirkonoxidkeramik. *Dtsch Zahnärztl Z* 53:266-8
79. **Kern M, Wegner SM** (1998) Bonding to zirconia ceramic: adhesion methods and their durability. *Dent Mater* 14: 64-71
80. **King PA, Setchell DJ, Rees JS** (2003) Clinical evaluation of a carbon fibre reinforced carbon endodontic post. *J Oral Rehabil* 30:785-9

81. **Kiwatkowski SJ, Geller W** (1998) A preliminary consideration of the glasceramic dowel post and core. *Int J Prosthodont* 2: 51-55
82. **Koutayas SO, Kern M** (1999) Vollkeramische Stiftkernaufbauten – Stand der Technik. *Quintessenz* 7: 701-11
83. **Kurer PF** (1986) Das Kurer Anker-System. *Quintessenz Verlag Berlin, Chicago, London, São Paulo, Tokio*. S 13-24, 47-60
84. **Lambjerg-Hansen H, Asmussen E** (1997) Mechanical properties of endodontic posts. *J Oral Rehabil* 24:882-7
85. **Lassila LVJ, Tanner J, Le Bell A-M, Narva K, Vallittu PK** (2004) Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater* 20: 29-36
86. **Lauer HC, Ottl P, Weigl P** (1994) Mechanische Belastbarkeit verschiedener Stiftaufbau-Systeme. *Dtsch Zahnärztl Z* 49:985-9
87. **Lewinstein I, Grajower R** (1981) Root dentin hardness of endodontically treated teeth. *J Endodontics* 7: 421-2
88. **Linn J, Messer H** (1994) Effect of restorative procedures on the strength of endodontically treated molars. *J Endodontics* 20: 479-85
89. **Lloyd P, Palik JF** (1993) The philosophies of dowel diameter preparation. A literature review. *J Prosthet Dent* 69/1:32-6
90. **Lüthy H, Loeffel O, Hammerle CHF** (2006) Effect of thermocycling on bond strength of luting cements to zirconia ceramic. *Dent Mater* 22(2): 195-200
91. **Lyons MF, Baxendale RH** (1990) A preliminary electromyographic study of bite force and jaw-closing muscle fatigue in human subjects with advanced tooth wear. *J Oral Rehabil* 17: 311-18
92. **Lynch CD, Burke FM** (2002) Incomplete tooth fracture following root canal treatment: a case report. *Int Endod J* 35: 642-6
93. **Magni E, Mazzitelli C, Papacchini F, Radovic I, Goracci C, Coniglio I, Ferrari M** (2007) Adhesion between fiber posts and resin luting agents: a microtensile bond strength test and SEM investigation following different treatments of the post surface
94. **Mannocci F, Ferrari M, Watson TF** (1999) Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal post. *J Adhesive Dent* 2:153-8

95. **Mannocci F, Ferrari M, Watson TF** (2001) Microleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: A confocal microscopic study. *J Prosthet Dent* 85: 284-91
96. **Mannocci F, Sheriff M, Watson TF, Vallittu PK** (2006) Penetration of bonding resins into-fibre-reinforced composite posts: A confocal microscopic study. *Int Endod J* 38: 46-51
97. **Marshak BL, Helft H, Filo R** (1988) Factors mitigating against the use of dowels in endodontically treated teeth. *Quintessence Int* 19:417-21
98. **Martinez-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: 527-32
99. **Marxkors R, Meiners H** (1982) Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde. *Carl Hanser Verlag München* S 69-70
100. **McDonald AV, King PA, Setchell DJ** (1990) In vitro study to compare impact fracture resistance of intact root-treated teeth. *Int Endod J* 23: 304-12
101. **Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, Ho R** (1997) Root reinforcement with a resin-bonded preformed post. *J Prosthet Dent* 78/1:10-4
102. **Meyenberg KH, Lüthy H, Schärer P** (1995) Zirconia posts: A new all-ceramic concept for nonvital abutment teeth. *J Esthet Dent* 7: 73-80
103. **Miller BH, Nakajima H, Powers JM, Nunn ME** (1998) Bond strength between cements and metals used for endodontic posts. *Dent Mater* 14:312-20
104. **Millstein PL, Yu H, Hsu CS, Nathanson D** (1987) Effects of cementing on retention of a prefabricated screw post. *J Prosthet Dent* 57:171-4
105. **Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Cury AH, Gorracci C, Ferrari M** (2006) Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. *Dent Mater* 22: 602-9
106. **Morgano SM** (1996) Restoration of pulpless teeth: Application of traditional principles in present and future contexts. *J Prosthet Dent* 75/4:375-80
107. **Morgano SM, Brackett SE** (1999) Foundation restorations in fixed prosthodontics: Current knowledge and future needs. *J Prosthet Dent* 82/6:643-57
108. **Morgano SM, Hashem A, Fotoohi S, Rose L** (1994) A nationwide survey of contemporary philosophies and techniques of restoring endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 72:259-67

- 109. Möllersten L, Lockowandt P, Linden LA** (2002) A comparison of strengths of five core and post-and-core systems. *Quintessence Int* 33: 140-9
- 110. Naumann M** (2008) Adhäsivtechnik im Wurzelkanal. *Adhäsivtechnik in der modernen Zahnheilkunde; Zahnmedizinisches Compendium, Vol. 1 DMG, ISBN 978-3-9805351-2-0; 1. Auflage; 29-30*
- 111. Naumann M** (2000) Kleben oder Zementieren ? *Zahn Prax* 4:298-300
- 112. Naumann M** (2003) Wann Wurzelstifte indiziert sind – Klassifikation und Therapiekonzept. *Quintessenz* 54:931-8
- 113. Naumann M, Blankenstein F** (2002) Adhäsive Restauration endodontisch behandelter Zähne mit Hilfe glasfaserverstärkter Kompositstifte. *Quintessenz* 53: 539-47
- 114. Naumann M, Blankenstein F** (2004) Optimierte postendodontische Rekonstruktion mit längenreduzierten Wurzelstiften und selbstadhäsivem Befestigungszement. *Quintessenz* 55/11:1303-8
- 115. Nergiz I** (1989) Werkstoffliche und physikalische Untersuchungen an Wurzelstiften nach dem Erlanger Wurzel-Aufbau-System. *Zahnmed Diss Erlangen*
- 116. Nergiz I, Schmage P** (2003) Erlanger Wurzel aufbausystem. *Gedr. Brasseler, Lemgo, Verlag Brackmann. Löhne, ISBN Nr 3-922911-02-1, 2. Aufl*
- 117. Nergiz I, Schmage P** (2004) Wurzelstifte im Wandel der Zeit. *Endodontie J* 1:10-7
- 118. Nergiz I, Schmage P, Herrmann W, Özcan M** (2004) Effect of alloy type and surface conditioning on roughness and bond strength of metal brackets. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 125 (1): 42-50
- 119. Nergiz I, Schmage P, Özcan M, Platzer U** (2002) Effect of length and diameter of tapered posts on the retention. *J Oral Rehabil* 29/1:28-34
- 120. Nergiz I, Schmage P, Platzer U** (1993) Abzugskraftmessungen bei Wurzelstiften mit verschiedenen Oberflächen. *Dtsch Zahnärztl Z* 48: 661-4
- 121. Nergiz I, Schmage P, Platzer U, McMullan-Vogel C** (1997) Effect of different surface textures on retentive strength of tapered posts. *J Prosthet Dent* 78/5: 451-7
- 122. Nergiz I, Sohn J, Schmage P, Platzer U** (2001) Retentive strengths of metal root posts using chemical surface treatment. *J Dent Res* 80: 690 Nr 1306.

- 123. Nikaido T, Akagewa H, Sasafuchi Y, Nozaki N, Hashimoto K, Tagami J** (1999) Bonding to nonvital teeth. Modern trends in adhesive dentistry. *Proceedings of the Adhesive Dentistry Forum 1999 in Tsurumi, Yokohama, Japan, 86-94*
- 124. Nothdurft FP, Gernet W, Pospiech PR** (2003) In-vitro-Untersuchungen zu vollkeramischen Stiftaufbauten aus Zirkonoxid. *Dtsch Zahnärztl Z 58: 451-6*
- 125. Nothdurft FP, Motter PJ, Pospiech PR** (2008) Effect of surface treatment on the initial bond strength of different luting cements to zirconium oxide ceramic. *Clin Oral Invest, online first, angenommen 2008*
- 126. Øilo G, Jørgensen KD** (1978) The influence of surface roughness on the retentive ability of two dental luting cements. *J Oral Rehabil 5: 377-89*
- 127. Ottl P, Lauer HC** (1998) Successrates for two different types of post-and-cores. *J Oral Rehabil 25: 752-8*
- 128. Ottl P, Hahn L, Lauer HC, Fay M** (2002) Fracture characteristics of carbon fibre, ceramic and non-palladium endodontic post systems at monotonously increasing loads. *J Oral Rehabil 29:175-83*
- 129. Özcan M, Barbosa SH, Marques Melo R, Prado Galhano GA, Bottino A** (2007) Effect of surface conditioning methods on the microtensile bond strength of resin composite to composite after aging conditions. *Dent Mater 23: 1276-82*
- 130. Özcan M, Kerkdijk S, Valandro LF** (2008) Comparison of resin cement adhesion to Y-TZP ceramic following manufacturers`instructions of the cements only. *Cin Oral Invest 12: 279-82*
- 131. Özcan M, Pfeiffer P, Nergiz I** (1998) A brief history and current status of metal and ceramic surface-conditioning concepts for resin bonding in dentistry. *Quintessence International 29: 713-24*
- 132. Patyk AJ, Friedrich M, Attin T** (2005) Untersuchung des Lichttransfers von Glasfaserstiften und der daraus resultierenden Polymerisation des Befestigungskomposits. *Dtsch Zahnärztl Z 60 (5): 253-7*
- 133. Pest LB, Cavalli G, Bertani P, Gagliani M** (2002) Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM observations. *Dent Mater 18: 596-602*
- 134. Peutzfeldt A, Asmussen E** (1988) Silicoating: evaluation of a new method of bonding composite resin to metal. *Scand J Dent Res 96:171-6*

- 135. Pfeiffer P, Beldner W, Woyna R** (1993) Verbundfestigkeitsvergleich von Cyano-, Veneer-, und Rocatec-Verfahren für den Hydrolysebeständigen Verbund von Kunststoffen und Dentallegierungen. *Quintessenz Zahntech* 2:1-8
- 136. Pfeiffer P, Nergiz I, Platzer U** (2000) Effect of casting-on of cores on the bending resistance of titanium posts. *J Dent Res* 79: 187 Nr 350
- 137. Pfeiffer P, Nergiz I, Platzer U** (2001) Bending resistance of cast and prefabricated posts. *J Dent Res* 80:562 Nr 281
- 138. Pfeiffer P, Nergiz I, Schmage, P, Platzer U** (2002) Yield strength of zirconia and glass fiber-reinforced posts. *J Dent Res* 81A:428 Nr 3477
- 139. Pfeiffer P, Nergiz I, Schmage P, Platzer U** (2004) Bending resistance of prefabricated Titanium posts following molten cast and core attachment. *Operative Dent* 29-4: 404-9
- 140. Pfeiffer P, Nergiz I, Selçuk S, Platzer U, Schmage P** (2008) Composite-to-alloy shear bond strengths using six intraoral repair systems. *J Adhesions Sci Technol* 22: 133-146
- 141. Pfeiffer P, Schulz A, Nergiz I, Schmage P** (2006) Yield strength of zirconia and glass fiber-reinforced posts. *J Oral Rehabil* 33: 70-4
- 142. Pflügl M, Kuderna F, Haas M** (1994) Eine in-vitro Studie der Haftfestigkeit von Kunststoff-Metall-Verbundsystemen. *Quintessenz Zahntech* 20:83-94
- 143. Pinto E** (2008) Haftfestigkeit von faserverstärkten Kompositwurzeltiften in Abhängigkeit von dem Zement, der Zementfugenbreite und der Oberflächenbehandlung. *Zahnmed Diss, Hamburg in Arbeit*
- 144. Piwowarczyk A, Berge HX, Lauer HC, Soerensen JA** (2002) Shear bond strength of cement to zirconia and lithium disilicate ceramics. *J Dent Res* 81 A: 401
- 145. Piwowarczyk A, Ottl P, Lindemann K, Zipprich H, Bender R, Lauer HC** (2005) Langzeit-Haftverbund zwischen Befestigungszementen und keramischen Werkstoffen. *Dtsch Zahnärztl Z* 6076: 314-20
- 146. Powers JM** (2002) Composite restorative materials. In: *Craig RG, Powers JM (eds) (2002) Restorative Dent Mater. 11 ed Mosby, St Louis*
- 147. Purton DG, Payne JA** (1996) Comparison of carbon fiber and stainless steel root canal posts. *Quintessence Int* 27: 93-9

148. **Proãno Flores P** (1997) Eine neue Methode zur intraoralen Reparatur von Verblendungen bei Kronen und Brücken. *Zahnmed Diss Köln*
149. **Proãno Flores P, Pfeiffer P, Nergiz I, Niedermeier W** (1998) Shear bond strength of repair resin using an intraoral tribochemical coating on ceramometal, ceramic and resin surfaces. *J Adhesion Sci Technol* 12:1121-35
150. **Qualtrough AJ, Mannocci F** (2003) Tooth-colored post system: a review. *Oper Dent* 28: 86-91
151. **Raygot CG, Chai J, Jameson DL** (2001) Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber-reinforced resin post system in vitro. *Int J Prosthodont* 14: 141-5
152. **Reeh ES, Messer HH, Douglas WH** (1989) Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endodontics* 15: 512-6
153. **Rinke S, Hüls A** (1999a) Postendodontische Frontzahnversorgung. Praxisbezogene Kriterien zur Material- und Systemauswahl. *Quintessenz* 50: 893-903
154. **Rinke S, Hüls A** (1999b) Postendodontische Seitenzahnversorgung. Praxisbezogene Kriterien zur Material- und Systemauswahl. *Quintessenz* 50/10:1035-47
155. **Robin C, Scherrer SS, Wiskott HWA, de Rijk WG, Belser UC** (2002) Weibull parameters of composite resin bond strengths to porcelain and noble alloy using the Rocatec system *Dent Mater* 18: 389-95
156. **Robbins JW** (2002) Restoration of the endodontically treated tooth. *Dent Clin North Am* 46: 367-84
157. **Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ** (1998) Dental luting agents: A review of the current literature. *J Prosthet Dent* 80:280-301
158. **Rosentritt M, Behr M, Kujat A, Sikora M, Handel G** (2004) Einfluss der Stiftversorgung auf die In-vitro-Bruchfestigkeit und Randqualität von Frontzahnkronen. *Dtsch Zahnärztl Z* 59:311-5
159. **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
160. **Rosin M, Wilkens M, Splieth C, Stéffen H, Meyer G** (2003) Einfluss des Zementtyps auf die Retention von Wurzelstiften. *Quintessenz* 54: 975-81

- 161. Roulet JF, Degrande M** (2000) Adhesion, the silent revolution in dentistry. *Quintessence Publishing Chicago, Berlin, London, Tokyo, Paris Barcelona São Paulo, Moscow, Prague, Warsaw* 45-60; 329-49
- 162. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K** (2003) Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated posts to titanium alloy, glass fiber and zirconia. *J Adhes Dent* 5:153-62
- 163. Saupe WA, Gluskin AH, Radke RA Jr** (1996) A comparative study of fracture resistance between morphologic dowel and cores and a resin-reinforced dowel system in the intraradicular restoration of structurally compromised roots. *Quintessence Int* 27: 483-91
- 164. Schmage P, Koba M, Nergiz I, Platzer U** (2002) Fracture strengths of molars depending on defect size and restoration. *J Dent Res* 81: A-175 Nr 1260
- 165. Schmage P, Nergiz I, Czajkowska A, Platzer U** (2003b) Retentive strength of root posts influenced by endodontic treatment. *J Dent Res* 82:B-53 Nr 0327
- 166. Schmage P, Nergiz I, Herrmann W, Özcan M** (2003a) Influence of various surface conditioning methods on the bond strength of metal brackets to ceramic. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 123/5:540-6
- 167. Schmage P, Nergiz I, Platzer U** (1992) Messungen der Zementfuge bei Wurzelstiften mit verschiedenen Oberflächen. *Dtsch Zahnärztl Z* 47:785-8
- 168. Schmage P, Markopoulou S, Pfeiffer P, Fischer F, Nergiz I** (2008) Haftfestigkeiten des FRC-Wurzelstiftes DentinPost Coated mit verschiedenen Befestigungskompositen *unveröffentlichte Puplicaton*
- 169. Schmage P, Pfeiffer P, Pinto E, Platzer U, Nergiz I** (2008) Influence of oversized dowel space preparation on the bond strengths of FRC posts. *Operative Dentistry* 33, im Druck
- 170. Schmage P, Selçuk S, Nergiz I, Platzer U, Pfeiffer P** (2007) Shear bond strengths of five intraoral porcelain repair systems. *J Adhesions Sci Technol* 21 (5-6): 409-422
- 171. Schmage P, Sohn J, Nergiz I, Özcan M** (2004) Various conditioning methods for root canals influencing the tensile strength of titanium posts. *J Oral Rehabil* 31: 890 – 894
- 172. Schmage P, Sohn J, Nergiz I, Platzer U** (2001) Various conditioning methods influencing the retention of root posts. *J Dent Res* 80 : 609 Abstr Nr 1305

173. **Schmage P, Sohn J, Özcan M, Nergiz I** (2006) Effect of surface treatment of titanium posts on the tensile bond strength. *Dent Mater* 22: 189 - 94
174. **Schönbrodt M, Schmage P, Nergiz I, Platzer U** (2003) Haftfestigkeit zahnfarbener Wurzelstifte in Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung und dem Befestigungskomposit. *Dtsch Zahnärztl Z* 58:55-9
175. **Sen H, Schmage P, Platzer U, Nergiz I** (2005) Retentive Bond strength of conventional and radiopaque FRC posts. *J Dent Res* 84a: 00667
176. **Sen H** (2007) Haftfestigkeit faserverstärkter Kompositstifte mit und ohne Radioopazität mit sechs Kompositzementen. *Zahnmed Diss, Hamburg*
177. **Selçuk S** (2006) Intraorale Reparaturen von festsitzendem Zahnersatz. *Zahnmed Diss, Hamburg*
178. **Serafino C, Gallina G, Cumbo E, Ferrari M** (2004) Surface debris of canal walls after post space preparation in endodontically treated teeth: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2004; 97: 381-7
179. **Shillingburg HT, Kessler JC** (1982) Restauration von wurzelbehandelten Zähnen. *Quintessenz Verlag Berlin, Chicago, Rio de Janeiro, Tokio* 13-44
180. **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
181. **Simon M, Paffrath J** (1995) Neue Perspektiven zur vollkeramischen Stabilisierung und zum Aufbau devitaler Zähne. *Quintessenz* 46:1-17
182. **Signore A, Kaitas V, Barone M, Benedicenti S, Frazzigarò G** (2003) Repetitorium: Adhäsive Zementierung faserverstärkter Wurzelstifte. *Teamwork Interdisziplinäre Zahnheilkunde* 6(3): 256-69
183. **Sohn J** (2005) Haftung konischer Titan Wurzelstifte mit verschiedenen Zementen. *Zahnmed. Diss, Hamburg*
184. **Sorensen JA, Engelman MJ** (1990a) Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 63:529-6
185. **Sorensen JA, Engelman MJ** (1990b) Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 64:419-24
186. **Sorensen JA, Martinoff JT** (1984a) Intracoronal reinforcement and coronal coverage. A study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51/6:780-4
187. **Sorensen JA, Martinoff JT** (1984b) Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 52: 28-35

- 188. Spang H** (1991) Wiederherstellen von Zähnen mit Radix-Ankern. Grundlagen und Anwendung. *Quintessenz Verlag Berlin, Chicago, London, São Paulo, Tokio* 15-31,85-116
- 189. Städtler P, Wimmersdorf M, Shookoi H, Wernisch J** (1995) Die Kraftübertragung von vorgefertigten Wurzelkanalstiften anhand von Photoelastischen Stressanalysen. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105:1418-24
- 190. Stankiewicz NR, Wilson PR** (2002) The ferrule effect: a literature review. *Int Endodont J* 35: 575-79
- 191. Stiefenhofer A, Stark H, Hackhofer T** (1994) Biomechanische Untersuchungen von Stiftaufbauten mit der Finite-Elemente-Analyse. *Dtsch Zahnärztl Z* 49: 711-5
- 192. Stockton LW** (1999) Factors affecting retention of post systems: A literature review. *J Prosthet Dent* 81/4:380-5
- 193. Toksavul S, Toman M, Uyulgan B, Schmage P, Nergiz I** (2004) Effect of luting agents and reconstruction techniques on the fracture resistance of pre-fabricated post systems. *J Oral Rehabil* 31: 1 – 8
- 194. Torbjörner A, Karlsson S, Ödman P** (1995) Survival rate and failure characteristics for two post designs. *J Prosthet Dent* 73/5:439-44
- 195. Torbjörner A, Karlsson S, Syverud M, Hensten-Pettersen A** (1996) Carbon fiber reinforced root canal posts. *Eur J Oral Sci* 104:605-11
- 196. Trope M, Maltz DO, Tronstad L** (1985) Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* 1: 108-11
- 197. Utter J, Miller B, Wong B** (1997) The effect of cementing procedures on retention of prefabricated metal posts. *JADA* 128:1123-7
- 198. Valandro LF, Yoshiga S, de Melo RM, Galhano GA, Mallmann A, Marinho CP, Bottino MA** (2006) Microtensile bond strength between a quartz fiber post and a resin cement: Effect of post surface conditioning. *J Adhes Dent* 8 (2): 105-11
- 199. Vallitu PK, Kurunmäki H** (2002) Bond strength of fibre-reinforced composite to the metal surface. *J Oral Rehabil* 30 (9): 887-92
- 200. Vallitu PK** (2007) Effect of 10 years of in vitro aging on the flexural properties of fiber-reinforced resin composites. *Int J Prosthodont* 20: 43-45

- 201. Vano M, Goracci C, Monticelli F, Tognini F, Gabriele M, Tay FR, Ferrari M** (2006) The adhesion between fiber posts and composite resin cores: The evaluation of microtensile bond strength following various surface chemical treatments to posts. *Int Endod J* 39: 31-9
- 202. Vasut O** (2008) Vergleich der Scherfestigkeiten verschiedener Wurzelstift-Aufbauten. *Zahnmed Diss, Hamburg*
- 203. Vichi A, Grandini S, Davidson CL, Ferrari M** (2002) An SEM evaluation of several adhesive systems used for bonding fiber posts under clinical conditions. *Dent Mater* 18: 495-502
- 204. Watanabe E, Yatani H, Yamashita A, Ishikawa K, Suzuki K** (1999) Effects of thermocycling on the tensile bond strength between resin cement and dentin surfaces after temporary cement application. *Int J Prosthodont* 12/3:230-5
- 205. Wrabs KT, Kampe MT, Schirrmeister JF, Altenburger MJ, Hellwig E** (2006) Retention glasfaserverstärkter Wurzelkanalstifte in Abhängigkeit vom Befestigungskomposit. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 116: 18-24

9. Danksagung

Für die freundliche Überlassung des Themas, sowie die Unterstützung bei der Durchführung und dem Abfassen dieser Arbeit, möchte ich Herrn Professor Dr. I. Nergiz herzlich danken.

Frau PD Dr. P. Schmage danke ich für die freundliche und intensive Betreuung, die sie mir während dieser Arbeit entgegengebracht hat.

Frau Dagmar Claußen (Diplom-Fotografin) und Herrn Frank Fischer danke ich für die Hilfe bei den REM-Aufnahmen.

10. Lebenslauf

11. Erklärung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Hamburg, 05.01.2009