

# Retention glasfaserverstärkter Wurzelkanalstifte in Abhängigkeit vom Befestigungskomposit

## Zusammenfassung

Glas- bzw. Quarzfaserstifte werden zur postendodontischen Rekonstruktion tief zerstörter Zähne verwendet. In der vorliegenden Studie wurden die maximalen Abzugskräfte der adhäsiv befestigten Wurzelkanalstiftsysteme ER DentinPost und DT Light Post® untersucht. Als Befestigungszemente wurden Clearfil™ Core, RelyX™ Unicem, Panavia® 21ex, Panavia™ F2.0 und Calibra™ verwendet. Die Stifte wurden 12 mm tief in artifizielle stiftformkongruente Wurzelkanäle boviner Dentinproben zementiert. Als Kontrollgruppe dienten mit Zinkoxidphosphatzement befestigte ER-Kopfstifte aus Titan. Für ER DentinPost ergab die Kombination mit Clearfil™ Core ( $287,74 \pm 29,16$  N) signifikant höhere Abzugskräfte als bei Verwendung von Panavia™ F2.0 ( $221,70 \pm 17,99$  N) oder Calibra™ ( $212,37 \pm 45,20$  N). Für DT Light Post® zeigten sich bei Verwendung von Calibra™ ( $338,20 \pm 46,40$  N), Panavia™ F2.0 ( $321,69 \pm 40,11$  N) und Panavia® 21ex ( $290,41 \pm 55,28$  N) signifikant höhere Abzugskräfte im Vergleich zur Befestigung mit RelyX™ Unicem ( $211,57 \pm 32,35$  N) und Clearfil™ Core ( $131,67 \pm 51,72$  N). Die Abzugskräfte der Kontrollgruppe ( $315,43 \pm 51,38$  N) lagen im oberen Bereich. Die Bruchflächenanalyse der Stiftoberflächen zeigte uneinheitliche Bruchmuster. Der Verbund von Befestigungskomposit zu Stift bzw. von Befestigungskomposit zu Dentin wird von verschiedenen Parametern beeinflusst. Die Kombination von Stift- und Befestigungsmaterial hat grossen Einfluss auf die Zugfestigkeit.

Schweiz Monatsschr Zahnmed 116: 18–24 (2006)

Schlüsselwörter: Glasfaserstifte, Abzugskräfte, Befestigungskomposite, Titanstifte, Zugversuch

Zur Veröffentlichung angenommen: 12. September 2005

## Korrespondenzadresse:

Dr. Karl-Thomas Wrbas  
Universitätsklinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde,  
Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie,  
Hugstetterstr. 55, D-79106 Freiburg i. Br.  
Tel. +49-761-2704889, Fax +49-761-2704762  
E-Mail: thomas.wrbas@uniklinik-freiburg.de

KARL-THOMAS WRBAS, MARTIN T. KAMPE,  
JÖRG F. SCHIRRMEISTER, MARKUS J. ALTENBURGER  
und ELMAR HELLWIG

Klinikum der Albert-Ludwigs-Universität, Universitätsklinik  
für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde, Abteilung für  
Zahnerhaltungskunde und Parodontologie

## Einleitung

Die häufigsten Ursachen für irreversible Pulpaschädigungen sind Karies und Traumata. Der damit verbundene Zahnhartsubstanzverlust macht häufig eine endodontische Behandlung unumgänglich. Zur Rekonstruktion tief zerstörter endodontisch behandelter Zähne steht eine Vielzahl von Möglichkeiten und Konzepten zur Verfügung (STOCKTON 1999, BATEMAN et al. 2003, SCHWARTZ & ROBBINS 2004). Durch Fortschritte im Bereich der Adhäsivtechnik und der Entwicklung von Faserverbundstoffen

eröffneten sich neue Rekonstruktionsmöglichkeiten für wurzelkanalbehandelte Zähne. Während bei konventionellen Stiftern aufbauten aus Metall möglichst lange Wurzelkanalstifte zur Verankerung des Aufbaumaterials nötig waren, um eine ausreichende Retention für Aufbau und Krone zu erreichen, ermöglicht die Adhäsivtechnik, je nach Zerstörungsgrad und Qualität der Resthartschubstanz, eine Restauration ohne Verwendung von Wurzelkanalstiften. Die Indikation zur Verwendung von Wurzelkanalstiften reduziert sich damit auf Fälle, bei denen ein adhäsiv befestigter Aufbau aus Komposit aufgrund der Restschubstanzhöhe von weniger als zwei Millimetern nicht möglich ist (HEIDEMANN & WEIGL 2004). Anfang der Neunzigerjahre begann die Entwicklung von Wurzelkanalstiften aus karbonfaserverstärkten Kompositmaterialien. Diese Stifte finden heute nur noch wenig Anwendung (BATEMAN et al. 2003, FERRARI & SCOTTI 2004). Ende der Neunzigerjahre wurden Glasfaserstifte entwickelt und auf den Markt gebracht. Glasfaserstifte bestehen aus Glasfasern, die in eine Komposit- oder Epoxydharzmatrix eingebettet sind. Eine neuere Variante sind Glasfasern in einer nicht polymerisierten Kompositmatrix. Der Stift ist zunächst flexibel und soll sich mit adhäsiven Befestigungskompositen verbinden können (MANNOCCI et al. 2005). Glasfaserverstärkte Wurzelkanalstifte sind nicht nur unter ästhetischen Gesichtspunkten Metall-, Karbon- oder Keramikstiften überlegen. Sie werden aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften unter den derzeit zur Verfügung stehenden Materialien von einigen Autoren favorisiert (MANNOCCI et al. 1999, FERRARI & SCOTTI 2004). Adhäsiv befestigte Glasfaserstifte ermöglichen die ästhetische Rekonstruktion avitaler Zähne bei grösstmöglicher Erhalt der Zahnhartschubstanz. Erste klinische Untersuchungen führten bei entsprechender Indikationsstellung zu guten Resultaten (FERRARI et al. 2000, MALFERRARI et al. 2003). Die Vorteile von glasfaserverstärkten Stiftmaterialien, wie deren Zahnfarbe, Transluzenz, mechanische Belastbarkeit, Revidierbarkeit sowie das verringerte Risiko einer Reinfektion durch die zeit- und kostensparende Chair-side-Behandlung, werden immer wieder diskutiert (BATEMAN et al. 2003, SCHWARTZ & ROBBINS 2004). Das adhäsive Zementieren und der Einfluss verschiedener Befestigungskomposite auf die Haftfestigkeit von Glasfaserstiften im Wurzelkanal war bisher Gegenstand weniger Untersuchungen. Ziel der vorliegenden Studie war es daher, den Einfluss verschiedener Befestigungsadhäsive auf die Verbundfestigkeit von zwei verschiedenen Stiftsystemen im Zugversuch zu ermitteln. Die Hypothese der Studie war, dass rein chemisch härtende Verbundsysteme den besten Verbund herstellen.

## Material und Methode

In dieser Studie wurden konische glasfaserverstärkte Wurzelkanalstifte ER DentinPost Grösse I (Komet<sup>®</sup>, Lemgo, Deutschland), quarzfaserverstärkte Wurzelkanalstifte DT Light Post<sup>®</sup> Grösse I (VDW<sup>®</sup>, München, Deutschland) und ER-Kopfstifte aus Titan (Komet<sup>®</sup>) der Grösse I verwendet. Jeweils zehn Stifte (n = 10) der beiden faserverstärkten Stiftsysteme wurden mit fünf verschiedenen Befestigungskompositen kombiniert. Als Kontrollgruppe (n = 10) dienten mit Zinkoxidphosphatzement befestigte ER-Kopfstifte. Die Wurzelkanalstifte wurden in stiftformkongruente künstliche Wurzelkanäle boviner Dentinproben adhäsiv zementiert. Zur Herstellung der Dentinproben wurden die Wurzeln halbiert und das Dentinmaterial in grösstmögliche Blöcke geschnitten. Die Dentinblöckchen wurden senkrecht an einem Plexiglasstreifen mit Sekundenkleber fixiert. Anschliessend wurden die Dentinproben in eine mit Silikonöl isolierte Aluminiumform eingebracht und in Kunststoff (Technovit<sup>®</sup>, Heraeus Kulzer,

Wehrheim, Deutschland) eingebettet. Nach dem Abbinden der Einbettmasse wurde die Probenoberseite zum Probenboden parallel ausgerichtet und in einem Parallelschleifer auf eine einheitliche Höhe von 18 mm reduziert. Zur Herstellung der künstlichen Wurzelkanäle wurden mit einem 0,5-mm-Spiralbohrer ca. 15 mm tiefe Bohrungen in die eingebetteten Dentinproben vorgenommen. Die Aufbereitung der Wurzelkanäle zur Aufnahme der Stifte erfolgte dann mit den von den Herstellern vorgesehenen Wurzelkanalbohrern und Aufrauinstrumenten (nur bei ER DentinPost) auf eine definierte Tiefe von 12 mm. Alle Bohrungen wurden mit einer Präzisionsstandbohrmaschine durchgeführt. Die Kanalerweiterung erfolgte mit einer Drehzahl von 350 U/min bei permanenter Wasserkühlung, um eine Hitzeschädigung des Wurzeldentins zu vermeiden. Die Stifte wurden mit Alkohol (70 Vol.-%) gereinigt und einheitlich auf 12 mm Insertionstiefe zementiert (Abb. 1). Als Befestigungszemente wurden Clearfil<sup>™</sup> Core (Kuraray, Okayama, Japan), RelyX<sup>™</sup> Unicem (3M ESPE, Seefeld, Deutschland), Panavia<sup>®</sup> 21ex (Kuraray), Panavia<sup>™</sup> F2.0 (Kuraray) und Calibra<sup>™</sup> (Dentsply, Konstanz, Deutschland) verwendet. Die Befestigungsmaterialien und Haftvermittler sind in Tabelle I beschrieben. Die Verarbeitung erfolgte nach Herstellerangaben. Clearfil<sup>™</sup> Core ist ein chemisch härtendes Hybridkomposit, das primär für Aufbauten empfohlen wird. Der Wurzelkanal wurde mit K Etchant Gel (Kuraray) geätzt. Anschliessend wurde der Kanal mit Ringerlösung gespült und getrocknet. Danach erfolgte die Anwendung des Haftvermittlers Clearfil<sup>™</sup> New Bond (Kuraray). Die Clearfil-Pasten wurden gemischt und die Stifte damit zementiert. RelyX<sup>™</sup> Unicem ist ein universales dualhärtendes selbstadhäsives Befestigungskomposit, das direkt aus der aktivierten Kapsel auf den Stift appliziert wurde. Die eingebrachten Wurzelkanalstifte wurden für 30 s mit einer Polymerisationslampe (Astralis<sup>®</sup> 10, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein) gehärtet. Panavia<sup>®</sup> 21ex ist ein chemisch härtendes adhäsives Befestigungskomposit, das in Kombination mit dem selbststützenden ED Primer (Kuraray) angewendet wird. Das Einbringen des ED Primer erfolgte mit Composibrush (VDW<sup>®</sup>). Unmittelbar nachdem die Stifte mit Panavia<sup>®</sup> 21ex eingesetzt waren, wurde für 60 s Sauerstoffinhibitor (Oxyguard II, Kuraray) aufgebracht. Panavia<sup>™</sup> F2.0 ist ein dualhärtendes adhäsives Befestigungskomposit und wird in Kombination mit ED Primer II (Kuraray) verwendet. Nachdem die Wurzelkanalstifte damit appliziert wurden erfolgte die Lichthärtung für 30 s. Calibra<sup>™</sup> ist ein dualhärtendes Befestigungskomposit das in Kombination mit dem Haftvermittler Prime & Bond<sup>®</sup> NT<sup>™</sup> (Dentsply) angewendet wird. Nach dem Ätzen des Wurzelkanaldentins mit Conditioner<sup>®</sup> 36 (Dentsply) für 15 s wurde der Wurzelkanal gespült und leicht feucht belassen. Prime & Bond<sup>®</sup> NT<sup>™</sup> wurde mit Self Cure Activator (Dentsply) angemischt und in zwei Schichten auf die Kanalwände aufgetragen. Die Stiftober-



Abb. 1 Adhäsiv befestigte Glasfaserstifte (ER DentinPost und DT Light Post<sup>®</sup>) in künstlichen Wurzelkanälen der Dentinproben

Tab.1 Übersicht der adhäsiven Befestigungsmaterialien und deren Anwendung

	Clearfil™ Core 2 Pasten	RelyX™ Unicem Kapselsystem	Panavia™ 21ex 2 Pasten	Panavia™ F2.0 2 Pasten	Calibra™ 2 Pasten
<b>Aushärtemodus</b>	chemisch	dual	chemisch	dual	dual
<b>Haftvermittler</b>	Clearfil™ New Bond 2 Komponenten	selbstadhäsiv	ED Primer 2 Komponenten	ED Primer II 2 Komponenten	Prime & Bond® NT™ + Self Cure Activator
<b>Konditionierung des Wurzelkanals</b>	K Etchant Gel für 20 s (40% Phosphorsäure) Spülen + Trocknen	Befestigungskomposit selbstkonditionierend	ED Primer für 60 s selbstkonditionierend	ED Primer II für 30 s selbstkonditionierend	Conditioner® 36 für 15 s (36% Phosphorsäure) Spülen + Trocknen
<b>Befestigen der Stifte</b>	Stift mit Clearfil™ Core einstreichen, Stift applizieren, Chemische Härtung	RelyX™ Unicem auf den Stift bringen, Stift applizieren, Lichthärten 30 s	Panavia™ 21ex auf den Stift und in den Kanal bringen, Stift applizieren, Chemische Härtung	Panavia™ F2.0 auf den Stift und in den Kanal bringen, Stift applizieren, Lichthärten 30 s	Dentin nicht austrocknen, Prime & Bond® NT™* in zwei Schichten auf die Kanalwände bringen, eine Schicht auf den Stift bringen, Lichthärten 20 s, Calibra™ und Stift in den Kanal bringen, Lichthärten 60 s

fläche wurde mit einer Schicht Prime & Bond® NT™ benetzt und 30 s lichtgehärtet. Anschliessend wurden die Stifte mit Calibra™ in den Kanal gebracht und für 60 s lichtgehärtet. Die ER-Kopfstifte der Kontrollgruppe wurden nach Reinigung und Trocknung der Wurzelkanäle mit schnell härtendem Zinkoxidphosphatzement Harvard Cement (Harvard Dental, Berlin, Deutschland) zementiert.

Die maximalen Abzugskräfte der befestigten Stifte wurden in einem Zugversuch mit einer Zugmaschine Instron Typ 4204 durchgeführt. Zur Ermittlung der Haftwerte der Wurzelkanalstifte wurde eine spezielle Abzugsvorrichtung entwickelt, die durch eine pseudostarre Verbindung die Wirkung versuchsbedingter Achsabweichungen der Stifte reduziert und durch körperliche Fassung der druckempfindlichen Faserstifte eine Gefügeschädigung der Stifte verhindert (Abb. 2). Die Proben wurden spannungsfrei in die Abzugsvorrichtung der Zugmaschine eingebracht. Die Zuggeschwindigkeit des Querhauptes wurde auf 1 mm/min. und einer Maximalkraft von 5 kN eingestellt. Die Versuchsdurchführung erfolgte bei einer Raumtemperatur von 23 °C und einer Luftfeuchtigkeit von 50%. Die Stiftproben wurden bis zum Versagen des Haftverbundes belastet und die maximalen Abzugskräfte  $F_{max}$  [N] wurden erfasst. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Tukey's Studentized Range (HSD) Test auf einem Signifikanzniveau von 5%.

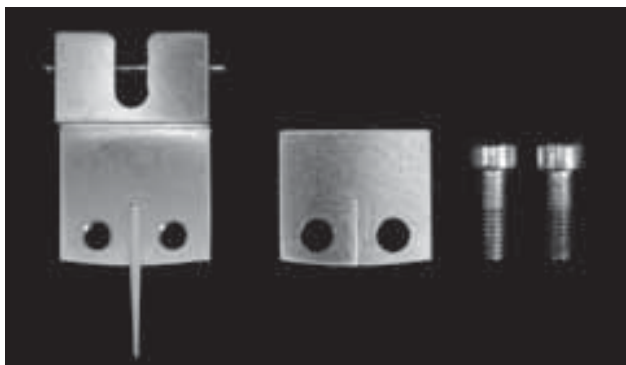


Abb.2 Abzugsvorrichtung zur körperlichen Fassung der druckempfindlichen Glasfaserstifte

Bei der Bruchflächenanalyse wurde zwischen Adhäsivbrüchen (Grenzflächen zwischen Stiftbefestigungskomposit oder Befestigungskomposit-Dentin) und Kohäsivbrüchen (im Befestigungsmaterial) unterschieden. Die abgezogenen Stifte wurden unter einem Stereomikroskop (Leica Wild M3Z, Solms, Deutschland) untersucht. Der prozentuale Oberflächenanteil mit Resten von Befestigungsmaterial wurde im direkten Vergleich mit skalierten Referenzstiften näherungsweise bestimmt. Von einigen Stiftoberflächen wurden rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen angefertigt (Abb. 3).

## Resultate

Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Abzugskräfte für die ER-DentinPost- und DT-Light-Post®-Stifte sind in Abbildung 4 dargestellt.

Die mit Clearfil™ Core befestigten ER-DentinPost-Stifte zeigten die höchsten Abzugskräfte ( $287,74 \pm 29,16$  N). Die Haftwerte bei der Zementierung mit RelyX™ Unicem betragen  $234,66 \pm 42,36$  N und lagen damit niedriger als die Werte der mit Panavia® 21ex ( $265,11 \pm 44,21$  N) und Panavia™ F2.0 ( $221,70 \pm 17,99$  N) zementierten Stifte. Die adhäsive Befestigung mit Calibra™ ergab für die ER-DentinPost-Stifte die niedrigsten Haftwerte ( $212,37 \pm 45,20$  N). Für das Stiftsystem DT Light Post® wurden mit dem Befestigungsmaterial Calibra™ die höchsten Abzugskräfte ( $338,20 \pm 46,40$  N) aller Versuchsgruppen ermittelt. Die Werte der Stifte in Kombina-

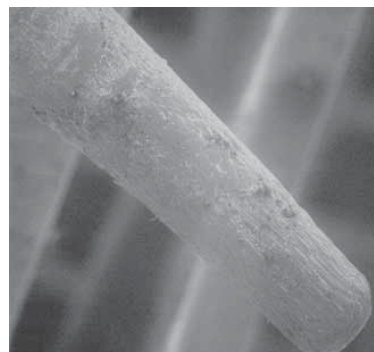


Abb.3 REM-Aufnahme von ER DentinPost mit Kompositresten (Calibra™) auf der Stiftoberfläche (50fache Vergrößerung)

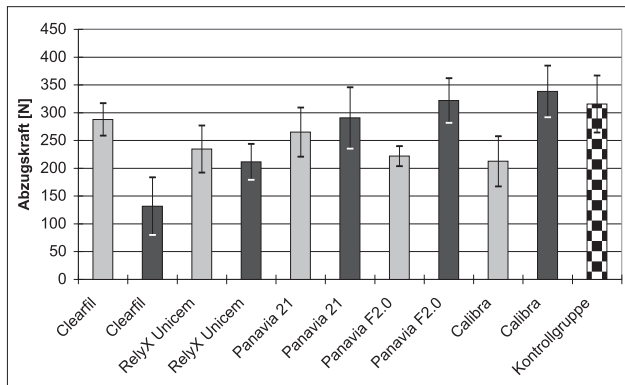


Abb. 4 Mittelwerte und Standardabweichungen der Abzugskräfte mit ER DentinPost (hellgrau), DT Light Post® (dunkelgrau) und der Kontrollgruppe ER-Kopfstift (kariert)

tion mit Panavia™ F2.0 (321,69 ± 40,11 N) waren höher als die bei Verwendung von Panavia® 21ex (290,41 ± 55,28 N). Die mit RelyX™ Unicem erreichten Werte waren geringer (211,57 ± 32,35 N). Die niedrigsten Haftwerte (131,67 ± 51,72 N) aller Gruppen wurden bei der Verwendung von DT-Light-Post®-Stiften mit Clearfil™ Core gemessen.

Der Vergleich der Abzugskräfte aller zehn Versuchsgruppen, zusätzlich der Kontrollgruppe, führte nach statistischer Auswertung zu fünf Gruppen A bis E (Tab. II). Die Messwerte einer Gruppe (gekennzeichnet durch Buchstaben A bis E) zeigten keine signifikanten Unterschiede. Signifikante Unterschiede zwischen Materialkombinationen liegen dann vor, wenn sich die Mittelwerte der Materialkombinationen in unterschiedlichen Gruppen befinden und keine Überlagerung der Gruppen besteht. Die einzige Gruppe, die sich von allen anderen signifikant unterscheidet, ist E, die Kombination von DT Light Post® mit Clearfil™ Core. Die Kontrollgruppe der ER-Kopfstifte, die mit Zinkoxidphosphatzement zementiert wurden, reihte sich mit 315,43 ± 51,38 N in der

Spitzengruppe ein und lag an dritter Position hinter DT Light Post®/Calibra™ und DT Light Post®/Panavia™ F2.0.

Die untersuchten Stiftsysteme zeigten nach erfolgter Abzugskraftmessung sehr unterschiedlich hohe prozentuale Oberflächenanteile, die noch einen optisch intakten Verbund zu den verwendeten Befestigungskompositen hatten. Der prozentuale Anteil an Befestigungskomposit auf der Stiftoberfläche war bei ER DentinPost allgemein gering und lag für Clearfil™ Core und RelyX™ Unicem bei 19%, für Panavia® 21ex und Panavia™ F2.0 bei 33% bzw. 30%. Calibra™ zeigte mit 68% den höchsten Anteil von anhaftendem Befestigungskomposit an der Stiftoberfläche. Für DT Light Post® lag der prozentuale Anteil von anhaftendem Befestigungskomposit auf der Stiftoberfläche deutlich höher und die einzelnen Befestigungsadhäsive zeigten insgesamt grössere Unterschiede. So betrug der Anteil bei Clearfil™ Core 77%. RelyX™ Unicem lag mit 32% im unteren Bereich. Für Panavia® 21ex wurde ein prozentualer Anteil von 59% ermittelt, Panavia™ F2.0 zeigte mit 36% eher niedere Werte. Wie auch bei ER DentinPost wurde der höchste auf der Stiftoberfläche anhaftende Anteil mit Calibra™ ermittelt und betrug 81% (Abb. 5).

## Diskussion

Die Durchführung von In-vitro-Studien mit einer entsprechenden Anzahl von vergleichbaren läsionsfreien Humanzähnen ist oft schwer zu realisieren. ESSER et al. (1998) untersuchten die Zahnhartsubstanz von Rindern im Hinblick auf chemische Zusammensetzung, deren biologische Eigenschaften wie Dichte und Grösse der Dentinkanälchen sowie mechanische Festigkeit und physikalische Eigenschaften. Der Vergleich mit dem menschlichen Zahnhartgewebe zeigte, dass für die Haftuntersuchungen von Kompositmaterialien bovines Dentin verwendet werden kann. Um eine ausreichende Anzahl von Proben gleicher Qualität zu erhalten, wurden die Abzugskraftmessungen der faserverstärkten Wurzelkanalstifte an frischen bovinen Dentinproben durchgeführt. Um weitgehend standardisierte Bedingungen zu

Tab. II Tukey Grouping: Gesamtübersicht der Absoluten Abzugskräfte [N] aller untersuchten Materialien

Tukey Grouping	Mittelwert [N]	n	Materialkombinationen
A.	338,20	10	DT Light Post®/Calibra™
A.			
B.	321,69	10	DT Light Post®/Panavia™ F2.0
B.			
B.	315,43	10	ER Kopfstift/ZOP Kontrollgruppe
B.			
B.	290,41	10	DT Light Post®/Panavia™ 21ex
B.			
B.	287,74	10	ER DentinPost/Clearfil™ Core
B.			
B.	265,11	10	ER DentinPost/Panavia™ 21ex
B.			
D.	234,66	10	ER DentinPost/RelyX™ Unicem
D.			
D.	221,70	10	ER DentinPost/Panavia™ F2.0
D.			
D.	212,37	10	ER DentinPost/Calibra™
D.			
D.	211,57	10	DT Light Post®/RelyX™ Unicem
D.			
E.	131,67	10	DT Light Post®/Clearfil™ Core

Gruppen mit gleichem Buchstaben unterscheiden sich nicht signifikant voneinander (Alpha < 0,05).



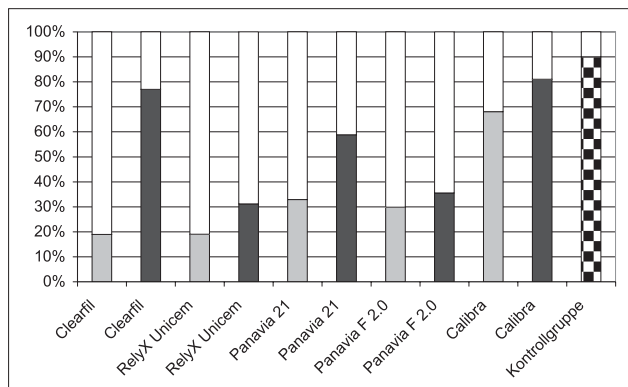


Abb. 5 Prozentualer Anteil anhaftenden Befestigungsmaterials auf der Stiftoberfläche bei ER DentinPost (hellgrau), DT Light Post® (dunkelgrau) und der Kontrollgruppe ER-Kopfstift (kariert)

erhalten, erfolgte die Insertion der Wurzelkanalstifte in parapulpäre, stiftformkongruente Bohrungen. Die Stifte wurden ohne vorherige Wurzelkanalfüllung inseriert, um mögliche Effekte durch den Sealer auszuschliessen (MORGANO & BRACKETT 1999).

In der werkstoffkundlichen Prüfung von Metall-Kunststoff-Verbundstoffen wird der axiale Zugversuch als Grundversuch der statischen Festigkeitsprüfung betrachtet und als ein sensibles Verfahren zur Charakterisierung der Klebeverbundeigenschaften angewandt. Dabei soll die einwirkende Zugkraft gleichmässig auf die Verbundfläche einwirken (MARX & HAASS 1992, EICHNER & KAPPERT 2000). Der axiale Zugversuch hat sich bei der Ermittlung der Haftfestigkeiten von Kompositmaterialien an Dentinoberflächen bewährt (KIELBASSA et al. 1997). Wie frühere Untersuchungen zeigen, ist ein Zugversuch zur Ermittlung der Haftfestigkeit bzw. Retention von Wurzelkanalstiften im Wurzelkanal geeignet (LOVE & PURTON 1996, NERGIZ et al. 2002, GALLO et al. 2002, HAGGE et al. 2002, SCHÖNBRODT et al. 2003). In der vorliegenden Untersuchung wurde die Haftfestigkeit adhäsiv befestigter faserverstärkter Wurzelkanalstifte im axialen Zugversuch ermittelt. Nach Herstellerangaben hat der ER DentinPost Gr. I einen Konizitätswinkel von 4,2° (ca. 9 % Konizität) und der DT Light Post® wechselnde Konizitäten (2% bis 4 mm im apikalen Bereich und 6% im koronalen Bereich). Parallelwandige Stifte erreichen höhere Retentionswerte als konische Stifte (STOCKTON 1999, QUALTROUGH et al. 2003, SCHWARTZ & ROBBINS 2004). Beim direkten Vergleich der in dieser Studie ermittelten Werte kann festgestellt werden, dass mit dem weniger konischen Stift (DT Light Post®) höhere Retentionswerte als mit dem konischeren ER DentinPost erreicht werden.

Der dauerhafte Verbund zwischen Wurzelkanalstift und Befestigungssystem trägt massgeblich zum Erfolg der Rekonstruktion unter kaufunktioneller Belastung bei. Während der Halt passiv zementierter Wurzelkanalstifte aus Metall lediglich auf makro- bzw. mikromechanischer Retention beruht, wird bei der adhäsiven Befestigung glasfaserverstärkter Wurzelkanalstifte ein physikalischer und chemischer Verbund hergestellt (FERRARI & SCOTTI 2004). Glasfaserverstärkte Wurzelkanalstifte sind Kompositwerkstoffe, deren Fasern durch eine Kunstharzmatrix verbunden sind. Die Glasfasern können eine unterschiedliche Zusammensetzung haben. Die Hauptbestandteile sind Siliziumoxid (ca. 50–60%) sowie Kalzium-, Bor-, Natrium- und Aluminiumoxide. Für die Kunstharzmatrix werden Epoxydharze verwendet, die einen chemischen Verbund über freie Radikale mit BIS-GMA-haltigen Adhäsivsystemen eingehen können (FERRARI & SCOTTI 2004). In

der hier durchgeführten Untersuchung wurden Adhäsivsysteme eingesetzt, die die Dentinoberfläche auf unterschiedliche Weise konditionieren. Clearfil™ Core wird nach Ätzung der Dentinoberfläche mit Phosphorsäure zusammen mit Clearfil™ New Bond, einem chemisch härtenden Haftvermittler, verwendet. Bei Anwendung von Panavia® 21ex und Panavia™ F2.0 wird das Dentin mit selbst konditionierenden Primern behandelt. Calibra™ ist ein Präparat, bei dem im Sinne der Totalätztechnik die Dentinoberfläche angeätzt und anschliessend mit Prime & Bond® NT™, einem selbst primenden Adhäsiv, das Dentin infiltriert und stabilisiert wird. RelyX™ Unicem wird vom Hersteller als selbst adhäsiver, universaler Befestigungszement bezeichnet. Für die Verwendung von RelyX™ Unicem ist keine Vorbehandlung des Dentins notwendig. Die exakten chemischen Interaktionen der Adhäsivsysteme mit den Matrixsystemen der Stifte sind derzeit nicht geklärt. In einer aktuellen Studie von MANNOCCI et al. (2005) konnte erstmals die Penetration von Monomeren aus Adhäsivsystemen in die Matrix von Glasfaserstiften nachgewiesen werden. Aus diesen Ergebnissen kann aber kein allgemeines Verhalten der unterschiedlichen Haftvermittlersysteme in Bezug auf die chemische Adhäsion abgeleitet werden.

Mit den primerhaltigen Systemen wurden in der Untersuchung hohe Abzugskräfte erreicht. Die Haftwerte der Stifte in Kombination mit RelyX™ Unicem ohne separate Dentinkonditionierung liegen dagegen im unteren Bereich. Die im Vergleich niedrigen Abzugskräfte der Kombination ER DentinPost mit Calibra™ und DT Light Post® mit Clearfil™ Core, beides primerhaltige Systeme, weisen aber darauf hin, dass es neben dem Haftvermittlersystem weitere chemische und physikalische Einflussfaktoren gibt, die Auswirkungen auf die Abzugsfestigkeit der Materialkombinationen haben.

Die Abzugskräfte, die in dieser Studie bei der Verwendung von bovinen Dentinproben erreicht wurden, liegen in der Grössenordnung einer vergleichbaren Untersuchung, die mit Human-dentin von SCHÖNBRODT et al. (2003) durchgeführt wurde. Grosse Unterschiede der Abzugskräfte bei der Verwendung von verschiedenen Befestigungssystemen wurden auch in anderen Untersuchungen festgestellt (QUALTROUGH et al. 2003, SCHÖNBRODT et al. 2003).

Die in der vorliegenden Untersuchung verwendeten Befestigungssysteme führten zu Bruchtypen, die nicht als rein adhäsive oder kohäsive Brüche zu identifizieren sind. So konnte ausser der Kontrollgruppe keiner Materialkombination ein eindeutiger Bruchtyp zugeordnet werden. In anderen Studien wurde in der Auswertung nicht auf Mischfrakturen eingegangen, sondern nur zwischen rein adhäsiven und kohäsiven Frakturen unterschieden (GALLO et al. 2002, HAGGE et al. 2002, SCHÖNBRODT et al. 2003). Die ER-Kopfstifte zeigten auf der gesamten Stiftoberfläche Zementrückstände in den Rautiefen der Titanoberflächen. Damit liegt für Zinkoxidphosphatzement ein Bruch im Zement vor, der als kohäsiver Bruch bezeichnet werden kann.

Bei den adhäsiven Befestigungskompositen zeigten sich allerdings unterschiedliche Hafteigenschaften an den Stiftoberflächen. Der prozentuale Anteil der Kompositreste auf den Oberflächen wurde als Kriterium zur Bewertung der Hafteigenschaften der Befestigungsmaterialien zu Dentin oder Stift herangezogen. Die Materialkombinationen weisen stark voneinander abweichende Ergebnisse auf. Auffällig war ein wesentlich höherer prozentualer Anteil an Befestigungskompositresten am Stiftsystem DT Light Post® im Vergleich zum ER DentinPost.

Der grössere Verbund der Komposite zum DT Light Post® könnte einerseits darin begründet liegen, dass dieser Stift einen gerin-

geren Faseranteil (60% nach Herstellerangaben) hat als der ER DentinPost (65% nach Herstellerangaben). Dadurch hat der DT Light Post® eine grössere Matrixoberfläche, die mit den Komponenten einen chemischen Verbund eingehen kann.

Eine weitere Erklärung für die geringere Anhaftung der Befestigungssysteme zu ER DentinPost könnte in dem für das ER-System empfohlenen Aufrauen des Dentins liegen, sodass die verbesserten Hafteigenschaften zum Dentin für die geringere Anhaftung der Befestigungssysteme an der Stiftoberfläche von ER DentinPost verantwortlich sind. Die Aufrauung mit einem diamantierten Aufrauinstrument führt zu einer Oberflächenvergrößerung und zu Retentionen im Dentin. Untersuchungen von HAGGE et al. (2002) zum Einfluss der Zementspaltbreite auf die Haftkraft adhäsiv befestigter Wurzelkanalstifte zeigten, dass eine geringfügige Verbreiterung des Spaltes gegenüber Wurzelkanalstiften, die in stiftformkongruenten Wurzelkanälen befestigt waren, zu signifikant höheren Abzugskräften führte. HAGGE et al. (2002) folgerten aus diesen Ergebnissen, dass eine breitere Schichtstärke zu einer besseren Vernetzung des Komposits in der Verbundzone führt und damit die erhöhte Eigenfestigkeit der Befestigungskomposite zur Steigerung der Haftkraft beiträgt. Die Aufrauung der Dentinoberfläche führt zu Substanzverlust im Dentin und damit zu einer Verbreiterung der Zementspaltbreite. Die verbesserte Dentinhaftung der Befestigungsadhäsive in Kombination mit ER DentinPost könnte daher durch Vergrößerung der Dentinoberfläche, durch Retentionen in der Dentinoberfläche oder durch Verbreiterung der Zementspaltfuge begründet sein.

Die Auswertung der Bruchmuster zeigte ein weiteres überraschendes Ergebnis. Der Hersteller empfiehlt bei der Verwendung von DT Light Post® sowohl die Konditionierung der Dentinoberfläche als auch das Auftragen und Lichthärten der Stiftoberfläche mit Prime & Bond® NT™. Wie beschrieben, war der prozentuale Anteil von Kleberesten an der Stiftoberfläche bei ER DentinPost geringer als bei DT Light Post®. Dies trifft auch für Calibra™ zu, jedoch ist der prozentuale Anteil an Kompositresten nach Konditionierung der Stiftoberfläche wesentlich grösser als bei allen anderen Systemen, bei denen die Stiftoberfläche nicht vorbehandelt wurde. Dieses Ergebnis macht deutlich, dass die separate Oberflächenbehandlung der Wurzelkanalstifte mit Prime & Bond® NT™ zu einer Steigerung der Verbundfestigkeit zwischen Befestigungsadhäsiv und Wurzelkanalstift führt. Eine separate Oberflächenbehandlung der Stifte könnte somit unter Umständen auch bei anderen Stift- und Befestigungssystemen einen besseren Verbund von Stift und Befestigungskomposit bewirken.

Aufgrund der geringen effektiven Lichtintensität in den tieferen Bereichen des Wurzelkanals ist der Verbund zum Dentin bei dual- oder chemisch härtenden Systemen den ausschliesslich lichthärtenden Befestigungskompositen überlegen (FERRARI et al. 2001). GIANNINI et al. (2004) zeigten in einer Untersuchung zum Einfluss der Lichthärtung auf die Polymerisation, dass dualhärtende Komposite, die nicht einer Lichthärtung unterzogen wurden, eine geringere Haftung zum Dentin aufweisen. Dies könnte übertragen auf die Situation im Wurzelkanal bedeuten, dass in tieferen oder weiten Regionen des Wurzelkanals keine optimale Konversionsrate gerade bei grösseren Zementspaltbreiten erreicht würde. Das legt den Schluss nahe, dass durch rein chemisch härtende Systeme der sicherste Verbund zum Dentin und die höchste Konversionsrate im Komposit zu erreichen wäre. Die Ergebnisse dieser Untersuchung konnten eine generelle Überlegenheit der rein chemisch härtenden Systeme nicht bestätigen. Bei separater Analyse der Ergebnisse für jedes Stiftsystem kann festgestellt werden, dass für die ER-DentinPost-Stifte die höch-

ten Abzugswerte mit Clearfil™ Core und Panavia® 21ex, also in Kombination mit rein chemisch härtenden Systemen, erreicht wurden. In der Gruppe der DT-Light-Post®-Stifte wurden die höchsten Haftwerte mit den dualhärtenden Befestigungsadhäsiven Calibra™ und Panavia™ F2.0 erzielt. Eine mögliche Erklärung dieser Ergebnisse könnte eine unterschiedliche Lichtleitfähigkeit der Stifte sein. PATYK et al. (2005) konnten zeigen, dass die Lichtleitung bei Glasfaserstiften von der Stiftgeometrie abhängig ist. Die Folge ist eine unterschiedliche Konversationsrate des den Stift umgebenden Befestigungskomposits. Die Lichtleitfähigkeit war nicht Untersuchungsgegenstand unserer Untersuchung, die Ergebnisse weisen aber darauf hin, dass der DT Light Post® eine bessere Lichtleitfähigkeit hat. Dies kann aufgrund der Stiftgeometrie oder der schon beim Betrachten offensichtlichen höheren Transluzenz (Abb. 1) im Vergleich zum ER DentinPost bedingt sein. Wie aus der Betrachtung des Bruchverhaltens hervorgeht, scheint die Haftung von Calibra™ an der Stiftoberfläche durch die Anwendung von Prime & Bond® NT™ verbessert zu sein und führte in Kombination mit DT Light Post® zu den höchsten Haftwerten. Für ER DentinPost zeigt die Bruchflächenanalyse ebenfalls, dass die Konditionierung der Stiftoberfläche einen positiven Effekt hatte. Allerdings erreichte ER DentinPost mit Calibra™ nur geringe Abzugskräfte. Für die Interpretation dieses Ergebnisses kann unter Umständen eine verringerte Polymerisationsrate des dualhärtenden Calibra™ herangezogen werden. Dies wäre ein Hinweis für die eventuell schlechtere Lichtleitfähigkeit des ER-DentinPost-Stifts im Vergleich zum DT Light Post®.

Die Frage, ob adhäsiv oder konventionell zementierte Wurzelkanalstifte höhere Retentionswerte erreichen, wird kontrovers diskutiert (BATEMAN et al. 2003, SCHWARTZ & ROBBINS 2004). Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass in der Kontrollgruppe (ER Kopfstift/Zinkoxidphosphatzement) vergleichbare bzw. signifikant höhere Abzugskräfte als mit adhäsiv befestigten Wurzelkanalstiften erzielt wurden. Die Retention konventionell zementierter Wurzelkanalstifte aus Metall beruht auf mikromechanischer Verankerung. Unter Zugbelastung kann der Verbund nur durch Zertrümmerung der Zementschicht gelöst werden (NERGIZ et al. 1993). Untersuchungen von JUNGE et al. (1998) zeigen aber, dass die Dauerlastbeständigkeit von Zinkoxidphosphatzement den adhäsiven Befestigungskompositen unterlegen ist.

## Verdankung

An dieser Stelle sei Herrn Prof. Dr. Dr. C. Friedrich und Herrn Dipl.-Ing. W. Schemionek (Freiburger Materialforschungszentrum, Servicegruppe Rheologie und Polymerverarbeitung) für die technische Unterstützung der Studie herzlich gedankt.

## Summary

WRBAS K T, KAMPE M T, SCHIRRMESTER J F, ALTENBURGER M J, HELLWIG E: **Retention of fiber posts dependent on different resin cements** (in German). Schweiz Monatsschr Zahnmed 116: 18–24 (2006)

Tooth-coloured adhesive inserted fiber posts are used to restore endodontically treated teeth. In this investigation, the tensile bond strength of two different fiber posts systems (ER DentinPost and DT Light Post®) in combination with five different resin cements was tested. The posts were inserted into artificial root canals in bovine dentin using Clearfil™ Core, RelyX™ Unicem, Panavia® 21ex, Panavia™ F2.0 und Calibra™. Titan posts (ER-Kopfstift), inserted with zincphosphate cement served as control group. ER DentinPost inserted with Clearfil™ Core had significantly higher

tensile bond strengths than in combination with Panavia™ F2.0 (221.70 ± 17.99 N) or Calibra™ (212.37 ± 45.20 N). DT Light Post® in combination with Calibra™ (338.20 ± 46.40 N), Panavia™ F2.0 (321.69 ± 40.11 N) and Panavia® 21ex (290.41 ± 55.28 N) showed significantly higher tensile bond strengths compared to adhesive cementation with RelyX™ Unicem (211.57 ± 32.35 N) and Clearfil™ Core (131.67 ± 51.72 N). The tensile bond strength of the control group was in the upper third of the values (315.43 ± 51.38 N). Optical analysis of the post surface after decementation demonstrated in all cases adhesive-cohesive mixed fractures. The adhesion of resin cement to the fiber posts and resin cement to root canal dentin is influenced by different factors. The combination of fiber post systems with the type of resin cement has a great influence on the tensile bond strength.

## Résumé

Des tenons en fibres de verre de couleur dentaire, insérés selon un protocole adhésif, sont utilisés couramment pour restaurer des dents traitées endodontiquement. Dans cette étude la résistance à la traction de deux systèmes de tenons en fibres (ER DentinPost et DT Light Post®), combinés avec cinq ciments composites différents, a été testée. Les tenons ont été insérés à une profondeur de 12 mm dans des canaux artificiels préparés dans de la dentine bovine et scellés en utilisant Clearfil™ Core, RelyX™ Unicem, Panavia® 21ex, Panavia™ F2.0 et Calibra™. Des tenons en titane (ER-Kopfstift), scellés avec ciment à base de phosphate de zinc, servaient de contrôles. Les tenons ER DentinPost insérés avec Clearfil™ Core (287, 74 ± 29,16 N) ont montré une résistance à la traction significativement plus élevée que la combinaison avec Panavia™ F2.0 (221,70 ± 17,99 N) ou Calibra™ (212,37 ± 45,20 N). Les tenons DT Light Post® en combinaison avec Calibra™ (338,20 ± 46,40 N), Panavia™ F2.0 (321,69 ± 40,11 N) et Panavia® 21 ex (290,41 ± 55,28 N) présentaient une résistance à la traction significativement plus élevée qu'en combinaison avec RelyX™ Unicem (211,57 ± 32,35 N) et Clearfil™ Core (131,67 ± 51,72 N). Les valeurs correspondantes des échantillons contrôles (315,43 ± 51,38 N) se situaient dans les tiers supérieurs de toutes les valeurs enregistrées. L'analyse optique des surfaces de fracture des tenons après descellement a révélé dans tous les cas des fractures mixtes adhésives-cohésives. L'adhésion des ciments composites aux tenons en fibres et à la dentine canalaire est influencée par différents facteurs. La combinaison des différents systèmes de tenons en fibres avec différents types de ciments composites a une grande influence sur les valeurs de résistance à la traction.

## Literaturverzeichnis

- BATEMAN G, RICKETTS D N, SAUNDERS W P: Fibre-based post systems: a review. *Br Dent J* 195: 43–48 (2003)
- EICHNER K, KAPPERT H F: Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. 7. Aufl. Georg Thieme Verlag. Stuttgart/New York, pp 385–397 (2000)
- ESSER M, TINSCHERT J, MARX R: Materialkennwerte der Zahnhartsubstanz des Rindes im Vergleich zur humanen Zahnhartsubstanz. *Dtsch Zahnärztl Z* 53: 713–717 (1998)
- FERRARI M, SCOTTI R: Fiber post – Characteristics and clinical applications Masson, Milano pp 15–51 (2004)
- FERRARI M, VICHI A, GRANDINI S, GORACCI C: Efficacy of a self-curing adhesive-resin cement system on luting glass-fiber posts into root canals: an SEM investigation. *Int J Prosthodont* 14: 543–549 (2001)
- FERRARI M, VICHI A, MANNOCCI F, MASON P N: Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent* 13 (Spec No): 9B–13B (2000)
- GALLO J R, MILLER T, XU X, BURGESS J O: In vitro evaluation of the retention of composite fiber and stainless steel posts. *J Prosthodont* 11: 25–29 (2002)
- GIANNINI M, DE GOES M F, NIKAIIDO T, SHIMADA Y, TAGAMI J: Influence of activation mode of dual-cured resin composite cores and low-viscosity composite liners on bond strength to dentin treated with self-etching adhesives. *J Adhes Dent* 6: 301–306 (2004)
- HAGGE M S, WONG R D, LINDEMUTH J S: Effect of dowel space preparation and composite cement thickness on retention of a prefabricated dowel. *J Prosthodont* 11: 19–24 (2002)
- HEIDEMANN D, WEIGL P: Stifte im Wurzelkanal – Warum? *Endodontie Journal* 3: 24–34 (2004)
- JUNGE T, NICHOLLS J I, PHILLIPS K M, LIBMAN W J: Load fatigue of compromised teeth: a comparison of 3 luting cements. *Int J Prosthodont* 11: 558–564 (1998)
- KIELBASSA A M, ATTIN T, WRBAS K T, DORNFIELD TH, HELLWIG E: Untersuchungen zur zeitabhängigen Haftung moderner Füllungswerkstoffe auf perfundiertem Milchzahndentin. *Dtsch Zahnärztl Z* 52: 119–123 (1997)
- LOVE R M, PURTON D G: The effect of serrations on carbon fibre posts-retention within the root canal, core retention, and post rigidity. *Int J Prosthodont* 9: 484–488 (1996)
- MALFERRARI S, MONACO C, SCOTTI R: Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts. *Int J Prosthodont* 16: 39–44 (2003)
- MANNOCCI F, FERRARI M, WATSON T F: Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. *J Adhes Dent* 1: 153–158 (1999)
- MANNOCCI F, SHERRIFF M, WATSON T F, VALLITTU P K: Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. *Int Endod J* 38: 46–51 (2005)
- MARX R, HAASS C: Zug- oder Schertest. Welcher Test ist für den Verbund Metall/Kunststoff aussagekräftiger? *Dtsch Zahnärztl Z* 47: 165–169 (1992)
- MORGANO S M, BRACKETT S E: Foundation restoration in fixed prosthodontics: Current knowledge and future needs. *J Prosthet Dent* 82: 643–657 (1999)
- NERGIZ I, SCHMAGE P, OZCAN M, PLATZER U: Effect of length and diameter of tapered posts on the retention. *J Oral Rehabil* 29: 28–34 (2002)
- NERGIZ I, SCHMAGE P, PLATZER U: Abzugskraftmessungen bei Wurzelstiften mit verschiedenen Oberflächen *Dtsch Zahnärztl Z* 48: 661–664 (1993)
- PATYK A J, FRIEDRICH M, ATTIN T: Untersuchungen des Lichttransfers von Glasfaserstiften und der daraus resultierenden Polymerisation des Befestigungskomposits. *Dtsch Zahnärztl Z* 60: 243–257 (2005)
- QUALTROUGH A J, CHANDLER N P, PURTON D G: A comparison of the retention of tooth-colored posts. *Quintessence Int* 34: 199–201 (2003)
- SCHÖNBRODT M, SCHMAGE P, NERGIZ I, PLATZER U: Haftfestigkeit zahnfarbener Wurzelstifte in Abhängigkeit von der Oberflächenbehandlung und dem Befestigungskomposit. *Dtsch Zahnärztl Z* 58: 55–59 (2003)
- SCHWARTZ R S, ROBBINS J W: Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J Endod* 30: 289–301 (2004)
- STOCKTON L W: Factors affecting retention of post systems: a literature review. *J Prosthet Dent* 81: 380–385 (1999)