



Universitätsklinikum  
Hamburg-Eppendorf

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

# **Haftfestigkeiten von FRC-Wurzelstiften in Abhängigkeit von der Zementfugenbreite, der Stiftkonditionierung und dem Kompositzement**

Dissertation

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

vorgelegt von  
Esmeralda Dulce Caldas Gamboa Pinto  
aus Reinbek

Hamburg 2009

Angenommen vom Fachbereich Medizin  
der Universität Hamburg am: 27.05.2009

Veröffentlicht mit Genehmigung des Fachbereichs  
Medizin der Universität Hamburg.

Prüfungsausschuss, der Vorsitzende: Prof. Dr. I. Nergiz

Prüfungsausschuss 2. Gutachter: PD Dr. H. Seedorf

Prüfungsausschuss 3. Gutachterin: PD Dr. P. Schmage

In Dankbarkeit  
meiner Familie gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

---

<b>1 Einleitung</b>	1
<b>2 Literatur</b>	4
2.1    Geschichte	4
2.2    Wurzelstiftrestorationen	5
2.3    FRC-Stifte	10
2.4    Zementierung von Stiften	14
2.5    Konditionierung der Stiftoberfläche	20
2.6    Haftverbund von FRC-Stiften	24
<b>3 Fragestellung</b>	29
<b>4 Material und Methode</b>	30
4.1    Versuchsdesign	30
4.2    Materialien	33
4.2.1    Wurzelstiftsystem: ER Dentin Post	34
4.2.2    Befestigungskomposit:	35
a)    RelyX Unicem (3M Espe)	35
b)    Buid-It (Jeneric Pentron)	36
c)    Calibra (Dentsply De Trey)	37
d)    MultiCore Flow (Ivoclar Vivadent)	38
e)    Rebilda DC & AdheSe (Voco/ Ivoclar Vivadent)	40
4.2.3    Konditionierungsmethoden der FRC-Stifte	41
a)    entfettet	41
b)    Silan	42
c)    HF & Silan: IPS Keramik Ätzel (Ivoclar Vivadent)	43
d)    CoJet-System (3M Espe)	46
4.3    Versuchsdurchführung	47
4.4    Statistische Auswertung	50
<b>5 Ergebnisse</b>	51
5.1    Ergebnisse des Verbundes zwischen FRC-Stift, Zement und Wurzelkanaloberfläche	51
5.1.1    Betrachtung des Zementspaltes vor dem Abzugsversuch	51
a)    im passenden Kanal (ISO-Größe 90)	51
b)    im Kanal der ISO-Größe 110	52

5.1.2	Betrachtung der Bruchmodi im Lichtmikroskop nach dem Abzugsversuch	53
5.2	Hafffestigkeiten der einzelnen Zemente	55
5.2.1	RelyX Unicem	55
5.2.2	Build-It	60
5.2.3	Calibra	65
5.2.4	MultiCore Flow	70
5.2.5	Rebilda mit AdheSE	75
5.3	Hafffestigkeiten in Abhängigkeit von der Stiftkonditionierung	80
5.3.1	ohne Konditionierung	80
5.3.2	Silan	81
5.3.3	HF mit Silan	82
5.3.4	CoJet	83
5.3.5	Konditionierung gesamt	84
5.4	Hafffestigkeit in Abhängigkeit der Stiftpassung	87
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>89</b>
6.1	Diskussion der Stiftkonditionierung	89
6.2	Diskussion der Stiftpassung	92
<b>7</b>	<b>Schlussfolgerung</b>	<b>95</b>
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>96</b>
<b>9</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>98</b>
<b>10</b>	<b>Danksagung</b>	<b>112</b>
<b>11</b>	<b>Curriculum vitae</b>	<b>113</b>
<b>12</b>	<b>Erklärung</b>	<b>114</b>

# 1 Einleitung

---

Für die postendodontische Versorgung von devitalen Zähnen werden neben den „klassischen“ Wurzelstiften aus Metall heutzutage Stifte aus faserverstärktem Komposit= FRC (fiber-reinforced composite) immer beliebter (VALLITTU & KURUNMÄKI 2002, SIGNORE et al. 2003, FERRARI & SCOTTI 2002).

Wurzelstifte aus einer glasfaserverstärkten Kunststoffmatrix weisen die gleiche Biegefestigkeit wie das Dentin auf. Sie bilden quasi ein elastisches System mit dem Zahn, welches gegenüber den „starren“ Metall- oder Keramikstiften positiv bewertet wird (ISIDOR et al. 1996, MANNOCCI et al. 1999, FERRARI et al. 2000, PFEIFFER et al. 2002, DGZMK-STELLUNGNAHME 2003, FOKKINGA et al. 2004). Durch die dentinähnliche Elastizität soll die Frakturanfälligkeit minimiert sein, langfristige Beweise dafür stehen jedoch noch aus.

Um solche FRC-Stifte einzusetzen, werden dualhärtende Kompositzemente verwendet (FERRARI et al. 2001, SIGNORE et al. 2003).

Zur Zementierung von Metallwurzelstiften wurde herkömmlich Phosphatzement verwendet, der mechanisch haftet. Da dieser seine Haftfestigkeit durch die Friktion paralleler Wände erzeugt, indem er die Oberflächenrauigkeit und den Spaltraum ausfüllte, wurde eine möglichst geringe Zementfuge von unter 50 µm gefordert (ØILO & JØRGENSEN 1978). Der Haftungsmechanismus der Kompositzemente ist sowohl mechanisch als auch chemisch. Zur chemischen Haftung ist ein inniger Verbund mit beiden gegenüberliegenden Oberflächen – der Stiftoberfläche und der Wurzelkanalwand – erforderlich. Komposite weisen generell eine Polymerisationsschrumpfung auf. Diese liegt zwischen 2 und 4% (SOLTESZ 1998, SOLTESZ 1999), bei neueren Kompositwerkstoffen unter 2%. Die Polymerisationsschrumpfung stellt unter Umständen auch ein Problem bei der Klebung von Wurzelstiften mit Kompositen im Wurzelkanal dar. Eine sehr dünne Schicht Kompositzement weist einen umso höheren C-Faktor (Kontraktionsfaktor bezogen auf die Anzahl der beteiligten Klebeflächen) auf, je größer die Oberfläche ist, auf der sie haften soll. Daher stellt sich die Frage, ob die Forderung nach einer so geringen Zementfuge auch für Kompositzemente als Befestigungsmaterial der Wurzelstifte aufrecht gehalten werden muss. Einige Autoren meinen, dass eine erweiterte Fuge für Kompositzemente günstig wäre, weil der Zement eine Pufferwirkung zwischen Stift und dem Dentin ausüben könnte (ISIDOR et al. 1996, DIETSCHI et al. 1997, EDELHOFF

et al. 2000). Bislang wurde dies kaum näher untersucht (HAGGE et al. 2002, FURUKAWA et al. 2002, PERDIGÃO et al. 2007).

Interessant wäre die Klärung dieser Frage auch für solche klinischen Fälle, in denen der Wurzelkanal durch die endodontische Behandlung koronal trichterförmig erweitert ist (sog. flaring) oder ein runder, präfabrizierter Stift in einen Kanal mit ovalem oder schlitzförmigem Querschnitt eingesetzt werden soll. Für solche Wurzelkanäle wurde bislang die Versorgung mit individuell gegossenen Stiften empfohlen (RINKE & HÜLS 1999a, RINKE & HÜLS 1999b, OTTL et al. 2002, NAUMANN 2003, NERGIZ & SCHMAGE 2005). Falls gezeigt werden kann, dass die Haftfestigkeit der FRC-Stifte auch bei breiterer Zementfuge akzeptabel ist, könnte ihre Indikation dahingehend erweitert werden. In diesem Fall bietet sich die Verwendung der Aufbaukomposite an, sodass ein Monoblock „FRC-Stift-Wurzel-Aufbau“ hergestellt werden könnte (GORACCI et al. 2005, FISCHER 2006, PEST et al. 2002). Ein optimaler Haftverbund zwischen Zahnhartsubstanz, Zement und Restauration soll erzielt werden. In diesem Zusammenhang spielen die Parameter Wahl des Befestigungskomposits und Oberflächenbehandlung der benachbarten Strukturen, d. h. Dentin und Stiftoberfläche, eine Rolle. Die Verwendung von chemisch oder dualhärtendem Befestigungskomposit mit einem eben solchen Bonding hat sich durchgesetzt (WRBAS et al. 2006). Das Befestigungsmaterial muss nicht nur eine hohe Haftung zum Wurzeldentin, sondern auch zum Stift, d. h. den Glasfasern und ihrer Matrix, bilden. Die Konditionierung der Stiftoberfläche wird vor der Eingliederung der FRC-Stifte empfohlen (PURTON & PAYNE 1996, SCHÖNBRODT et al. 2003, GORACCI et al. 2005, SCHMAGE et al. 2006, SEN et al. 2007). Zur Verbesserung des Haftverbundes zwischen Kompositen bzw. Komposit und Keramik wird die Silanisierung nach Flusssäureätzung oder die tribochemische Konditionierung empfohlen (KERN et al. 1995, PROÃNO 1997, ÖZCAN et al. 1998, EDELHOFF et al. 2000, ROSENTRITT et al. 2000, NERGIZ et al. 2001, SCHMAGE et al. 2003, VANO et al. 2006, EDELHOFF et al. 2006, MONTICELLI et al. 2006, VALANDRO et al. 2006, MAGNI et al. 2007).

In dieser Arbeit sollte zunächst der Einfluss der Zementfugenbreite auf die Haftfestigkeit von FRC-Wurzelstiften geprüft werden, um eine Aussage darüber machen zu können, ob bei der Verwendung von Kompositen zur Klebung eine breitere Fuge tolerabel ist. Gleichzeitig sollte dabei untersucht werden, ob die Wahl eines Aufbaukomposits zur Stiftinsertion statt eines Kompositzements eine Rolle

spielt. Weiterhin sollte der Nutzen der Oberflächenkonditionierung der FRC-Stifte auf ihre Haftfestigkeit evaluiert werden.



## 2 Literatur

---

### 2.1 Geschichte

Noch vor zehn Jahren bestand die Auffassung, jeder wurzelbehandelte Zahn müsse mit einem Wurzelstift vor seiner definitiven Rekonstruktion versehen werden (MILLSTEIN et al. 1987, WOOD 1983). Heutzutage wird die Indikation im Einzelfall gestellt. Die Entscheidung wird vom Zerstörungsgrad der Zahnkrone, der Lokalisation des Zahnes und der voraussichtlichen Belastung des Zahnes durch die geplante Restauration beeinflusst (BLANKENSTEIN 2002, DE CLEEN 1994, MCLEAN 1998, MORGANO 1996, MORGANO & BRACKETT 1999, NAUMANN 2003, SCHMITH & SCHUMANN 1997, DGZMK-STELLUNGNAHME 2003). Gleichzeitig setzten sich passive, d. h. durch Zementierung befestigte Stifte ohne Schraubengewinde in konischer Form durch. Diese folgen der Wurzelform und reduzieren somit die Risiken der Wurzelsprengung, solange sie koronal abgestützt sind. Sie haben den Vorteil, dass ihre wurzelkongruente Form eine maximale Stiftlänge und eine gleichmäßige Übertragung der auftreffenden Kaukräfte auf eine möglichst große Wurzelfläche erlauben (DIETSCHI et al. 1997, LAMBJERG-HANSEN & ASMUSSEN 1994, SCHMAGE et al. 1992, WEINE et al. 1991). Ebenso vorteilhaft ist das minimalinvasive und schonende Vorgehen bei der Stiftbettpräparation und dem daraus folgenden geringen Zahnschmelzverlust, weil der Wurzelkanal bereits bei der Aufbereitung entsprechend ausgeformt wurde.

Klassisch wurden Wurzelstifte aus Metall, d. h. Gusslegierungen oder Titan, hergestellt. (LAU 1976, SAPONE & LORENKI 1981). In den Sechziger- und Siebzigerjahren wurden verschiedene konfektionierte Wurzelstiftsysteme und Schraubanker angeboten: z. B. Radixanker-System (Spang), Kurer-Anker (Kurer), ER-Wurzelstift-System (Hofmann). Nach formkongruenter Vorbohrung wurden präfabrizierte Metallstifte definierter Länge und Durchmesser eingesetzt (NERGIZ & SCHMAGE 2004). Anfang der Neunzigerjahre begann die Entwicklung von Wurzelkanalstiften aus karbonfaserverstärkten Kompositmaterialien (ISIDOR et al. 1996). Diese Stifte haben sich aufgrund ihrer schwarzen Farbe nicht bewährt, da ästhetische Materialien präferiert werden (BATEMAN et al. 2003, FERRARI & SCOTTI 2002).

1998 wurden glasfaserverstärkte Kompositstifte entwickelt und auf den Markt

gebracht (MANNOCCI et al. 1999, FERRARI et al. 2000, BATEMAN et al. 2003).

Innerhalb der letzten zehn Jahre haben sich die FRC-Stifte weiterentwickelt und werden von vielen Herstellern angeboten. Die meisten FRC-Stifte haben eine konische Form, unterscheiden sich jedoch in ihrem Steigungswinkel. Vom Dentinpost, dem FRC-Stift des ER-Systems (Komet, Lemgo), liegt inzwischen die dritte Generation vor, die Transluzenz und Radioopazität bietet. FRC-Stifte der ersten Generation besaßen keine Radioopazität. Der Nachteil bestand darin, dass die Stifte im Kontrollröntgenbild nicht sichtbar gemacht werden konnten und auch die Zementradioopazität nicht ausreichte, um dies auszugleichen. Die Radioopazität wurde in der nachfolgenden zweiten Generation eingeführt. Zur Verbesserung der Ästhetik wurde die dritte Generation mit verbesserter Transluzenz weiterentwickelt. Dass diese Veränderungen die Haftfestigkeit der Stifte nicht signifikant beeinflussten, konnte gezeigt werden (SEN 2007).

## **2.2. Wurzelstiftrestorationen**

Nach der endodontischen Behandlung muss der koronale Zahnhartsubstanzdefekt, der meist durch Karies und Traumata verursacht wurde, funktionell belastbar wieder aufgebaut werden. Dies wird generell über eine bakteriendichte, höckerumfassende, dauerhafte Restauration erreicht. Bei stark zerstörten Zähnen, d. h., wenn ein adhäsiv befestigter Aufbau aus Komposit keine ausreichende Stabilität bietet (NAUMANN 2003, DGZMK-STELLUNGNAHME 2003), wird zusätzlich ein Wurzelstift erforderlich. Der Wurzelstift soll den koronalen Aufbau verankern, der Restauration ausreichend Retention verschaffen und gleichzeitig die Restzahnhartsubstanz vor Frakturen schützen. Stabilität wird erst durch die Überkronung erreicht, die ebenfalls eine Reinfektion des Wurzelkanals vermeidet (NERGIZ & SCHMAGE 2004).

Die Auffassung, dass wurzelkanalbehandelte Zähne spröder seien als vitale, kann nicht mehr geteilt werden (LEWINSTEIN & GRAJOWER 1981, REEH et al. 1989). Außerdem wurde bewiesen, dass nicht der Wurzelstift die Zahnwurzel stabilisiert, sondern sie im Gegenteil durch die zusätzliche Präparation eher schwächt. Der Zahnstumpf wird auch nicht mehr dekaptiert, sondern minimalinvasiv restauriert (TRABERT et al. 1978, SORENSEN & MARTINOFF 1984, TROPE et al. 1985, SIDOLI et al. 1997, HEYDECKE et al. 2001).

Ein Wurzelstift ist bei einer bucco-oralen Zerstörung von mehr als 2/3 der Krone indiziert sowie in den Fällen, in denen keine 2 mm breite zirkuläre Stumpfumfassung in gesunder Zahnschubstanz möglich ist bzw. eine hohe prothetische Belastung erwartet wird (DGZMK-STELLUNGNAHME 2003, NAUMANN 2003). Die Festigkeit von Zähnen mit Stiftaufbauten wird nachweislich dadurch erhöht, dass ein mindestens 2 mm breiter Dentinrand marginal des Aufbaus präpariert wird, der von der definitiven Krone ringförmig umfasst wird. Dieses auch als „Fassreifen“ oder „Ferrule-Design“ bezeichnete Gestaltungsprinzip hat einen stabilisierenden Effekt auf die Zahnwurzel (BARKHORDER et al. 1989, HEMMINGS et al. 1991, MILOT & STEIN 1992, ISIDOR et al. 1996) und wirkt sich positiv auf den klinischen Langzeiterfolg aus (TORBJÖRNER et al. 1995).

Je länger der Stift ist, desto höher ist seine Adhäsion (MARTIGNONI 1990). Die Wurzelform und -länge gibt jedoch die Dimension des Stiftes vor. Der Stift soll mindestens so lang wie die klinische Krone sein. Empfohlen wird ein Verhältnis von 1/3 Krone zu 2/3 Stifflänge, um ein günstiges Verhältnis vom Hebelarm und Lastarm zu erzielen. Apikal soll die Wurzelfüllung idealerweise 4 mm lang belassen werden (SORENSEN & MARTINOFF 1984, DONOVAN & CHEE 1993, LLOYD & PALIK 1993, LAMBJERG-HANSEN 1997, MCLEAN 1998, DGZMK-STELLUNGNAHME 2003). Abhängig von der Zahnart (Inzisivus, Prämolare oder Molare), der Wurzelkanalaufbereitung vor der Wurzelfüllung und dem Wurzeldurchmesser ist der Stiftdurchmesser zu wählen. Gefordert wird, dass der Stift dem präparierten Wurzelkanal ohne verbliebene Wurzelfüllungsreste vollständig zirkulär anliegt, wobei der Stiftdurchmesser maximal die Hälfte des Wurzeldurchmessers entsprechen sollte (SHILLINGBURG & KESSLER 1982, DE SORT 1983, SORENSEN & ENGELMANN 1990, MORGANO 1996, STOCKTON 1999). Idealerweise sollte zirkulär mindestens eine Schichtdicke von 1 mm verbleiben und im Querschnitt soll der Stiftdurchmesser 1/3 des Wurzeldurchmessers betragen (CAPUTO & STANDLEE 1976, LLOYD & PALIK 1993, STIEFENHOFER et al. 1994, MORGANO 1996, STOCKTON 1999).

Ursprünglich war die Zielsetzung für einen Wurzelstift die maximale Retention im Wurzelkanal. Nach heutiger Auffassung ist dies nicht mehr erforderlich, stattdessen wird gefordert, dass ein Misserfolg bei der Stiftversorgung nicht die Wurzel zerstört, sondern dass sich zuerst der Stift lockert, sodass die Wurzel erhalten bleibt (TORBJÖRNER et al. 1995, MARTINEZ-INSUA et al. 1998, HEYDECKE et al. 2001, MANNOCI et al. 2001, KING et al. 2003). Gleichzeitig soll jede Gefährdung und

Schwächung beim Einsetzen und im Laufe der Tragedauer des Stiftes vermieden werden (SORENSEN & ENGELMANN 1990, WEINE et al. 1991, MORGANO 1996, FERNANDES & DESSAI 2001, JANSSEN & HÜLSMANN 2003). Aus diesen Gründen erfolgte eine weitgehende Abkehr von aktiven Stiften, d. h. von Schraubankern hin zu passiv befestigten Stiften (SORENSEN & ENGELMAN 1990b, FERNANDES & DESSAI 2001, NERGIZ & SCHMAGE 2004). Nachteil von aktiven Schraubenankern sind die Spannungen, die sie an ihren Gewindespitzen ausüben (MARSHAK et al. 1988, NERGIZ & SCHMAGE 2004).

Gleichzeitig hat sich aus den gleichen Gründen die konische bzw. zylindrokonische Stiftform durchgesetzt. Der Vorteil bei konischen Stiften ist, dass sie analog der Wurzelform verlaufen und über die maximale Länge eine gleichmäßige Übertragung der Kaukräfte auf eine möglichst große Wurzelfläche erlauben (WEINE et al. 1991, SCHMAGE et al. 1992, DIETSCHI et al. 1997, LAMBJERG-HANSEN & ASMUSSEN 1997). Zylindrische Stifte würden die sich verjüngende Wurzel an ihrem apikalen Ende schwächen (MARSHAK et al. 1988, NERGIZ & SCHMAGE 2004). Zudem erzeugt die Stiftbettpräparation konischer Stifte nur einen geringen zusätzlichen Substanzverlust. Prinzipiell wird die Retention zahnärztlicher Rekonstruktionen von den Faktoren Retentionsfläche, Oberflächencharakteristika und Konvergenzwinkel sowie vom Befestigungszement und dessen Schichtdicke beeinflusst.

Konische Stifte bieten zwar Vorteile hinsichtlich ihrer formkongruenten Passung entlang der Wurzel, aber auch Nachteile: Ihre Retention ist abhängig von ihrer Länge und ihrem Durchmesser sowie ihrer Konizität. Ihre Retention ist geringer als die zylindrischer oder aktiver Stifte (LEWIS & SMITH 1988, MORGANO & MILOT 1993).

Konische Stifte schwächen in Abhängigkeit von ihrem Durchmesser und ihrer Konizität den marginalen Stiftbereich. Außerdem erfordern sie eine koronale Abstützung, um eine Keilwirkung auf die Wurzel zu vermeiden (DE SORT 1983).

Um die geringere Retention der konischen Stifte auszugleichen, wurden Sandstrahlung oder Rillen zur Strukturierung der Stiftoberfläche bei Titanstiften oder Stiften aus Goldgusslegierungen und Anrauhung der Wurzelkanalfläche eingeführt (TJAN et al. 1987, NERGIZ et al. 1993, NERGIZ et al. 1997, MILLER et al. 1998, RINKE & HÜLS 1999a, RINKE & HÜLS 1999b). Gute Erfahrungen wurden ebenfalls mit der tribochemischen Beschichtung der Stiftoberfläche gemacht (NERGIZ et al. 2001). Weiterhin werden Komposite zum Zementieren der Stifte sowie chemische Konditionierungen an Stift und Wurzelkanaloberflächen empfohlen (FERRARI et al.

2001, SCHÖNBRODT 2003, NAUMANN & BLANKENSTEIN 2004, KAMPE 2005, SCHMAGE et al. 2006).

Neben der guten Haftfestigkeit soll der Stiftaufbau auch eine Bakteriendichtigkeit des Wurzelkanals bieten. Um eine Reinfektion und daraus folgend eine Exazerbation des Wurzelkanals zu vermeiden, ist die Qualität der Restauration entscheidend. Mikroleakage wird durch das Füllen des Spaltes zwischen Stift und Wurzelkanal mit Zement bzw. Komposit verhindert sowie durch das apikale Belassen der Wurzelfüllung. Durch eine Oberflächenkonditionierung sowohl des Stiftes als auch des Wurzelkanals soll nicht nur die Haftfestigkeit des Stift-Komposit-Verbundes gesteigert werden, sondern auch aufgrund eines chemischen Verbundes ein bakterielles Mikroleakage von koronal entlang des Stiftes vermieden werden (UTTER et al. 1997, SCHMAGE et al. 2006, WRBAS et al. 2006). Verbundflächen befinden sich zum einen kanalseitig zwischen Zement bzw. Komposit und Dentin sowie zum anderen stiftseitig zwischen Zement bzw. Komposit und Stift. Ein chemischer Verbund durch ein Dentinadhäsiv und ein Kompositbefestigungsmaterial vermeidet das kanalseitige Mikroleakage. Eine Oberflächenkonditionierung des Stiftes z. B. durch tribochemische Beschichtung oder Ätzung vermeidet in Abhängigkeit vom Stiftmaterial das stiftseitige Mikroleakage. Ohne Oberflächenkonditionierung haftet das Befestigungskomposit nur mikromechanisch am Stift.

Zur Rekonstruktion mit konischen Stiften stehen eine Vielzahl von Methoden zur Verfügung: Individuell im Labor hergestellte Stiftstumpfaufbauten aus Gusslegierungen oder Keramik erfordern zwei Sitzungen. Alternativ können präfabrizierte Stifte „chairside“ in einer Sitzung angeboten werden. Lange Zeit wurden metallische Gusslegierungen oder Titan präferiert, nun erfreuen sich zusätzlich Keramik und faserverstärktes Komposit als Stiftmaterial mit Komposit- oder Keramikaufbauten aufgrund ihrer Ästhetik großer Beliebtheit (STOCKTON 1999, BATEMAN et al. 2003, SCHWARZ & ROBBINS 2004). Vorfabrizierte Stifte aus Titan, Keramik oder FRC können sofort „chairside“ in die genormte Stiftbettpräparation inseriert werden. Dazu sind die Stiftsysteme so konstruiert, dass die Wurzelkanäle mittels Kanalerweiterungsinstrument zu einem Stiftbett mit definiertem Durchmesser und bestimmter Tiefe präpariert werden. Dadurch passen die vorfabrizierten Stifte formkongruent zu dem Stiftbett (HOFFMANN 1985, NERGIZ & SCHMAGE 2005). Zum koronalen Aufbau hat sich Komposit durchgesetzt (AKISLI et al. 2003).

Laborgefertigte Stiftstumpfaufbauten werden aus Gusslegierungen oder aus

Presskeramik gefertigt. Angeboten werden beispielsweise Einstückkonstruktionen auf präfabrizierten Stiften aus Goldgusslegierungen als angegossene Aufbauten bzw. an Keramikstifte aus Presskeramik angepresste Aufbauten. Alternativ können geteilte Aufbauten aus Gusslegierungen mit Titanschaftstiften oder aus Presskeramik mit Keramik- oder FRC-Schaftstiften hergestellt werden (NERGIZ & SCHMAGE 2005).

Metallwurzelstifte aus Titan oder Gusslegierungen weisen eine hohe Rigidität auf. Heutzutage werden zahnfarbene Stiftmaterialien wie Keramik oder FRC präferiert, um ästhetische Ergebnisse unter vollkeramischen Restaurationen zu erzielen und ein dunkles Durchschimmern der Wurzel durch die Gingiva zu vermeiden (KERN et al. 1998, BUTZ et al. 2001, HEYDECKE et al. 2002, DGZMK-STELLUNGNAHME 2003, SCHÖNBRODT 2003). Dabei sind Keramik- und FRC-Stifte unterschiedlich zu bewerten. Konfektionierte Keramik-Wurzelstifte bestehen aus Zirkonoxid- oder Aluminiumoxid-Keramik. Mit Keramik treten zwar keine Probleme hinsichtlich der Biokompatibilität auf, jedoch bezüglich der Biomechanik. Diese sehr starren Stifte sind spröde und können brechen oder die Wurzel sprengen, indem sie eine Längsfraktur induzieren (MENDOZA et al. 1997, FOKKINGA et al. 2004, NAUMANN et al. 2006). Deshalb sind sie nur unter kritischer Abwägung einzusetzen.

Um die Forderung nach dem Schutz der Wurzel zu erfüllen, soll das Stiftmaterial ein dentinähnliches Elastizitätsmodul besitzen. Da faserverstärkte Kompositstifte neben den ästhetischen auch die funktionellen Anforderungen erfüllen, haben sie sich durchgesetzt. Aufgrund ihrer zeitsparenden Anwendung werden sie bei Praktikern favorisiert. In einer Sitzung können sie inseriert und aufgebaut und es kann die Kronenpräparation fertiggestellt werden. Zu beachten bleibt allerdings, dass Langzeiterfahrungen fehlen und die präfabrizierten Stifte mit Kompositaufbau nur bei mittlerem Destruktionsgrad der Zahnkrone indiziert sind. Individuell konstruierte Stiftstumpfaufbauten aus einer hochgoldhaltigen Gusslegierung behalten ihre Indikation bei starkem Destruktionsgrad (DGZMK-STELLUNGNAHME 2003, NAUMANN 2003, NERGIZ & SCHMAGE 2004).

## 2.3 FRC-Stifte

Faserverstärkte Wurzelkanalstifte sind Kompositwerkstoffe, die mit Glas-, Quarz- oder Karbonfasern verstärkt sind. Die Fasern sind durch eine Kunstharzmatrix verbunden. Die meisten FRC-Stifte basieren heute auf Glasfasern. Der Glasfaseranteil beträgt 65% und das Faservolumen 70 bis 80%. 35% Gewicht entfällt auf die Kunstharzmatrix. Die Glasfasern können eine unterschiedliche Zusammensetzung haben. Die Hauptbestandteile sind Siliziumoxid (ca. 50 bis 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 (FERRARRI & SCOTTI 2002). Der Verbund zwischen Harz und Fasern wird mittels Haftvermittler, einem Silan, hergestellt.

Die vorgefertigten glasfaserverstärkten Kompositstifte haben eine konische bzw. zylindro-konische, passive Form (MANNOCCI et al. 1999, RINKE & HÜLS 1999a, RINKE & HÜLS 1999b, MANNOCCI et al. 2001, SAHAFI et al. 2003). FRC-Stifte unterscheiden sich in ihrer Form (zylindrisch, zweistufig zylindrisch, zylindrokonisch und konisch), ihrem Faserdurchmesser, ihrer Faseranordnung und der Zusammensetzung. Weiterhin unterscheiden sie sich nach dem Ausmaß der Vernetzung, dem Füllstoffanteil der Kunststoffmatrix, ihrer Länge, dem Durchmesser sowie der Größensortierung.

Die Fasern können entweder miteinander verflochten oder in Längsrichtung gleichmäßig angeordnet sein. FRC-Material wird als Stangenware produziert und anschließend in die jeweilige Stiftform gebracht. Die Anschnittstellen der Glasfasern im konischen Stiftverlauf werden wiederum mit Komposit versiegelt.

Aufgrund der großen Popularität der FRC-Stifte bieten zunehmend mehr Hersteller FRC-Stifte an. Teilweise werden zugleich auch Befestigungskomposite und Silan empfohlen, andere Hersteller stellen die Wahl des Komposits frei. Uneinigkeit besteht noch zu den Empfehlungen hinsichtlich der Stiftbeschichtung. Seit Kurzem werden vorbeschichtete Stifte angeboten (DT Light Post SL, VDW, München; Dentin Post Coated, ER-System, Komet, Gebr. Brasseler).

Zum koronalen Aufbau besitzen FRC-Stifte einen glatten Schaft oder einen Retentionskopf. Die fehlende koronale Abstützung mit FRC-Schaftstiften wurde von einigen Herstellern durch die Fabrizierung von Kopfstiften gelöst (ER-DentinPost X,

Komet, Gebr. Brasseler; Para Post Fiber White, Coltène Whaledent). Nach dem klassischen Prinzip wirkt ein im Retentionskasten aufsitzender Stiftkopf bei konischen Stiften der Keilwirkung entgegen und dient der Stiftverstärkung im Bereich der höchsten Belastung (LAUER et al. 1994, STÄDTLER et al. 1990). Ebenfalls bietet der Rotationskasten die Möglichkeit einer Rotationssicherung für den FRC-Stift mit rundem Querschnitt. FRC-Schaftstifte vermeiden eine Keilwirkung oder widersetzen sich der Dezentierung durch Rotation ansonsten nur durch ihre Kompositklebung. Ob diese dafür auf Dauer ausreicht, ist noch fraglich.

Vorteil der FRC-Stifte ist ihre Revidierbarkeit im Falle von endodontischen Komplikationen (MANNOCCI et al.1999, SIRIMAI et al.1999, DE RIJK 2000, ROSENTRITT et al. 2000). Eine zusätzliche Anforderung an die FRC-Stifte, die Radioopazität, hat sich inzwischen bei allen Anbietern durchgesetzt. Die Röntgenopazität ist wichtig, um bei einer röntgenologischen Untersuchung des Patienten eine vorhergegangene Stiftversorgung und ihre Konstruktionsweise, d. h. das Vorhandensein, die Dimension und die Position des FRC-Stiftes, zu erkennen. Die Anwesenheit eines röntgenopaken Befestigungskunststoffes im Wurzelkanal reicht wegen der geringen Schichtdicke meistens nicht aus, um den Stift erkennbar zu machen (SEN 2007).

Für die ästhetisch hochwertige, postendodontische Rekonstruktion mit transluzenten vollkeramischen Kronen ist die Transluzenz der FRC-Stifte positiv zu bewerten (QUALTROUGH & MANNOCCI 2003).

Der koronale Aufbau wird an FRC-Stiften mit Aufbaukomposit ergänzt (NERGIZ & PLATZER 1991, NERGIZ & PLATZER 1995, PAUL & SCHÄRER 1996, HUBER et al. 2002, NAUMANN & BLANKENSTEIN 2002, AKISLI et al. 2003, SAHAFI et al. 2003). Die Haftung zwischen Komposit und Schaftoberfläche kann durch Konditionierung z. B. tribochemischer Oberflächenbeschichtung bzw. Silanisierung verbessert werden (SAHAFI et al. 2003, GORACCI et al. 2005). Vor der Befestigung sollte der Stift auf eine passende Länge nach der Stiftpräparation gekürzt werden, damit der angeschnittene Faseranteil anschließend vom Aufbau bedeckt und eine Degradation vermieden wird. Die Zeit und Kosten sparende „chairside“-Behandlung machen dem Stiftstumpfaufbau mit faserverstärktem Wurzelkanalstift zu einer derzeit beliebten Alternative. Neuerdings wird der Monoblock, d. h. Einsetzen des FRC-Stiftes und Stumpfaufbau, in einem Schritt und mit demselben Komposit propagiert (PEST et al. 2002, GORACCI et al. 2005, FISCHER 2006). Auf diese Weise soll nicht nur die Teilung von Stifzementierung und Stiffaufbau im Werkstück vermieden werden, sondern das



Verfahren auch noch weiter unter ökonomischen Gesichtspunkten optimiert werden. Eine andere Möglichkeit für die ästhetische Restauration im Frontzahnbereich ist der laborgefertigte Aufbau aus Presskeramik als geteilter Aufbau zum FRC-Stift (KERN et al. 1995, KERN et al. 1998, SIMON & PAFFRATH 1995, BUTZ et al. 2001, WELK 2001, ROSENTRITT et al. 2004, PFEIFFER et al. 2005), der damit eine gute Stabilität bei ausgedehnten Defekten erreicht. Mittels Presskeramik wird ein individueller geteilter Aufbau gepresst, in den der präfabrizierte FRC-Stift eingeführt wird (KERN et al. 1995, ROSENTRITT et al. 2000, BUTZ et al. 2001).

Dem Elastizitätsmodul der FRC-Stifte kommt eine besondere Bedeutung zu. In-vitro- sowie In-vivo-Studien ergaben, dass sehr steife Stiftmaterialien wie Keramik und Metalllegierungen zu Wurzelfrakturen führen können (ASSMUSSEN et al. 1999, SIRIMAI et al. 1999, ROSENTRITT et al. 2000). Die Ursache ist in den unterschiedlichen Elastizitätsmodulen von Dentin und Stiftmaterialien zu suchen (FERRARI & SCOTTI 2002).

Das Elastizitätsmodul von endodontisch behandelten Zähnen liegt bei 16 bis 17 Pa (ASMUSSEN et al. 1999). Grundsätzlich werden Materialien gefordert, die in ihren physikalischen Eigenschaften dem Dentin ähnlich sind, um die mechanische Belastung gleichmäßig auf die Resthartschicht zu verteilen und so Spannungsfrakturen an den Phasengrenzen zu verhindern. Das dentinähnliche Verhalten faserverstärkter Stifte führt zu einer gleichmäßigen Verteilung der Belastung und reduziert die Gefahr von Wurzellängsfrakturen (ASMUSSEN et al. 1999, MANNOCCI et al. 1999, PEST et al. 2002). Dem günstigen Elastizitätsmodul der FRC-Stifte steht die geringe Ermüdungsresistenz gegenüber, sodass nicht die Wurzelfrakturen im Vordergrund stehen, sondern Stifffrakturen. Bei 0,2%-Biegeversuchen zeigten sich Biegefestigkeitswerte von Dentinpost (FRC) (ER-System, Komet) bei einem Durchmesser entsprechend ISO 90 von  $52 \pm 4$  N im Vergleich zu Cerapost (Zirkonoxidkeramik) von  $117 \pm 11$  N (PFEIFFER et al. 2002). Dagegen testeten OTTL et al. (2002) FRC-Stifte bis zum Bruch und fanden den höchsten Belastungswert für den Quarzfaserstift gegenüber Metall- und Keramikstiften, der bei Biegung bis zum Bruch nötig war.

Bei Dauerlastversuchen kam es bei Quarzfaserstiften von VDW (DT Light Post, DT White Post) auch nach zwei Millionen Zyklen zu keinem Bruch (FERRARI et al. 2000). ROSENTRITT et al. (2004) zeigten in einer Studie, dass die Versorgung mit Keramikstiften und FRC-Stiften signifikant höhere Frakturwiderstände nach

thermomechanischer Alterung im Vergleich zu Titanstiften oder Versorgungen ohne jeglichen Stift hatten. Andere Autoren (BABENHAUSERHEIDE & FREESMEYER 2004) bestätigen nach einer Dauerlastuntersuchung bis zum Bruch, dass sich die Glasfaserstiftsysteme statistisch nicht von den metallischen Stiften unterschieden. Dies wurde auf die verminderte Belastung der Zahnalsregion – bedingt durch den dentinähnlichen E-Modul der Stifte – und auf die geringere Druckbelastbarkeit der Aufbauten zurückgeführt. HT Cytect FRC-Stifte (Hahnenkratt, Königsbach-Stein) zeigten im Vergleich zu FRC Postec FRC-Stiften (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein) einen höheren Bruchlastwert, welches mit der Stiffform erklärt wurde. HT Cytect-Stifte wiesen im Vergleich zu den glatten FRC Postec-Stiften im Bereich der Aufbauansatzregion leichte Vertiefungen sowie im Retentionsbereich für die Wurzel Zementabflussrillen auf. Durch dieses Stiftdesign stehen eine größere Verbundfläche zum Kompositzement und zusätzliche mechanische Retentionen zur Verfügung. Gleichzeitig zeigten in diesem Versuch mit Panavia F eingesetzte FRC-Stifte höhere Bruchfestigkeiten als mit Multilink. Bei der Gegenüberstellung von adhäsiv befestigten FRC Postec- und Keramikstiften waren ihre unterschiedlich hohen Wurzelfrakturaten bei statistisch gleichen Bruchlastwerten auffällig. Durch die höhere Biegsamkeit der Glasfaserstifte wurde vermehrt Kraft in den Aufbau bzw. Aufbauverbund weitergeleitet, sodass eine höhere Anzahl an Aufbaudefekten und eine geringere Zahl an Wurzelfrakturen – verglichen mit den Keramikstiften – die Folge war (BABENHAUSERHEIDE 2004).

PIERRISNARD et al. (2002) untersuchten die Druck- und Zugbeanspruchungen im Zahnalsbereich von mit Stiftstumpfaufbauten versorgten Zähnen, die er einmal mit einer Restzahnschubstanz umfassenden Kronenversorgung (Ferrule-Effekt) und einmal ohne diese Umfassung mit einer Krone versorgte. Bei konstanter Kraffteinwirkung von 100 N lagen sowohl Zug- als auch Druckbelastung für Versorgungen mit metallischen Stiften ohne Kronenrestschubstanz etwa doppelt so hoch wie für gleiche Versorgungen mit Umfassung. Versorgungen mit Karbonfaserstiften, die longitudinal-parallel ausgerichtete Fasern besaßen, zeigten mit und auch ohne Umfassung von Restzahnschubstanz ebenso geringe zervikale Beanspruchungen wie die Metallstiftproben mit Umfassung.

## 2.4 Zementierung von Stiften

Wurzelstifte werden mittels Zement im Wurzelkanal befestigt, um eine ausreichende Retention im Wurzelkanal zu gewährleisten und ein bakterielles Mikroleakage entlang der Fuge zwischen Wurzelkanalwand und Stift zu vermeiden (UTTER et al. 1997, WRBAS et al. 2006).

Jahrelang bewährt hat sich der konventionelle Zinkphosphatzement zur Befestigung metallischer Wurzelstifte. Zinkphosphatzement hat im abgebundenen Zustand an sich nur geringe Klebekraft. Phosphatzement lässt sich leicht verarbeiten und ist wenig techniksensitiv. Die Löslichkeit ist höher als bei Kompositzementen mit einer Druckfestigkeit von 80 bis 110 MPa und weist eine über 90 Jahre lange klinische Erfahrung auf.

Seine Retentionswirkung steigt mit der Härte des Zementes und hat die Voraussetzung, dass die beteiligten Oberflächen im möglichst nahen Kontakt stehen und eine gewisse Rauigkeit besitzen, sodass zur Abzugsrichtung Unterschnitte entstehen (COLLEY et al. 1968, ØILO & DREYER JØRGENSEN 1978). Seine retentiven Eigenschaften werden durch mechanische Mikroverzahnung erreicht (MARXKORS 1973, EICHNER 1981, MARXKORS 1982). Die Verkeilung erfolgt durch die Adhäsionskräfte der Moleküle der beiden in Kontakt stehenden Oberflächen (GUTZWILLER & STRUB 1982). Insbesondere bei Phosphatzement wirkt sich eine breitere Zementfuge negativ aus.

Für eine dauerhafte Retention und um ein Mikroleakage bzw. ein Herauswaschen des Zementes zu vermeiden, wird eine nur geringe Zementfugenbreite von unter 50 µm gefordert (ØILO & DREYER JØRGENSEN 1978, EICHNER 1981, ZUMSTEIN & STRUB 1982). Zur maximalen Haftung werden Zementspaltbreiten in Bereich von 24 bis 31 µm als ideal angegeben (FUSAYAMA & IWAMOTO 1960). Von SCHMAGE et al. (1992) wurde beschrieben, dass durchschnittliche Zementspaltbreiten von 37 bis 42 µm beim Einsetzen von konischen passiven Titan-Stiften des ER-Systems mit Phosphatzement zu realisieren waren. Durch die formkongruenten Stiftbettpräparationsinstrumente wird eine entsprechende Zementfuge bereits bei der Präparation vorgesehen, sodass sich die Passung durch die Zementierung nicht änderte. Die Zementfugenbreiten unterschieden sich vor und nach dem Zementieren nicht signifikant. Einige Autoren (NERGIZ et al. 1993, KERN et al. 1995) verwendeten auch Glaspolyalkenoatzemente zur Stiftinsertion, die sich aufgrund ihrer

Techniksensitivität nicht allgemein durchgesetzt haben.

Heutzutage wird zur adhäsiven Befestigung von Stiften der Einsatz von Kompositen mit korrespondierenden Dentinadhäsivsystemen empfohlen (DENNISON & CRAIG 2002). Sowohl Keramikstifte als auch faserverstärkte Kompositstifte müssen mit Kompositzement befestigt werden (GÖBEL et al. 1998, KERN et al. 1998, KERN & WEGNER 1998, FEHER et al. 1999, RINKE & HÜLS 1999a, RINKE & HÜLS 1999b, DERAND & DERAND 2000, EDELHOFF et al. 2000a, SAHAFI et al. 2003).

Allerdings können auch herkömmliche Metallstifte aus Titan oder Gusslegierungen mit Komposit eingesetzt werden. Die Haftfestigkeit der Kompositzemente ist abhängig von den Materialeigenschaften des Komposits und den Konditionierungsmethoden. Die Herstellerempfehlung zur Konditionierung ist zwischen den verschiedenen Befestigungskompositen sehr unterschiedlich, ihre korrekte Einhaltung ist unerlässlich. So wurden insgesamt gute Haftwerte für Titanstifte bei der Studie von SCHMAGE et al. (2004) mit vier verschiedenen Kompositen, darunter Panavia 21 EX und Compolute, und unterschiedlichen Dentinkonditionierungen erreicht. Insgesamt bestand jedoch kein signifikanter Unterschied zwischen den Kompositzementen und den konventionellen Zementen.

Als Komposite zur Befestigung von Wurzelstiften können prinzipiell fließfähige Komposite, Kompositzemente und Aufbaukomposite verwendet werden. Fließfähige Komposite wie z. B. Tetric Flow dienen zur Befestigung adhäsiver Restaurationen. Es handelt sich um niedriggefüllte Hybridkomposite. Kompositzemente können dagegen nicht zur Restauration, sondern nur zum Zementieren genutzt werden. Sie besitzen z. T. wie Panavia funktionelle Gruppen zur Adhäsion mit dem Werkstück. Aufbaukomposite dienen dem Stumpfaufbau vor der prothetischen Restauration, sind aber nicht dauerhaft im Mundmilieu abrasionsbeständig (DGZMK-STELLUNGNAHMEN 2003 und 2004). Sie werden zurzeit zur Stifteinsetzung und zum Stiftaufbau in einem Arbeitsgang diskutiert, um den bereits beschriebenen Monoblock herzustellen (PEST et al. 2002, FISCHER 2006, GORACCI et al. 2005).

Kompositzemente bestehen aus einer Kunststoffmatrix und anorganischen Füllkörpern mit einem Füllanteil von ca. 50 bis 70 Gew.% (Powers 2002). Der Hauptbestandteil der Matrix ist oft hochvisköses Bis-Phenol-Glycidyl-A-Methacrylat (Bis-GMA), dem Monomere wie Triethylenglycol-Dimethacrylat (TEGDMA) oder Hydroxyethylen-Dimethacrylat (HEMA) beigemischt sind. Meistens bestehen die anorganischen Füllkörper aus Siliziumoxid, Quarzen oder Gläsern. Sie reduzieren die

Polymerisationsschrumpfung sowie die Wasseraufnahme und erhöhen die Abrasions- und Druckfestigkeit (POWERS 2002). Die Polymerisation kann als Licht-, Auto- oder Dualhärtung eingestellt werden. Initiatoren der Lichthärtung sind zumeist Ketone oder Campherchinone. Die Dunkel- oder Selbsthärtung setzen basische Amine in Gang (POWERS 2002). Zur Insertion von Wurzelstiften sind sowohl Komposit- als auch Bonding-Materialien mit Dual- oder Autopolymerisation erforderlich. Aufgrund der begrenzten Lichtleitung in dem Wurzelkanal, selbst durch transluzente Faserstifte, ist es wichtig, dass die Komposite dualhärtend oder autopolymerisierend sind (NAUMANN & BLANKENSTEIN 2004, PATYK et al. 2005). Obwohl Studien die Lichtleitung entlang der Glasfaserstifte bis zu 8 mm tief in den Kanal belegen (PATYK et al. 2005), sind die Haftfestigkeitswerte deutlich geringer, wenn beispielsweise das lichthärtende Bonding apikal nicht aushärten konnte, wie beispielsweise bei Tetric Flow. In einer Pilotstudie von LUI (1994) wurde mit eigens hergestellten Plastikstiften eine positive Korrelation zwischen Stiftdurchmesser und Aushärtungstiefe lichthärtender Komposite dargestellt. Es konnte eine Aushärtung bis zu 11 mm Tiefe gemessen werden. Die Studie von METZGER (2004) belegte, dass die Lichtleitung ab einer Tiefe von 5 mm im Wurzelkanal nicht mehr ausreichend war, sodass die Verwendung von dual- oder autopolymerisierenden Kompositen obligat ist. Das Stiftsystem Luscent Anchor (Dentatus) nutzt bewusst die Lichtleitung entlang des Plastikstiftes, um Kunststoff entlang den Wurzelkanalwänden auszuformen und auf diese Weise extrem weite Kanäle zu restaurieren.

Zum Haftverbund mit dem Dentin dienen generell Dentinkonditionierung mit Phosphorsäure, Primer bzw. Adhäsiv und Bonding oder selbstätzende bzw. selbstkonditionierende Systeme. Heutzutage werden konsequenterweise dualhärtende Bondings mit entsprechendem Aktivator angeboten, um ebenfalls die Aushärtung des Bondings im Wurzelkanal sicherzustellen. Dualzemente nutzen bei der Polymerisation die Selbst- und Photokatalyse und erreichen damit, dass auch in der Tiefe des Wurzelkanals Monomer in Polymer umgewandelt wird.

Die Dentinadhäsive werden entsprechend der Übersicht von VAN MEERBECK et al. (1994) nach Art der Behandlung der Schmierschicht und Anzahl der Einzelkomponenten eingeteilt.

Üblicherweise werden bei Drei-Stufen-Systemen das Dentin mit Phosphorsäure angeätzt und nachfolgend der Primer, das Adhäsiv und das Bonding appliziert (HALLER & BLUNCK 2003). Beispiel dafür ist Syntac (Ivoclar Vivadent). Andere Zwei-

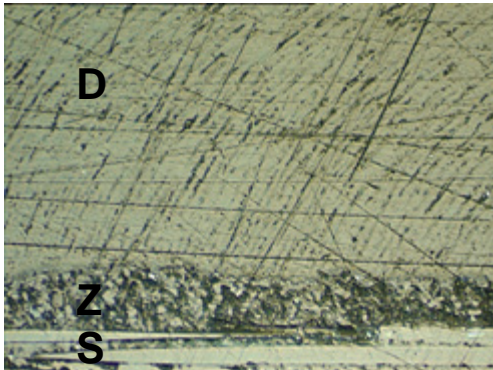
Stufen-Systeme fassen Primer und Adhäsiv oder Adhäsiv und Bond zusammen, beispielsweise Panavia oder Compolute. Problem ist die Techniksensitivität der Mehrflaschensysteme und ebenso die korrekte Applikation mit Bürstchen bzw. Schwämmchen, ohne dass es zur Pfützenbildung im Wurzelkanal kommt oder konditioniertes Dentin mechanisch irritiert wird. Darüber hinaus beeinflussen Reste des Sealers der vorangegangenen Wurzelfüllung und die Vorbehandlung des Wurzelkanals das Haftvermögen der Komposite, ohne dass der Behandler darauf noch Einfluss nehmen könnte (SCHMAGE & CZAJKOWSKA 2003). Entscheidend kann auch die Vorbehandlung des Wurzelkanals beispielsweise mit eugenolhaltigem Sealer sein, der die Haftung einiger Komposite reduziert (SCHMAGE & CZAJKOWSKA 2003).

Inzwischen werden neue Zemente angeboten, die nur einen klinischen Arbeitsschritt benötigen (z. B. RelyX Unicem, 3M Espe oder Multilink Sprint, Ivoclar Vivadent) (PIWOWARCZYK et al. 2002). Solche selbstkonditionierenden Kompositzemente vermeiden Anwendungsfehler bei der Dentinkonditionierung und beschleunigen die Arbeitsabläufe. Diese Kompositzemente besitzen phosphorylierte, mehrfach funktionelle (Meth-)Acrylate. Die Säuregruppen sind für die Selbstkonditionierung des Dentins verantwortlich, indem sie mit Calciumionen Komplexe ausbilden. Der resultierende niedrige pH-Wert hindert aber die Initiatorreaktion basischer Amine, die klassischerweise die Autopolymerisation starten. RelyX Unicem besitzt ein neues Initiatorsystem, welches in Anwesenheit von Wasser und über einen breiten pH-Wert-Bereich wirksam ist und die Quervernetzung fördert. Diverse In-vitro-Untersuchungen bestätigten die gute Haftung des Zementes an fast allen dentalen Werkstoffen (PIWOWARCZYK et al. 2002b, KOEHLER et al. 2003, PIWOWARCZYK et al. 2003, WALTER et al. 2003, HIKITA et al. 2007, SEN 2007). Klinische Langzeiterfahrungen müssen noch abgewartet werden.

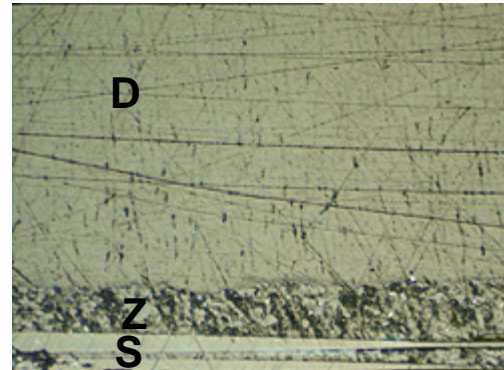
Für die adhäsive Zementierung liegt mittlerweile eine jahrelange klinische Erfahrung vor (VAN MEERBECK et al. 1994, BEHR et al. 1998, YOSHIDA et al. 2000). Anders als im koronalen Dentin unterscheidet sich das Dentin im Wurzelkanal durch seine biochemische Zusammensetzung, d. h. im Verhältnis zwischen organischen und anorganischen Bestandteilen, in der Anzahl der Tubuli und deren Dimension.

Im Wurzelkanal befindet sich viel organisches Material, Dentintubuli sind zahlreicher und von größerem Durchmesser. Die Anzahl von Dentintubuli nimmt in koronal-apikaler Richtung ab (siehe Abb. 1 bis 3), dies korreliert mit einer schlechteren

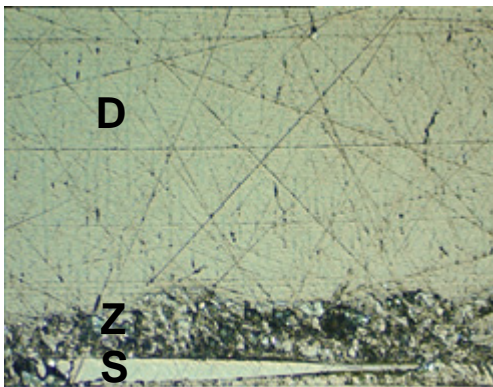
Haftung von koronal nach apikal (DIETSCHI et al. 1997, MENDOZA et al. 1997, MJÖR et al. 2001, METZGER 2004).



**Abb. 1:** Koronaler Wurzelanteil mit vielen Dentinkanälchen am Übergang zum Wurzelkanal (100-fach vergrößert, D-Dentin, Z-Zement im Wurzelkanal, S-Stift)



**Abb. 2:** Mittlerer Wurzelanteil mit reduzierter Anzahl von Dentintubuli (100-fach vergrößert, D-Dentin, Z-Zement im Wurzelkanal, S-Stift)



**Abb. 3:** Apikaler Wurzelanteil mit wenig Dentinkanälchen (100-fach vergrößert, D-Dentin, Z-Zement im Wurzelkanal, S-Stift)

Mikroskopische Untersuchungen haben ergeben, dass die Dicke der Hybridschicht und die Anzahl der Tags im apikalen Bereich geringer war als koronal (BITTER et al. 2004). Weiterhin wurde eine signifikant geringere Anzahl Tags mit Panavia 21 und ED Primer (Kuraray) als mit Clearfil Core und New Bond (Kuraray) gefunden. Die Dicke der Hybridschicht war mit Clearfil Core mit New Bond (Kuraray), PermaFlo DC (Ultradent) und Variolink II mit Excite DSC (Vivadent) signifikant höher als mit Panavia 21 und ED Primer (Kuraray) sowie Multilink (Vivadent).

Die Erfahrungen von Dentinadhäsiven aus dem koronalen Bereich sind nicht auf den apikalen Dentinbereich übertragbar. Das Verhalten der Dentinadhäsive im Pulpenkavum und Wurzelkanal ist nicht abschließend geklärt. Darüber hinaus zeigen In-vitro-Untersuchungen zur regionalen Adhäsion von FRC-Stiften im Wurzelkanal günstigere Haftwerte in den koronalen als in den mittleren und apikalen Bereichen

(PERDIGÃO et al. 2007).

Wenn bei der Stiftbettpräparation die kanalnahe Dentinschicht entfernt wird, reduzieren sich die Durchmesser der Tubuli. Das gesamte Dentin ist von einer oberflächlichen Schmierschicht („smear layer“) bedeckt. Hinzu kommt noch, dass durch Druck und rotierende Instrumente Debris in die Dentinkanälchen gedrückt wird, der als sog. „smear plugs“ die Kanälchen verschließt. Üblicherweise wird der Wurzelkanal vor der Konditionierung mit NaOCl gespült. Zusätzlich werden Spülungen mit EDTA oder Zitronensäure zur Smearlayer-Entfernung empfohlen (HÜLSMANN 2003, DGZMK-Stellungnahme 2006)

Die modernen Adhäsivsysteme nutzen unabhängig von ihren Einzelkomponenten die chemisch-mikromechanischen Eigenschaften der Adhäsion aus, die durch die Konditionierung der Dentinschicht und die Entstehung der Hybridschicht erreicht wird. Diese Schicht ist die Hauptursache der Dentinhaftung. Von Bedeutung ist vor allem die Dentinkonditionierung, welche von starken oder schwachen Säuren ausgeübt wird. Nach Auswirkung auf den Smearlayer und die „smear plugs“ kann zwischen verschiedenen Adhäsivsystemen und deren Wirkungsmechanismen unterschieden werden (HALLER & BLUNCK 2003). Der Smearlayer wird mit Hilfe der Konditionierung entfernt. Anschließend werden ein hydrophiler Primer und ein Adhäsiv appliziert. Zur Vereinfachung der Anwendung wurden dann Primer mit Zusätzen von organischen Säuren entwickelt, die die Schmierschicht auflösen, während gleichzeitig die Monomere in das demineralisierte Dentin eindringen (Beispiele: Syntac Classic, A.R.T. Bond). Die Säureapplikation führt zusätzlich zu einer Demineralisierung des Dentins. Die Hydroxylapatitkristalle werden aus dem Kollagennetzwerk in dem intertubulären und peritubulären Dentin herausgelöst. Das freiliegende Kollagennetzwerk kann dann von einem hydrophilen Monomer durchdrungen werden. So wird eine mikromechanische Verankerung in der sog. Hybridschicht erreicht (NAKABAYASHI et al. 1982, VAN MEERBEEK et al. 1992).

Das Adhäsiv und das Bonding sind die eigentlichen Haftvermittler, die die Verbindung zwischen dem Komposit und dem mit Konditionierer und/oder Primer vorbehandelten Dentin herstellen. Die Penetration des Adhäsivs in das mit Primer behandelte demineralisierte Dentin führt zur Bildung der Hybridschicht und das Einfließen von Monomer in die eröffneten Tubuli zur Entstehung der Kunststoff-Tags (HALLER & BLUNCK 2003).

Trotz der chemischen Adhäsion beruht der Retentionseffekt der Komposite zum Teil



auch auf mechanischer Haftung. Daher sollte die Dentinoberfläche weiterhin vor der Stiftinsertion angeraut werden.

## **2.5 Konditionierung der Stiftoberfläche**

Neben der Adhäsion des Befestigungskomposits an dem Dentin der Wurzelkanalwand ist ebenso seine Adhäsion an der Stiftoberfläche für die Haftfestigkeit des Stiftes relevant. Die Adhäsion der Komposits zum FRC-Material, d. h. zu den Glasfasern und der Kunststoff-Matrix, kann durch eine Vorbehandlung bzw. Konditionierung der Stiftoberfläche verbessert werden. Dafür stehen verschiedene Methoden zur Verfügung, die bezüglich der verschiedenen Befestigungskomposite unterschiedlich effizient sind. Daher konnten bislang keine einheitlichen Empfehlungen zur Konditionierung der FRC-Stifte gegeben werden.

Die Stiftoberfläche von FRC-Stiften wird vor der Stiftinsertion bislang meist nur mit Alkohol gereinigt und getrocknet. Gute Haftfestigkeiten wurden mit dem ER-Dentinpost ohne Konditionierung der Stiftoberfläche mit dem selbstkonditionierenden Zement RelyX Unicem (3M Espe, Seefeld) erzielt (WRBAS et al. 2006). Das Komposit Build-It mit dem autopolymerisierenden Bonding Bond 1 plus Aktivator (Jeneric/Pentron, Kusterdingen) erbrachte ebenfalls gute Ergebnisse (SCHMAGE 2006).

Die Benetzung der Stiftoberfläche mit dem zu dem jeweiligen Befestigungsmaterial gehörenden Adhäsiv und Bond wird empfohlen, um eine MMA-Diffusion in die oberflächlichen Kompositbestandteile des FRC-Stiftes zu bewirken und somit einen innigen Haftverbund herzustellen (EDELHOFF et al. 2006, NAUMANN & BLANKENSTEIN 2002, MANNOCCI et al. 2005, WRBAS et al. 2006). Die Effizienz der Benetzung der Stiftoberfläche mit Primer und Bond wurde für Calibra mit Prime & Bond NT plus Aktivator (Dentsply DeTrey, Konstanz) auch von EDELHOFF et al. (2006) sowie WRBAS et al. (2006) für Quarzglas/Epoxidharz-Stifte bestätigt.

Für FRC-Wurzelstifte wurden zur Stiftkonditionierung die Mikrosand-Strahlung, die tribochemische Beschichtung (SCHÖNBRODT et al. 2003) oder spezielle Säureätzverfahren getestet (PURTON & PAYNE 1996). Es zeigte sich, dass die Sandstrahlung die äußeren Fasern schädigte und zur Verunreinigung der Oberflächen führte. Die Sandstrahlung hat sich bei Metallstiften, chemische

Flusssäureätzung bei Keramik und die tribochemische Konditionierung bei beiden bewährt (SCHÖNBRODT et al. 2003, SCHMAGE et al. 2004).

Die tribochemische Konditionierung funktioniert folgendermaßen (KERN et al. 1995, EDELHOFF et al. 2000a, ROSENTRITT et al. 2000, NERGIZ et al. 2001): Die zu konditionierende Oberfläche wird mittels eines Strahlgerätes mit dem Strahlmedium beschichtet. Für die Chairside-Anwendung empfiehlt sich ein Handstrahlgerät an der Einheit, das mit 30 µm CoJet-Sand befüllt wird. Der Sand besteht aus Aluminiumoxid und Siliciumoxid. Durch die Bestrahlung wird die Oberfläche silikatisiert. Anschließend wird das Silan Espe Sil (3M Espe) appliziert, wodurch eine chemische Haftung zum Komposit hergestellt wird (EDELHOF & MARX 1995, KERN et al. 1995, ÖZCAN et al. 1998, EDELHOFF et al. 2000a, NERGIZ et al. 2001, VALLITTU & KURUNMÄKI 2002). Das ursprünglich als labortechnisches Verfahren entwickelte Rocatec-Gerät (3M Espe) beruht auf dem Grundprinzip der tribochemischen Silikatisierung der Oberflächen, um einen Haftverbund der Verblendmaterialien zum Metallgerüst herzustellen. Dabei werden siliziumbeschichtete Partikel aus Aluminiumoxid und Siliziumoxid mit hoher Energie auf die zu konditionierende Oberfläche gestrahlt, wobei die kinetische Energie eine chemisch aktive Oberfläche erzielt (MUSIL & TILLER 1989, GÖBEL et al. 1998, EDELHOFF et al. 2000a). Gleichzeitig wird die Oberfläche mikromechanisch angeraut. Das Rocatec-Verfahren wurde zum Chairside-CoJet-System (3M ESPE) modifiziert, sodass es auch intraoral – bei entsprechendem Schutz durch Kofferdam – angewendet werden kann. Dabei wird der CoJet-Sand mit einem Mikro-Strahlgerät auf die Oberfläche gestrahlt. Die Effizienz des CoJet-Systems wurde bereits wissenschaftlich für intraorale Reparaturen von Verblendungen und Klebungen von Brackets auf bestehenden Kronen nachgewiesen (PFEIFFER 1993, PROÁNO 1997, EDELHOFF et al. 1999, COBB et al. 2000, SCHMAGE et al. 2003, SELÇUK 2006).

Die tribochemische Beschichtung ist auf verschiedenen Materialien wie Titan, FRC, Keramik, Metalllegierungen einsetzbar. Ihre Vorteile bestehen in der Steigerung des Haftverbundes und der Vermeidung von Mikroleakage entlang der Stiftoberfläche (EDELHOFF & MARX 1995, FISCHER et al. 1998, ÖZCAN et al. 1998, EDELHOFF et al. 2000).

Eine Verbesserung der Haftfestigkeit von Dentinpost durch die tribochemische Beschichtung mit dem CoJet-System und EspeSil wurde für RelyX Unicem (3M Espe), MultiCore Flow sowie Multilink, beide mit AdheSE (Ivoclar Vivadent), und C&B

SuperBond mit Primer, Aktivator und Bond (Sunmedical, Shiga, Japan) gefunden (DÉRAND & DÉRAND 2000, SEN et al. 2005). Der Effekt variierte abhängig vom verwendeten Zement (SCHÖNBRODT et al. 2003, SEN et al. 2005).

FRC-Stifte können auch nur mit Silan konditioniert werden. Die Vorbehandlung mit Silan vermittelt die chemische Verbindung zwischen dem anorganischen Gewebe in der Stiftoberfläche und dem Adhäsiv. Silane sind bifunktionelle Moleküle, die anorganische und organische Substanzen miteinander verbinden können. Mit ihren reaktiven Gruppen stellen sie eine Verbindung zu dem Silikat der Gläser her, d. h. bei den FRC-Stiften sowohl zu den Glasfasern als auch zu den Füllkörpern der Kompositmatrix, in die die Fasern eingebettet sind. Silane erhöhen die Reaktivität und Benetzbarkeit der zu beklebenden Oberfläche und polymerisieren mit dem Befestigungskomposit (AKSORNMUANG et al. 2004, GORACCI et al. 2005, AKSORNMUANG et al. 2006, KALKAN et al. 2006). Silane unterscheiden sich in ihrer Chemie und Verarbeitungsweise (MONTICELLI et al. 2006). Silane werden direkt vor dem Einsetzen auf die Stiftoberfläche gepinselt und eintrocknen gelassen.

Nach dem Silan wird das zum Befestigungskomposit gehörende Bonding appliziert. Die Wahl des Silans sollte auf das verwendete Befestigungskomposit abgestimmt sein. Die Silanisierung der FRC-Oberfläche mit dem Silan des jeweiligen Herstellers verbesserten in Untersuchungen mit dem Dentinpost des ER-Systems für Multilink und MultiCore Flow, beide mit AdheSE, und dem Silan Monobond S (Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein), Clement-It mit Bond 1 plus Aktivator und dem Silan Lute-It (Jeneric Pentron) und Panavia F2.0 mit Clearfil Porcelain Bond Aktivator (Kuraray Europe, Frankfurt) die Haftfestigkeiten der Stifte (SCHMAGE 2006).

Eine weitere Konditionierungsmöglichkeit ist die Ätzung der Stiftoberfläche mit Flusssäure, gefolgt von der Silanisierung. Dabei werden Anteile der Kompositmatrix, in die die Glasfasern eingebettet sind, herausgelöst sowie die Glasoberfläche angegriffen (EDELHOFF et al. 2006, VALANDRO et al. 2006, VANO et al. 2006). Dazu werden Produkte, mit denen Keramikrestorationen konditioniert werden, verwendet. Die Oberflächenrauigkeit der FRC-Stifte wird durch die Ätzung erhöht und kann so die Wirkung des Silans zum chemischen Verbund steigern (SAHAFI et al. 2003). Eine Ätzdauer von ca. 60 Sekunden wurde empfohlen, um einen mikroskopisch sichtbaren Konditionierungseffekt der FRC-Stifte zu erzielen (SCHMAGE 2006). Eine längere Ätzdauer trägt umso mehr Substanz ab, was die Passung des Stiftes verschlechtert.

Nach der Oberflächenaktivierung der FRC-Stifte werden nacheinander das zum jeweiligen Befestigungskomposit gehörende Silan und Bond appliziert. Der Nutzen des Verfahrens ist unter Berücksichtigung der Gefahren durch die HF-Ätzung abzuwägen (ÖZCAN & VALLITTU 2003, SCHMAGE et al. 2003).

Andere Autoren schlagen die Behandlung der Oberflächen mit Lösungsmitteln wie Chloroform oder Aceton vor, um so die Oberflächenschicht zu aktivieren. Dieses Vorgehen löst teilweise die oberflächliche Schicht des Epoxydharzes oder des Komposit-Kunststoffes auf, wobei die Fasern freigelegt werden, Mikroretentionen zwischen Fasern und Kunststoff entstehen und die Gesamtoberfläche vergrößert wird (SIGNORE et al. 2003). Auch die Oberflächenaktivierung mit H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> wurde beschrieben (MONTICELLI et al. 2006, VANO et al. 2006). Die oberflächliche Kunststoff- oder Harzschicht wird bei dieser Vorbehandlung ebenfalls herausgelöst, sodass die Textur der Fasern stärker hervortritt. Die Behandlung trägt aber weniger aggressiv die Oberfläche ab als eine Säureätzung. Die Einwirkzeit für 24%iges H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> wurde mit 10 Minuten angegeben.

Seit kurzem werden vorbehandelte FRC-Stifte angeboten, die bereits durch Ätzung, Silikatisierung und Silanisierung mit einer PVD-Beschichtung versehen sind und direkt eingeklebt werden können (DT Light SL-Stifte VDW, München; Dentin Post Coated, Komet, Gebr. Brasseler) (EDELHOFF et al. 2006, SCHMAGE 2008). Die klinischen Erfahrungen zu diesen Verfahren stehen noch aus.

## **2.6 Haftverbund von FRC-Stiften**

FRC-Wurzelstifte zeigten bei Abzugsversuchen geringere Haftfestigkeiten bei gleicher Dimensionierung gegenüber Titanwurzelstiften (SCHÖNBRODT et al. 2003, KAMPE et al. 2005).

Bei den Abzugsuntersuchungen von SCHÖNBRODT et al. (2003) wurden FRC-, Keramik-, und Titanstifte des ER-Systems jeweils mit Compolute und Panavia 21 EX mit unbehandelter Oberflächenbehandlung sowie nach Sandstrahlung bzw. tribochemischer Stiftbeschichtung eingesetzt. Nach Thermocycling wurden die Stifte axial abgezogen. Die Haftfestigkeit erhöhte sich bei den verschiedenen Stiftmaterialien mit mechanischer oder chemisch behandelter Stiftoberfläche, insbesondere mit Compolute- und CoJet- Beschichtung war sie am höchsten. Die

Abzugskräfte waren bei den Titanstiften höher als bei den FRC- und Keramikstiften. Die Abzugskräfte von FRC-Stiften des ER-Systems wurden von KAMPE et al. (2005) mit denen von VDW, Dt Light Post, verglichen, wobei fünf Kompositzemente verwendet wurden. Als Referenzgruppe dienten Titankopfstifte, die mit Zinkphosphatzement eingesetzt wurden. Die Abzugskräfte der Referenzgruppe lagen im oberen Bereich. ER Dentin Post zeigte mit Clearfil Core signifikant höhere Abzugskräfte als mit Panavia F2.0 oder Calibra. Für DT Light Post zeigten sich bei Verwendung von Calibra, Panavia F2.0 und Panavia 21 EX signifikant höhere Abzugskräfte im Vergleich zur Befestigung mit RelyX Unicem und Clearfil Core. Die Kombination von Stift- und Befestigungsmaterial bewies demzufolge großen Einfluss auf die Zugfestigkeit.

WRBAS et al. (2006) verglichen den ER Dentin Post mit dem DT Light Post bezüglich der Abzugsfestigkeit und verwendeten fünf unterschiedliche Zemente. Als Kontrollgruppe dienten ER Titankopfstifte, eingesetzt mit Phosphatzement. ER Dentin Post ergaben mit Clearfil Core signifikant höhere Abzugswerte als mit Panavia F2.0 oder Calibra. DTLight Post, eingesetzt mit Calibra, Panavia F2.0 oder Panavia 21 EX, zeigten signifikant höhere Abzugskräfte als mit RelyX Unicem und Clearfil Core.

Nur durch die CoJet-Konditionierung wurden mit den FRC-Stiften Werte erreicht, die mit den Titanstiften bereits ohne Konditionierung erzielt wurden (SCHÖNBRODT et al. 2003, KAMPE et al. 2005).

Bei Dauerlastuntersuchungen lag der Frakturwiderstand der mit FRC-Stiften versorgten Zähne dagegen höher als der mit Titanstiften versorgten Zähne. Die Zähne wurden mit Stift-Stumpf-Aufbau und Krone nach thermomechanischer Alterung im 135°-Winkel angesichert (ROSENTRITT et al. 2004).

Bei Untersuchungen von Frakturwiderständen von ROSENTRITT et al. (2004) zeigte sich, dass die Zähne ohne Stiftversorgung keinen signifikanten Unterschied zu denen der Titanstiftversorgung aufwiesen. Die Keramikstifte und die FRC-Stifte zeigten einen signifikant höheren Frakturwiderstand, ebenso einen kleineren marginalen Randspalt im Vergleich zu Titanstiften. VASUT (2008) bestätigte für intakte wurzelbehandelte Zähne ohne Stifte sogar den größten Frakturwiderstand. In klinischen Studien von allerdings meist begrenzter Überwachungszeit traten bei den FRC-Stiften weniger Misserfolge als mit Angussstiften auf (FERRARI et al. 2000).

TORBJÖRNER et al. (1995) stellten in klinischen Langzeituntersuchungen fest, dass

konische FRC-Stifte einen guten Formschluss entsprechend der Anatomie der Zahnwurzel mit geringerer Schwächung der Wurzel aufwiesen. Außerdem hatte das mit Ferrule-Design bezeichnete Gestaltungsprinzip einen stabilisierenden Effekt auf die Zahnwurzel und wirkte sich positiv auf den klinischen Langzeiterfolg aus.

FERRARI et al. (2000) verglichen in vivo FRC-Stifte mit direkten Aufbauten mit Angussstiften mit gegossenen Aufbauten in jährlichen Abständen bis zu 4 Jahren. Es zeigte sich, dass die FRC-Stifte eine höhere Erfolgsrate als gegossene Stifte aufwiesen. Wurzelfrakturen wurden nur bei den Angussstiften (3%) gefunden.

Als relevante Faktoren für das Überleben der FRC-Stifte wurden die koronale Restzahnschicht, die Breite der Stumpfumschließung (Ferrule-Design) und die prothetische Planung ausgemacht. Insbesondere bei maximal mittlerer Defektgröße, Einzelzahnrestorationen und mindestens 1,5 mm breiter Stumpfumschließung zeigten FRC-Stifte gute klinische Erfolge und stellten eine Alternative zu metallischen Stift-Stumpfaufbauten dar (NAUMANN et al. 2003, HEIDEMANN 2005).

Weitere Einflussfaktoren im Vergleich des Erfolgs von verschiedenen FRC-Stiftsystemen waren der verwendete Befestigungszement ebenso wie die Stiftkonditionierung.

SEN (2007) wies nach, dass durch die Modifikation der FRC-Stifte hinsichtlich Radioopazität und Transluzenz keine Veränderung ihrer Haftfestigkeiten eintrat.

Die Haftfestigkeitswerte von FRC-Stiften des ER-Systems mit verschiedenen Zementen wurde von SEN (2007) bestimmt, wobei die Stifte mit und ohne CoJet-Konditionierung eingesetzt wurden. Als Referenz dienten sandgestrahlte Titanstifte. Es ergaben sich die höchsten Haftfestigkeitswerte für FRC-Stifte mit RelyX Unicem mit und ohne Oberflächenbehandlung (CoJet-Konditionierung). Sowohl bei Superbond, Panavia F und Encor wurden nach Konditionierung mit dem CoJet-System für FRC-Stifte höhere Werte gemessen als ohne. Die Ergebnisse der Titanstifte zeigten signifikant höhere Werte mit Superbond und niedrigere mit Encor. Vergleichbar waren die Werte der mit RelyX Unicem inserierten Titanstifte und der FRC-Stifte mit Konditionierung, die mit RelyX Unicem oder Panavia F eingesetzt wurden (SEN et al. 2004).

Insbesondere selbstkonditionierende Bondingsysteme und die Abstimmung von Adhäsivsystem zu Befestigungszement wirkten sich laut BITTER et al. (2005) positiv auf die Haftfestigkeit aus.

Die Haftung am Wurzelkanalentin von FRC-Stiften wurde signifikant von der Art des

verwendeten Zements beeinflusst: RelyX Unicem (3M Espe) zeigte einen signifikant höheren Haftfestigkeitswert als Panavia F (Kuraray), Multilink (Ivoclar Vivadent), Variolink/Excite DSC (Ivoclar Vivadent) und Clearfil Core/New Bond (Kuraray) (BITTER et al. 2005).

Die Verwendung chemisch bzw. dualhärtender Befestigungskomposite sowie solche Bondings sind zur Befestigung von FRC-Stiften Standard geworden. Dennoch unterscheidet sich die Dentinverarbeitung in Abhängigkeit vom verwendeten System. Rasterelektronenmikroskopische Betrachtungen zeigten in einer Studie von FERRARI et al. (2001), dass die Zementdicke im Verhältnis zur Wurzelkanalform in jedem einzelnen Wurzelkanal variierte. Das Verhältnis zwischen der Länge der Kunststoff-Dentin- Interfusion und der Länge der betrachteten Grenzfläche war bei der Gruppe der FRC- Postec Fiber Posts (Ivoclar Vivadent), die mit Excite dualhärtendem Adhäsiv und Multilink (Ivoclar Vivadent) nach Ätzung der Kanalwände eingesetzt wurden, mit 90% statistisch signifikant höher als bei denselben Stiften, die mit Excite lighthärtendem Adhäsiv in Kombination mit Variolink II (Ivoclar Vivadent) eingesetzt wurden (80%). Andere Stifte (Endo Aesthetic translucent fiber post, RTD), die mit einem Ein-Stufen-Adhäsiv in Kombination mit Dual Link Kompositzement (Bisco) eingesetzt wurden, erzielten einen geringeren Kunststoff-Dentin-Verbundanteil auf die Gesamtwurzellänge (72%). Die Dichte und die Länge der „resin tags“ war bei FRC-Postec Fiber Post mit Excite im koronalen und mittleren Drittel höher bzw. länger als im apikalen Drittel des Wurzelkanals (FERRARI et al. 2001).

In vitro wurden in der Schicht zwischen Stift und dem Kompositverbund geringe Festigkeitswerte gemessen. Aufgrund von mechanischen Spannungen unter Funktion löst sich der Verbund zwischen Zahn und Stift bei Dezementierung immer in der Schicht zwischen Stiftoberfläche und Kompositkleber (DALLARI & ROVATTI 1997). Nach SEN (2007), EDELHOFF et al. (2000a), GORACCI et al. (2005), NERGIZ et al. (1993), SCHÖNBRODT et al. (2003) könnte dieses Phänomen durch die Konditionierung der FRC-Stifte gelöst und gleichzeitig die Verbundfestigkeit gesteigert werden.

Ein Problem der Kompositzemente ist ihre Polymerisationsschrumpfung. Diese wirkt sich stärker aus, an je mehr Flächen das Komposit haftet. Demzufolge ist die Situation für die Zementfuge von Wurzelstiften ungünstig. Der Begriff C-Faktor (configuration) ist gebräuchlich bei Füllungsmaterialien, die während der Polymerisation materialbedingten Schrumpfungsvorgängen unterliegen (Komposite).

Der C-Faktor entspricht dabei dem Verhältnis von gebundener zu ungebundener Oberfläche des Materials. Als gebundene Oberfläche werden die adhäsiv vorbehandelten Zahnhartsubstanzoberflächen (Kavitätenwände) gezählt. Die freie Oberfläche entspricht in der Regel der Grenzfläche zur Luft. Ein hoher Anteil an gebundener Oberfläche und somit ein großer C-Faktor erhöht die Gefahr des Adhäsionsverlustes durch Schrumpfkraften und fördert dadurch eine Randspaltbildung (STURDEVARD 1995). Konische und parallelwandige Glasfaserstifte besitzen einen C-Faktor unter 1 (weniger als zwei Kavitätenwände vorhanden) und somit ein höheres Versagensrisiko (RINKE & HÜLS 1999).

Einige Autoren stellten die Hypothese auf, dass eine breitere Zementfuge eine bessere Pufferfunktion zum Abfangen der koronal einwirkenden Hebelkräfte darstellen würde. Einige Fallbeschreibungen liegen vor, die empfehlen, extrem weite Wurzelkanäle mit Komposit vor der Stiftinsertion aufzufüllen (HALFT et al. 2002). Es ist anzunehmen, dass bei der großen Popularität der FRC-Stifte nicht jeder Kanal dazu passgerecht aufbereitet werden konnte, weil viele Kanäle eine individuelle Form haben. Daraus folgt zwangsläufig, dass die Zwischenräume mit Komposit aufgefüllt werden. Die daraus resultierenden Konsequenzen wurden bei den Studien, die mit idealer Passung der Stifte designt wurden, nicht berücksichtigt.

## **Resümee**

Die Kombination von Stift- und Befestigungsmaterialien sowie die Oberflächenkonditionierung von Wurzelkanal und Stift haben großen Einfluss auf die Haftfestigkeit des Stiftaufbaus. Einerseits werden verschiedene Stiftkonditionierungen zur Haftvermittlung der FRC-Stifte angeboten, wobei es zu prüfen gilt, ob der Aufwand einer zusätzlich zur Dentinkonditionierung durchzuführenden Konditionierung für die Praxis lohnt und empfohlen werden sollte. Andererseits mehren sich die Empfehlungen zur Stiftinsertion mit Aufbaukomposit zur Erstellung eines Monoblocks und zur Indikationserweiterung, indem weite Wurzelkanäle mit diesem Komposit ausgefüllt werden. Bislang ist unklar, ob die zur Verfügung stehenden Werkstoffe dafür geeignet sind.



### 3 Fragestellung

---

In dieser In-vitro-Untersuchung wurden die Haftfestigkeiten und die Bruchmodalitäten von faserverstärkten Kompositstiften in Abhängigkeit von der Breite der Zementfuge, der Art der Konditionierung der Stiftoberfläche und fünf Kompositen geprüft.

Zum einen sollte der Frage nachgegangen werden, ob Wurzelstifte mit Aufbaukompositen oder Kompositzementen in weitere Wurzelkanäle eingeklebt werden können und wie sich dabei die Haftfestigkeit verhält.

Zum anderen sollte geprüft werden, ob die Flusssäureätzung und Silanisierung bzw. tribochemische Konditionierung der FRC-Stifte den Haftverbund verbessern und zur Konditionierung empfohlen werden sollte.

## 4 Material und Methode

---

### 4.1 Versuchsdesign

In dieser Arbeit wurden konische Wurzelstifte aus glasfaserverstärktem Komposit (DentinPost) des Erlanger Wurzelstiftsystems® (Brasseler, Lemgo) der Größe II mit einer Länge von 12 mm untersucht. Das Versuchsprotokoll ist als Flowchart dargestellt (Abb. 4).

250 Frontzahnwurzeln wurden nach der endodontischen Aufbereitung und Stiftbettpräparation randomisiert in fünf Obergruppen zu je 50 Zähnen aufgeteilt.

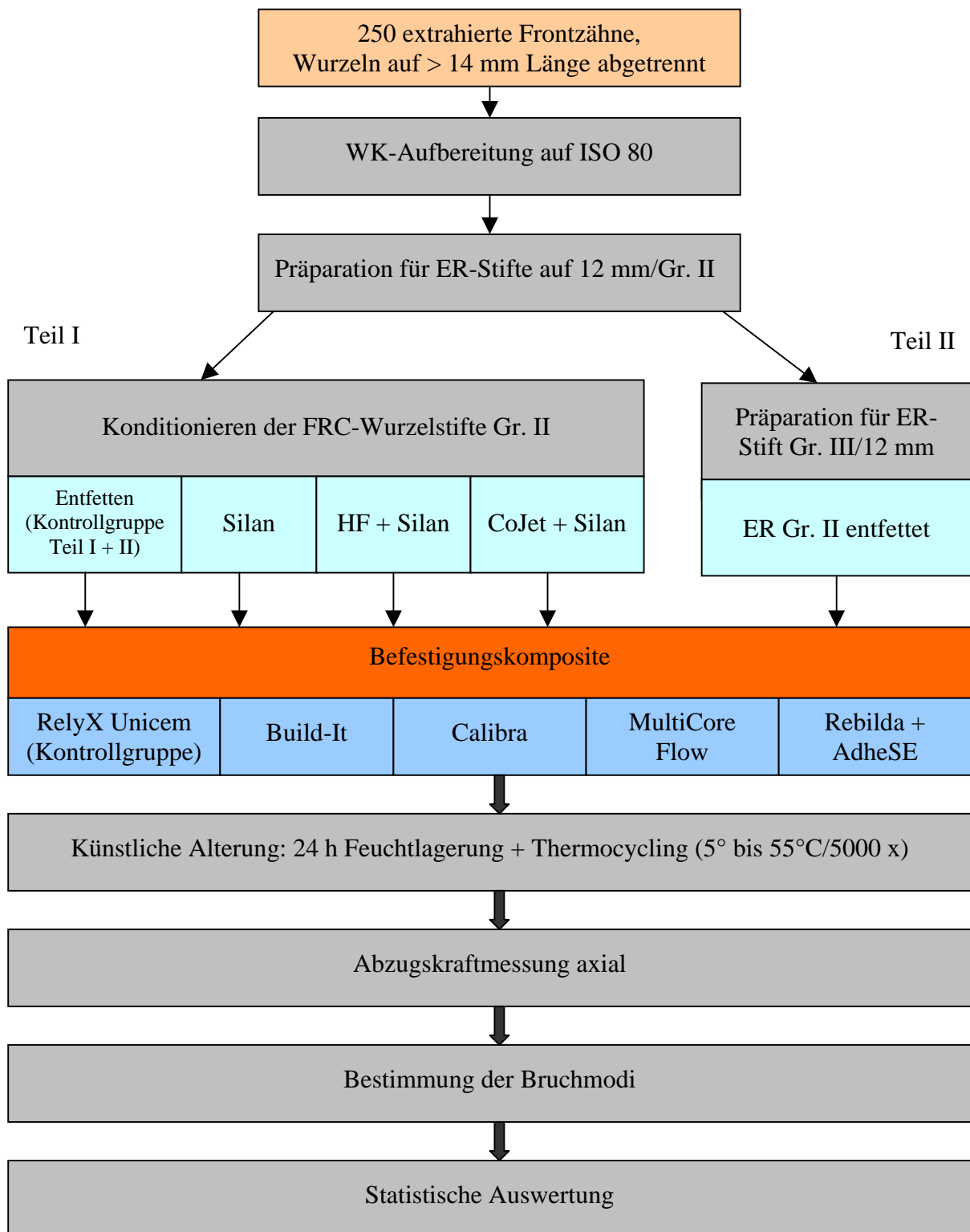
Im ersten Teil der Untersuchung wurden glasfaserverstärkte Kompositstifte der Größe II mit unterschiedlichen Oberflächenbehandlungen eingesetzt:

- I. als Kontrollgruppe: ohne Oberflächenbehandlung, der Stift wurde nur entfettet,
- II. mit Silan-Beschichtung,
- III. nach Flusssäure-Ätzung und Silan-Beschichtung,
- IV. nach tribochemischer Oberflächenbeschichtung und anschließender Silanisierung.

Im zweiten Teil der Untersuchung wurden die Wurzelkanäle in einer Gruppe auf ISO 110 weiter aufbereitet und glasfaserverstärkte Kompositstifte der Größe II ohne Oberflächenkonditionierung eingesetzt.

Das Einsetzen der Stifte erfolgte in jeder der Gruppen mit fünf Befestigungskompositen, sodass jeweils zehn Proben jeder Obergruppe mit einem der folgenden Zemente inseriert wurden: RelyX Unicem (3M Espe), Build-It FR™(Jeneric/ Pentron), Calibra (Dentsply De Trey), MultiCore Flow (Ivoclar Vivadent), Rebilda (Voco) mit AdheSE (Ivoclar Vivadent). Entgegen den Herstellerempfehlungen wurde Rebilda mit dem Adhäsiv AdheSE versuchsweise angewendet.

In der Tabelle 1 ist die Einteilung der Versuchsgruppen dargestellt, die verwendeten Materialien sind in Tabelle 2 aufgelistet. Nach Aushärtung der Zemente wurden die Proben in physiologischer Kochsalzlösung 24 Stunden gelagert und danach einem Thermocycling von 5000 Zyklen unterzogen. Die axialen Abzugsfestigkeiten der Stifte wurden gemessen und anschließend das Bruchverhalten zwischen Zahnwurzel und Stift mikroskopisch bestimmt. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet.



**Abb. 4:** Versuchsdesign

<b>Teil I</b>	<b>RelyX Unicem</b>	<b>Build-It</b>	<b>Calibra</b>	<b>MultiCore Flow</b>	<b>Rebilda und AdheSE</b>
<i>Stiftkonditionierung</i>					
1. entfettet (Kontrollgruppe) I + II	10	10	10	10	10
2. Silan	10	10	10	10	10
3. HF und Silan	10	10	10	10	10
4. CoJet und Silan	10	10	10	10	10
<b>Teil II</b>					
<i>Kanalpräparation</i>					
5. Gr. III (ISO 110) 12 mm	10	10	10	10	10

**Tab. 1:** Versuchsanordnung

## 4.2 Materialien

Produkt	Hersteller und Ort	Beschreibung
Hedströmfeilen ISO 15 bis 80	Anteos, VDW, München	Endodontische Aufbereitung
<u>ER-Wurzelstiftsystem:</u> Präparationsinstrumente glasfaserverstärkte Kompositstifte	Komet, Lemgo	Präparation des Stiftbettes konisch, passive, radioopake FRC-Stifte mit Schaft
<u>Adhäsivse:</u> Bond-1 Prime & Bond NT AdheSE DC	Jeneric/Pentron, Wallingford, CT., USA Dentsply De Trey, Konstanz Ivoclar Vivadent, Schaan, Liechtenstein	Ein-Komponenten-Adhäsiv Ein-Komponenten-Adhäsiv Zwei-Komponenten-Adhäsiv
<u>Kompositzemente:</u> RelyX Unicem Build-It® FR™ MultiCore® Flow Rebilda DC® Calibra® Esthetic Harzkomposit	3M Espe, Seefeld Jeneric /Pentron Ivoclar Vivadent, VOCO, Cuxhaven Dentsply De Trey	<u>Konditionierung:</u> ohne Konditionierung mit Ätzen, Primer und Bonding mit Primer und Bonding mit Primer und Bonding mit Ätzen, Primer und Bonding
<u>Konditionierung:</u> CoJet-System RONDO flex 2013	3M Espe KaVo, Biberach	CoJet-Sand und Silan Handstrahlgerät
<u>Keramikätzmittel:</u> IPS Keramik Ätzgel	Ivoclar Vivadent	Flusssäure
<u>Silane:</u> Silane CALIBRA® Silane Monobond S	Jeneric/Pentron Dentsply De Trey Ivoclar Vivadent	Silan Silan Silan
<u>Ätzgel:</u> Conditioner 36 37%Phosphoric Acid Etching Gel	Dentsply De Trey Jeneric/Pentron	Ätzen Ätzen

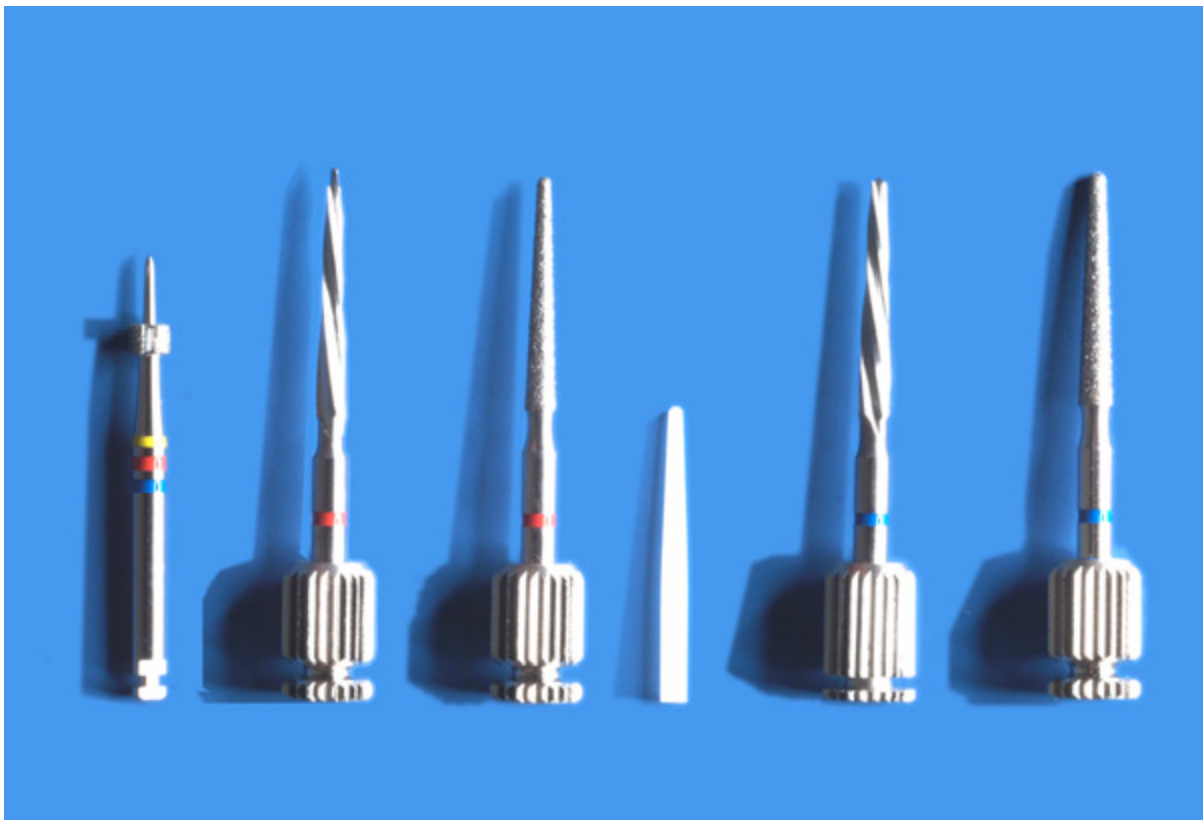
Tab. 2: Materialliste

## 4.2.1 Wurzelstiftsystem ER DentinPost

Die vorliegende Untersuchung wurde mit dem ER DentinPost (Komet, Lemgo), einem zahnfarbenen Wurzelstift aus glasfaserverstärktem Komposit der Größe II entsprechend ISO 90 durchgeführt. Die Glasfasern mit einem Durchmesser von 13  $\mu\text{m}$  sind in eine Matrix aus Epoxydharz eingebettet. Der Glasfaseranteil beträgt 65%.

Nach Angabe des Herstellers weist der ER DentinPost eine Biegefestigkeit von 550 MPa und ein Elastizitätsmodul von 30 GPa auf.

Der Schaftteil hatte eine zylindrische Form und der Stift verjüngte sich nach apikal konisch. Die Länge der Stifte betrug 20 mm und die des apikalen konischen Anteils 12 mm. Der Konvergenzwinkel betrug  $4,2^\circ$  mit einer Toleranz von 3% zwischen Aufbereitungsinstrument und Stift (Abb. 5).



**Abb. 5:** Präparationinstrumente des ER-Wurzelstift-Aufbausystems von links nach rechts: Plateaubohrer, Kanalerweiterungsinstrument der Größe II, diamantiertes Anrauinstrument der Größe II, FRC-Stift sowie das Kanalerweiterungsinstrument der Größe III und das diamantierte Anrauinstrument der Größe III

## 4.2.2 Befestigungskomposit und Silane

### a) RelyX™ Unicem

RelyX™ Unicem (3M ESPE) ist ein universaler, dualhärtender, selbstadhäsiver, flouridhaltiger, röntgenopaker Komposit-Befestigungszement. RelyX Unicem Aplicap wird in einem Pulver-Flüssigkeitssystem angemischt, das direkt nach der Aktivierung der Aplikap™-Kapsel und Durchmischung im Hochfrequenzmischgerät appliziert werden kann (Abb. 6). Eine Konditionierung des Dentins war nicht notwendig.

Nach Herstellerangaben enthält RelyX Unicem Aplicap bifunktionelle (Meth-)Acrylate. Der anorganische Füllkörperanteil beträgt ca. 72 Gew.%. Die Korngröße (D90%) liegt bei 9,5 µm. Das Pulver beinhaltet silanisiertes Glaspulver, Initiatoren, silanisierte Kieselsäure, Pyrimidin, Calciumhydroxyd, Perox-Verbindungen und Pigmente. Bestandteile der Flüssigkeit sind methacrylierte Phosphorsäureester, Dimethacrylat, Acetat, Stabilisator und Initiator.

Vor Applikation des RelyX Unicem wurde der Wurzelkanal mit Wasserspray gespült und mit Papierspitzen getrocknet, aber nicht übertrocknet. Die FRC-Stifte wurden entsprechend dem Protokoll konditioniert und inseriert. Zur Silanisierung der Stifte wurde Espe Sil verwendet.

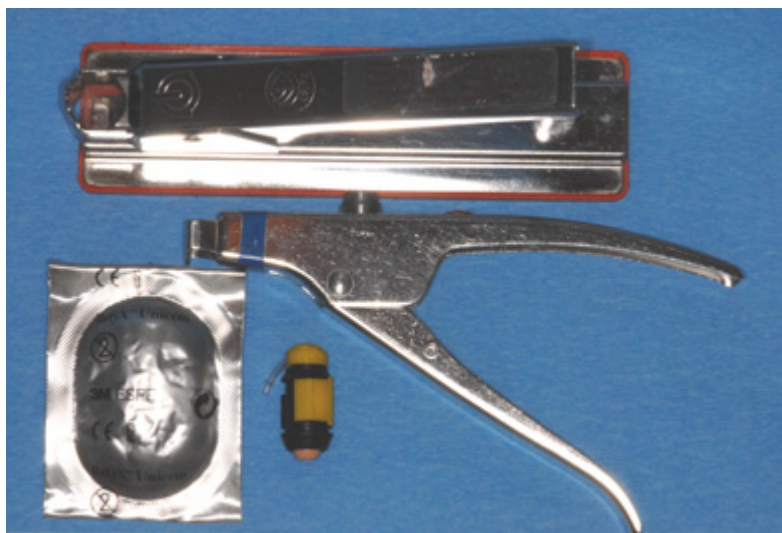


Abb. 6: RelyX Unicem

RelyX Unicem wurde im Kapselmischgerät (RotoMix) für 10 Sek. angemischt und sofort verarbeitet. Der Zement wurde nicht in den Kanal, sondern auf den FRC-Stift aufgetragen, der anschließend pumpend inseriert wurde. Die Überschüsse wurden entfernt. Nach 5 Minuten erhärtete er von selbst.

## **b) Build-It® FR™**

Build-It FR (Jeneric/Pentron) ist ein fiberglasverstärktes, dualhärtendes Stumpfaufbaumaterial (Abb. 7). Durch die Beigabe von speziell behandelten Glasfasern soll die Druckfestigkeit um 249 bis 280 MPa höher sein. Build-It enthält Flouride und ist röntgenopak. Die Monomermatrix besteht aus einem Gemisch aus Bis-GMA, UDMA, HDDMA. Außerdem beinhaltet Build-It FR™ silanbehandelte Glasfasern, Farbpigmente mit Initiatoren, Stabilisatoren und UV-Absorbierer.

Das Anmischen des Materials erfolgte in der Mischkanüle aus 2 Komponenten, Base und Katalysatorpaste, beim Auspressen. Zum System gehören Dentinadhäsiv und Silan.

Das Dentinadhäsiv Bond-1™ ist ein Ein-Komponenten-Bonding, bestehend aus Primer und Adhäsiv. Die Bestandteile sind PMGDM, Azeton, HEMA, TMPTMA, Ethylalkohol, Photoinitiatoren, Amine, Beschleuniger und UV-Stabilisatoren.

Das Silan besteht aus Methylalkohol und Silan.



Abb. 7: Build-It

Für Build-It wurde der Kanal für 20 Sek. mit 37% Phosphorsäure (37% Phosphoric Acid Etching Gel) angeätzt, indem das Ätzgel vollständig eingebracht, anschließend mit Wasser und per Spülkanüle gespült und mittels Püster und Papierspitzen leicht luftgetrocknet wurde. Mittels Mikrobrush wurde Bond-1 C&B Primer in den Kanal appliziert. Überschüssiges Material wurde nach 20 Sek. mit Papierspitzen aufgesogen und für 10 bis 15 Sek. verblasen. Mit Build-It wurden die FRC-Stifte beschickt und eingesetzt. Nach 4 Minuten härtete der Zement chemisch aus.



### **c) Calibra® Esthetic Harzkomposit**

Bei dem Calibra® (Dentsply De Trey) handelt es sich um ein lichthärtendes, dualhärtendes oder selbsthärtendes Harzkomposit, welches als Grundlage Dimethacrylat-Harze, die Photoinitiatoren Kampferchinone, Stabilisatoren, Glasfüller, Fumed Silikat, Titanium Dioxide und Pigmente hat (Abb. 8).

Als Dentinhaftvermittler wurde das Prime&Bond NT™ Dual Cure verwendet. Es handelt sich um ein Ein-Komponenten-System für Schmelz und Dentin. Der acetonhaltige Haftvermittler wird einschichtig appliziert. Das Adhäsiv soll nach Herstellerangaben durch Nanofüller verstärkt sein, die so eine Retention im Nanobereich zwischen Zahnhartsubstanz und Befestigungskomposit erzeugen sollen. Die Nanofüller haben eine Partikelgröße von 7 µm.

CALIBRA® Silane Haftvermittler war das dazugehörige Silan. Die Bestandteile sind Ethylalkohol 92,6%, Aceton 7,4%, Benzene < 0,15 ppm.



**Abb. 8:** Calibra

Für Calibra wurde der Kanal gespült und getrocknet. Das 36%-Phosphorsäure-Ätzgel Conditioner 36 (Dentsply De Trey) wurde in den Kanal mit einer Kanüle für 15 Sek. eingebracht, anschließend 10 Sek. mit Wasser abgespült und mit Papierspitzen/Luftpüster getrocknet. In einem Anmischgefäß wurden die beiden Prime&Bond NT™ Dual Cure Flüssigkeiten 1:1 mit einem Mikrobrush vermischt und anschließend in den Kanal für 20 Sek. appliziert. Überschüsse wurden 5 Sek. verblasen, mit Papierspitzen abgesaugt und anschließend für 10 Sek. lichtgehärtet. Der FRC-Stift wurde anschließend ebenfalls mit Prime&Bond NT™ Dual Cure

benetzt und nach 5 Sek. vorsichtig mit Luft getrocknet. Auf einem Anmischblock wurden Calibra Light shade base und REGULAR VISCOSITY Katalysator im Verhältnis 1:1 20 Sek. vermischt, anschließend auf den FRC-Stift verteilt und dann eingesetzt. Der Stift wurde für 10 Sek. belichtet, Überschüsse entfernt und für weitere 20 Sek. belichtet. Calibra härtet nach Beginn der Anmischung nach 6 Minuten selbständig aus.

#### **d) MultiCore® Flow**

MultiCore Flow (Ivoclar Vivadent) ist ein dualhärtendes, fluoridhaltiges, röntgenopakes Komposit (Abb. 9). Die Monomermatrix besteht laut Angaben des Herstellers aus Bis-GMA, Urethandimethacrylat und Triethylenglycoldimethacrylat (28,5 Gew.%). Der Gesamtgehalt an anorganischen Füllstoffen beträgt 71 Gew.% bzw. 47,0 Vol.%. Zwischen 0,04 und 25 µm liegt die Partikelgröße und die mittlere Partikelgröße bei 2,3 µm. Die anorganischen Füllstoffe bestehen aus Bariumglas, Ytterbiumtrifluorid, Ba- Al-Fluorosilikatglas und hochdisperssem Siliciumdioxid. Zusätzlich sind Katalysatoren, Stabilisatoren und Pigmente enthalten (0,5 Gew.%). Die Base- und Katalysatorpaste wird im Verhältnis 1:1 gemischt. Dabei erfolgt das Mischen durch Auspressen der Pasten durch die statische Mischkanüle. Zu diesem System werden das Dentinadhäsiv AdheSE Dual-Cure und das Silan Monobond S empfohlen.



Abb. 9: MultiCore Flow und AdheSE

AdheSE DC ist ein selbstätzendes, lichthärtendes, gefülltes Zwei-Komponenten-Adhäsivsystem für Schmelz und Dentin. AdheSE Primer besteht aus Dimethacrylat, Phosphorsäureacrylat, Initiatoren und Stabilisatoren in wässriger Lösung. AdheSE Bonding besteht aus HEMA Dimethacrylat, Siliziumdioxid, Initiatoren und Stabilisatoren. AdheSE Dual Cure Activator ergänzt dieses System optional zu einem dualhärtenden Adhäsivsystem.

Das Monobond S besteht zu 50 bis 52% aus Ethanol, 1-3% Methacryloyloxypropyl-trimethoxysilan und der Rest aus Wasser.

### **e) Rebilda DC®**

Rebilda DC (Voco) ist ein dualhärtendes, röntgenopakes, flouridhaltiges, fließfähiges Komposit. Es enthält Diurethandimethacrylat, BIS-GMA, BHT, Benzoyperoxid (Abb. 10).

Für Rebilda DC wurde der Kanal mit Wasser gespült und getrocknet. In diesem Fall wurde bewusst nicht das Adhäsiv von Voco verwendet, da es nicht dualhärtend ist. Stattdessen wurde AdheSE DC (Ivoclar Vivadent), bestehend aus Primer, Bonding und Aktivator eingesetzt. Der AdheSE DC Primer wurde mit einem Mikrobrush in den Kanal appliziert und für 30 Sek. einmassiert. Anschließend wurden die Überschüsse mit Papierspitzen aufgesogen und verblasen.



**Abb. 10:** AdheSE DC und Rebilda DC

Hinterher wurde das AdheSE DC Bonding und der Aktivator im Verhältnis 1:1

vermischt und ebenfalls mittels Mikrobrush auf das Kanaldentin appliziert. Überschüsse wurden verblasen und mit Papierspitzen aufgesogen. Anschließend wurde auf dem FRC-Stift das aus der Anmischkanüle ausgepresste Rebuilda DC verteilt und dann eingesetzt. Die Überschüsse wurden entfernt. Nach 5 Minuten erhärtete der Zement selbst. Zur Silanisierung der Stifte wurde in diesem Fall Monobond S (Ivoclar Vivadent) verwendet.

### 4.2.3 Konditionierungsmethoden der FRC-Stifte

a) Um Schmutz und Fettrückstände zu entfernen, wurden die FRC-Stifte mit einer in 96 Vol.% Alkohol getränkten Wattekugel gereinigt und mit Luft getrocknet.

Die Struktur der Stiftoberfläche ist nach dieser Behandlung auf den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen (Abb. 11a bis d) zu sehen. Die Glasfasern sind längs angeordnet und enden im konischen Stiftanteil an der Oberfläche; die Zwischenräume sind mit Matrix gefüllt, die die Glasfasern einbettet, und zeigen eine unregelmäßige Struktur.

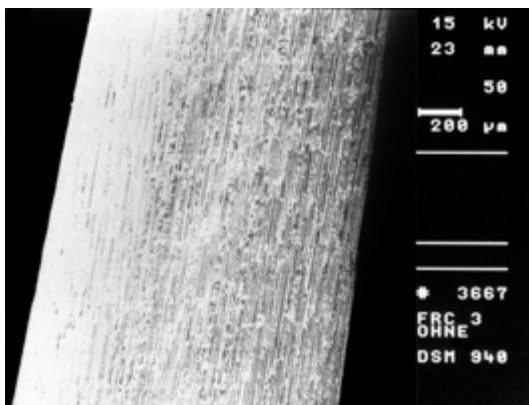


Abb. 11a: FRC-Stift unbehandelt, 50-fach vergrößert

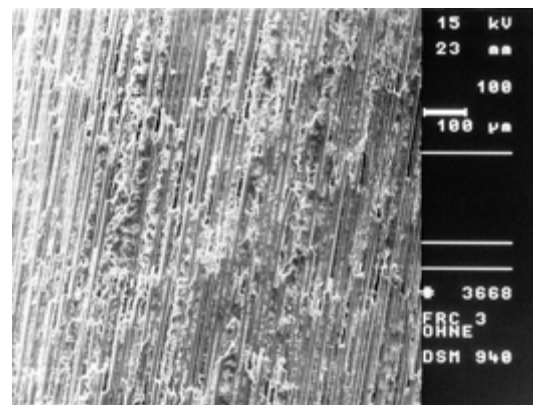


Abb. 11b: FRC-Stift unbehandelt, 100-fach vergrößert

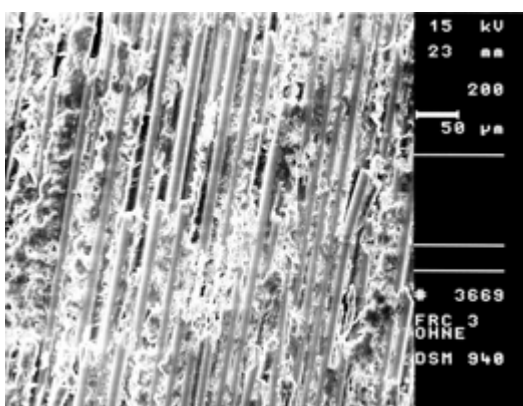


Abb. 11c: FRC-Stift unbehandelt, 200-fach vergrößert

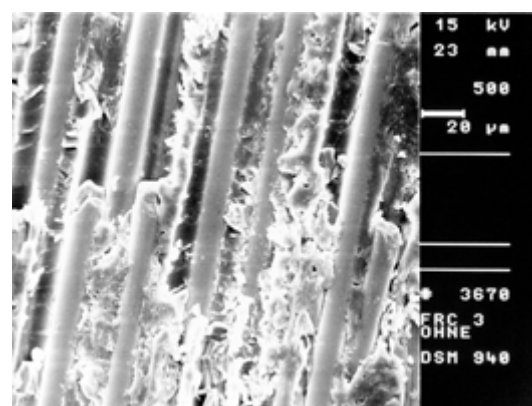


Abb. 11d: FRC-Stift unbehandelt, 500-fach vergrößert

**b)** Für die Silanisierung wurden die FRC-Stifte zunächst ebenfalls mit Alkohol entfettet und danach mit Hilfe eines Pinsels mit dem Silan beschickt. Nach 60 Sek. wurde der FRC-Stift mit Luft getrocknet. Die verschiedenen verwendeten Silane sind in den Abbildungen 12 bis 15 dargestellt.



**Abb. 12:** ESPE™ Sil



**Abb. 13:** Jeneric/Pentron silane



**Abb. 14:** Calibra™ Silan





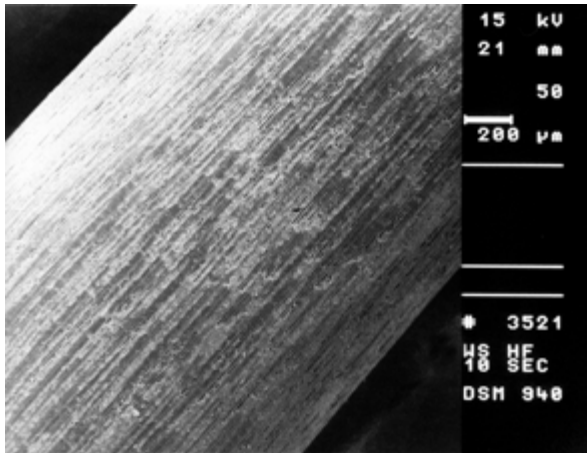
Abb. 15: Monobond-S (Ivoclar Vivadent)

c) Um ein Ätzmuster auf dem FRC-Stift zu erzielen, wurde Flusssäure IPS Keramik Ätzel (Ivoclar Vivadent) verwendet. Dieses Ätzel besteht aus 5% Fluorwasserstoffsäure (HF) (Abb. 16).

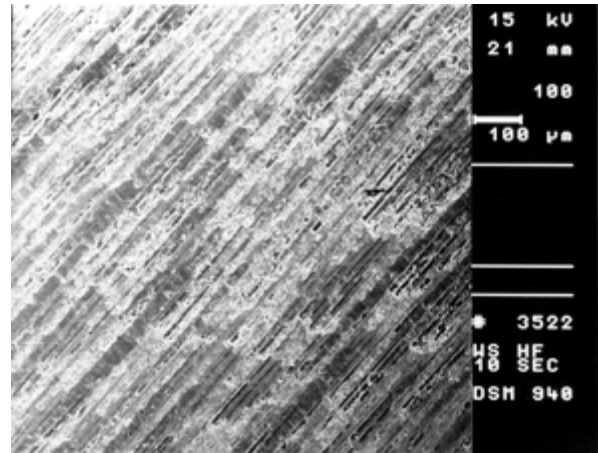
Mit einem Pinsel wurde die Flusssäure gleichmäßig auf den FRC-Stift aufgetragen. Nach 60 Sek. Einwirkzeit wurde die Flusssäure in ein Glasauffanggefäß abgespült und mit dem IPS CERAMIC-Neutralisationspulver (Ivoclar Vivadent) vermischt. Anschließend wurde der FRC-Stift, wie in Abschnitt b) beschrieben, mit Silan benetzt. In den Abbildungen 17a-d, 18a-d, 19a-d sind die flusssäurebehandelten Stiftoberflächen nach unterschiedlicher Zeiteinwirkung rasterelektronenmikroskopisch dargestellt. Nach 10 Sek. ist kaum eine Anrauhung der Stiftoberfläche zu beobachten (17a-d). Die Glasfasern sind noch komplett in der Matrix eingebettet. Im Gegensatz dazu können nach 60 Sek. bereits Porositäten in der Matrix festgestellt werden (Abb. 18a-d). Nach 120 Sek. fehlen die oberflächlichen Anteile der Matrix und auch die Glasfasern sind angegriffen (Abb. 19a-d).



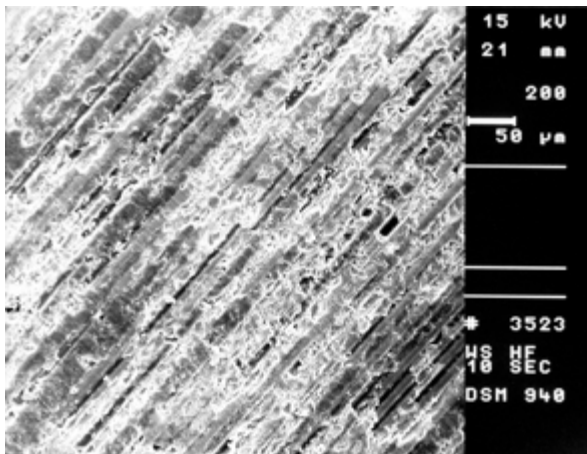
Abb. 16: IPS Keramik Ätzel



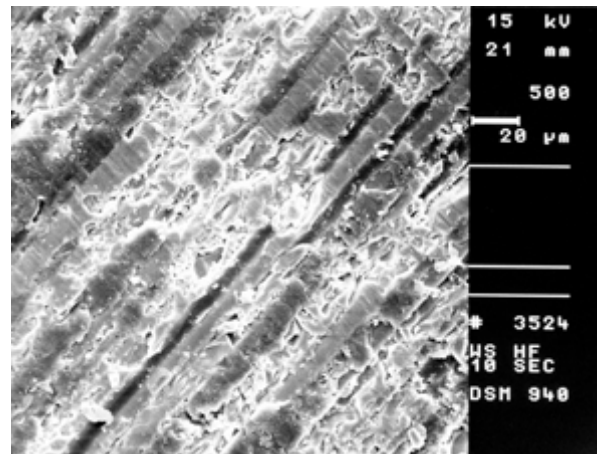
**Abb. 17a:**  
FRC-Stift 10 Sek. mit HF konditioniert (50-fach vergrößert)



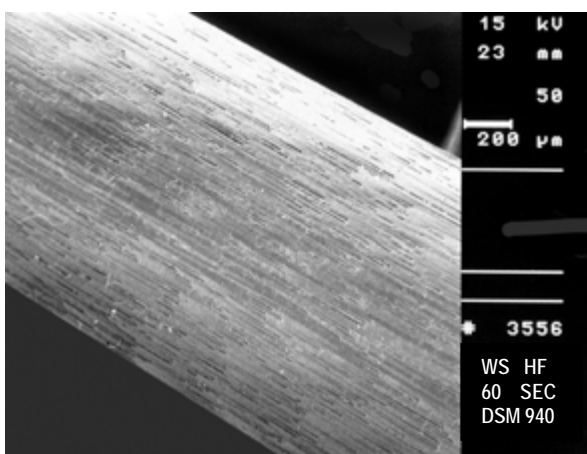
**Abb. 17b:**  
FRC-Stift 10 Sek. mit HF konditioniert (100-fach vergrößert)



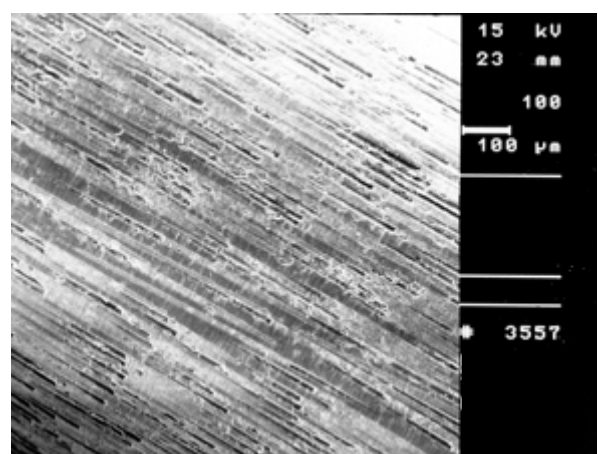
**Abb. 17c:**  
FRC-Stift 10 Sek. mit HF konditioniert (200-fach vergrößert)



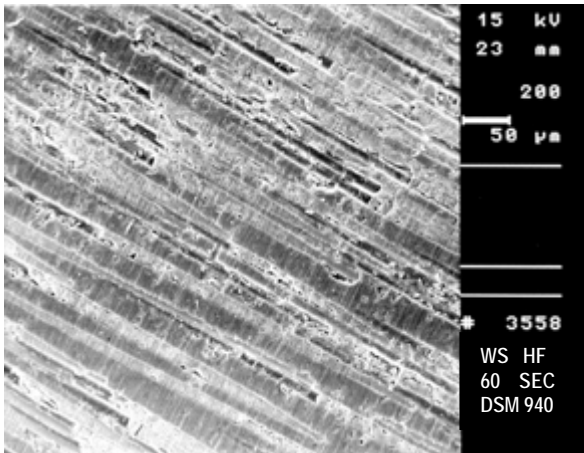
**Abb. 17d:**  
FRC-Stift 10 Sek. mit HF konditioniert (500-fach vergrößert)



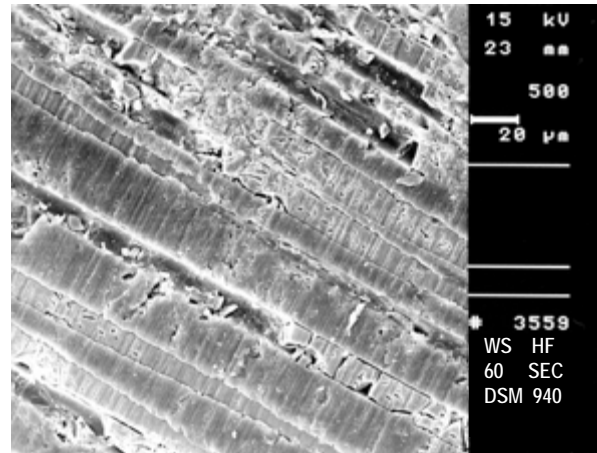
**Abb. 18a:**  
FRC-Stift 60 Sek. mit HF konditioniert (50-fach vergrößert)



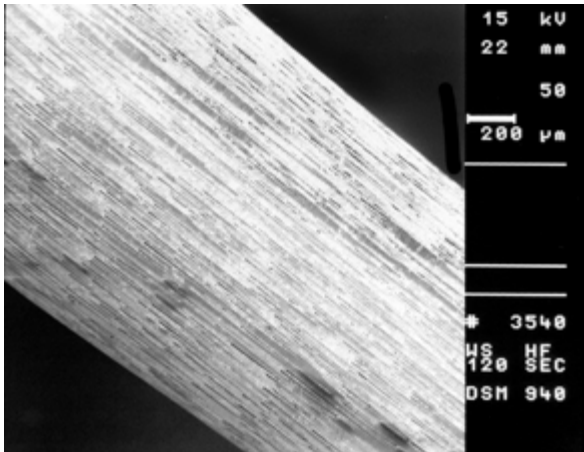
**Abb. 18b:**  
FRC-Stift 60 Sek. mit HF konditioniert (100-fach vergrößert)



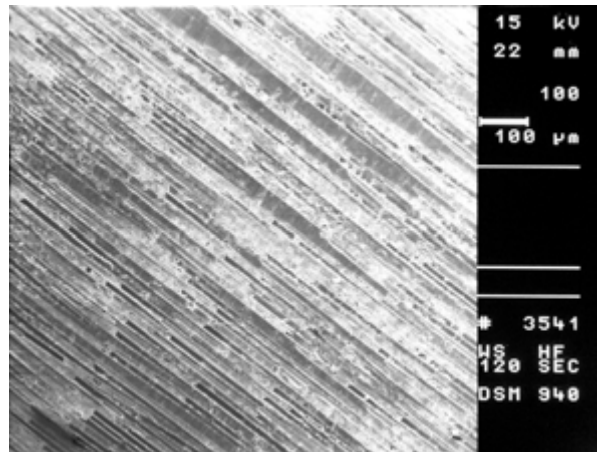
**Abb. 18c:**  
FRC-Stift 60 Sek. mit HF konditioniert (200-fach vergrößert)



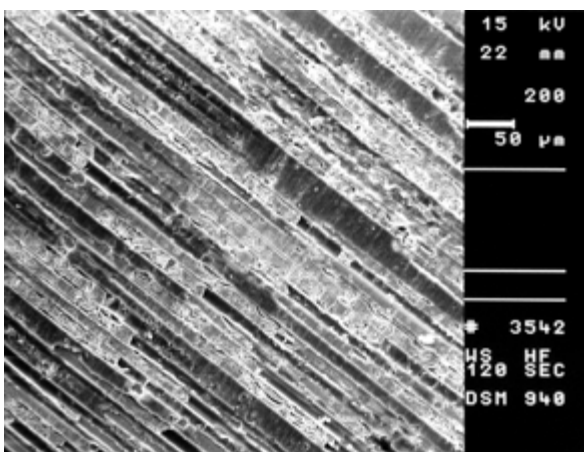
**Abb. 18d:**  
FRC-Stift 60 Sek. mit HF konditioniert (500-fach vergrößert)



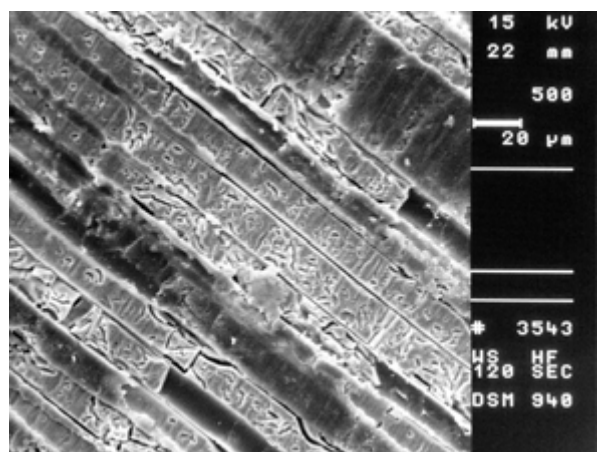
**Abb. 19a:**  
FRC-Stift 120 Sek. mit HF konditioniert (50-fach vergrößert)



**Abb. 19b:**  
FRC-Stift 120 Sek. mit HF konditioniert (100-fach vergrößert)



**Abb. 19c:**  
FRC-Stift 120 Sek. mit HF konditioniert (200-fach vergrößert)



**Abb. 19d:**  
FRC-Stift 10 Sek. mit HF konditioniert (500-fach vergrößert)



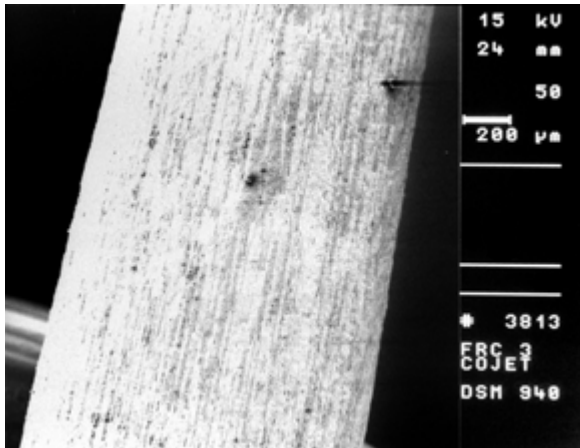
**d)** Die tribochemische Beschichtung erfolgte mit dem CoJet-System (3M Espe) (Abb. 20). Es besteht aus dem CoJet-Sand, einem Gemisch aus  $30\ \mu\text{m}$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  und  $\text{SiO}_2$ , das neben einer Korundstrahlung eine Silikatisierung erzeugt. Dieser Sand wurde mit Hilfe eines Handstrahlgerätes (Rondoflex, KaVo, Biberach, Abb. 21) aufgebracht, das mittels eines Adapters auf den Turbinenanschluss der zahnärztlichen Einheit betrieben wird. Der CoJet-Sand wurde mit 2,8 Bar aus 1 cm Distanz, unter Rotation des Stiftes, ca. 5 Sek. bestrahlt, bis die gesamte Oberfläche des FRC-Stiftes eine hellere, matte Farbe aufwies. In den Abb. 22a-d sind die silikatisierten Stiftoberflächen rasterelektronenmikroskopisch dargestellt. Anschließend wurde die Silanlösung Espe Sil (3M Espe) auf die konditionierte Stiftoberfläche aufgespritzt. Die Trocknungszeit betrug 60 Sek. Wie Vorversuche gezeigt haben, hätte eine längere Bestrahlung viel Matrix aus den Stiften gelöst und die Glasfasern beschädigt.



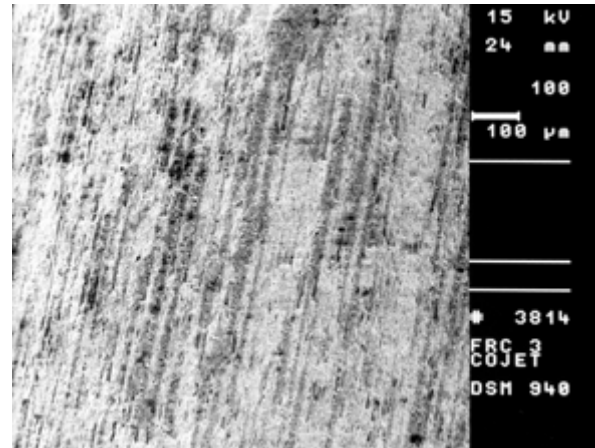
**Abb. 20:** CoJet®-System



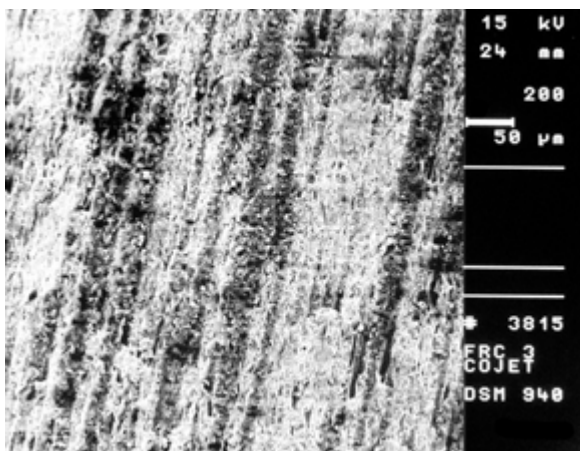
**Abb. 21:** RONDO flex 2013-Handstrahlgerät (Kavo)



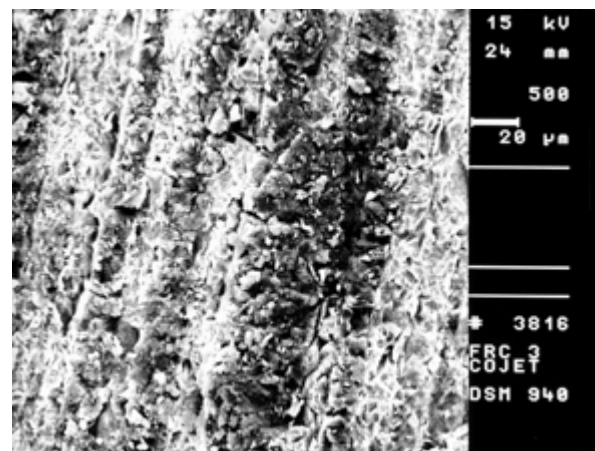
**Abb. 22a:**  
FRC-Stift mit CoJet beschichtet (50-fach vergrößert)



**Abb. 22b:**  
FRC-Stift mit CoJet beschichtet (100-fach vergrößert)



**Abb. 22c:**  
FRC-Stifte mit CoJet beschichtet (200-fach vergrößert)



**Abb. 22d:**  
FRC-Stifte mit CoJet beschichtet (500-fach vergrößert)

### 4.3 Versuchsdurchführung

Für die vorliegende Untersuchung wurden 250 einwurzelige, frisch extrahierte, kariesfreie menschliche Zähne der zweiten Dentition verwendet. Die Zähne wurden bis zur Verwendung in 0,9%iger physiologischer Kochsalzlösung gelagert. Die klinische Zahnkrone wurde im rechten Winkel zur Zahnachse mit dem Trennschleifsystem mit Kühleinheit (EXAKT Trennschleifsysteme, Norderstedt) abgetrennt, um einen axialen Abzug der Stifte in der Abzugsmaschine zu gewährleisten. Es wurde darauf geachtet, dass die Zähne nicht endodontisch behandelt waren und einen gerade verlaufenden Wurzelkanal mit rundem Querschnitt besaßen. Die Wurzeln wurden so ausgewählt, dass der Wurzelkanaldurchmesser initial für die 200 Wurzeln der endgültigen Kanalgröße der

Größe ISO 90 nicht größer als ISO 50 war und die für die endgültige Kanalgröße ISO 110 nicht größer als initial ISO 90 war. Die Kanallänge betrug mindestens 14 mm. Eine Überinstrumentierung wurde mittels Gummistoppfern auf den Feilen, die auf die entsprechenden Tiefen eingestellt waren, vermieden. Die Aufbereitung der Wurzelkanäle erfolgte maschinell mit Hedström-Feilen (KaVo Intramatik, Winkelstück mit Endokopf A, KaVo, Biberach) unter Spülung mit NaOCl 1,5%ig nach jeder einzelnen Feilengröße (ISO 15 bis ISO 80) in aufsteigender Reihenfolge bis zum physiologischen Apex. Die Aufbereitung von ISO 80 bis ISO 90 bzw. 110 erfolgte manuell mit Hilfe des jeweiligen Kanalerweiterungsinstruments Größe II bzw. Größe III, welches mit der Tiefenlehre auf eine Arbeitslänge von 12 mm markiert war. Insgesamt wurden 200 Wurzeln auf Stiftgröße II und 50 Wurzeln auf Stiftgröße III aufbereitet.

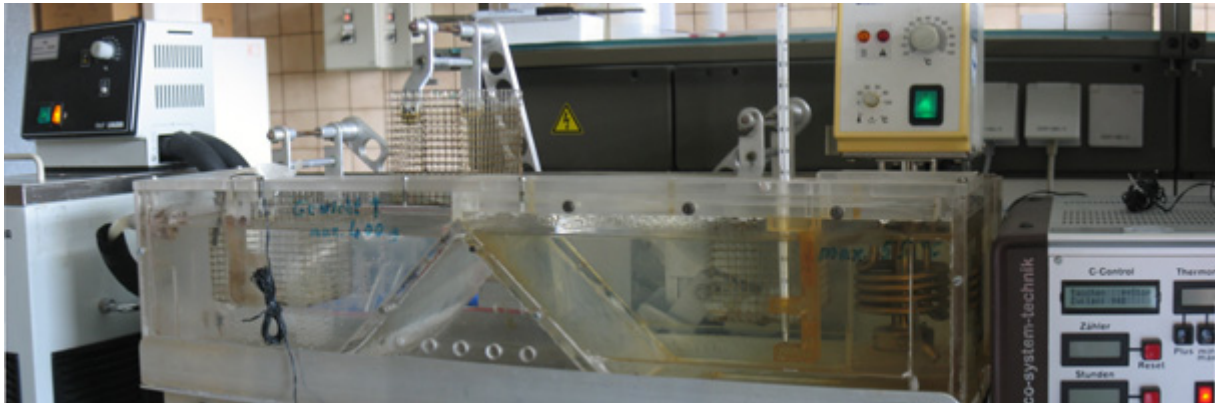
Anschließend wurde die exakte friktive Passung der Stifte in den auf Größe II aufbereiteten Gruppen und ihr Sitz zirkulär im Wurzeldentin überprüft. Zuletzt wurden alle Kanäle mit dem diamantierten Anrauinstrument der Größe II bzw. III durch fünfmalige Rotation manuell angeraut. Während und nach der Präparation wurde der Kanal weiterhin mit NaOCl 1,5%ig gespült. Vor der weiteren Behandlung des Wurzeldentins wurden die Kanäle mit Papierspitzen der Größe ISO 90 getrocknet.

Die 200 Wurzeln der Aufbereitungsgröße II wurden randomisiert den 20 verschiedenen Versuchsgruppen zugeordnet und die 50 Wurzeln der Aufbereitungsgröße III in 5 Gruppen verteilt. Dabei wurden Versuchsgruppen zu je zehn Probekörpern gebildet, die in Tabelle 1/ Seite 31 angegeben sind. Jeweils 250 röntgenopake, glasfaserverstärkte Kompositstifte wurden verwendet. Die verschiedenen Zemente wurden nach Herstellerangaben angemischt und wie beschrieben verarbeitet.

Die Befestigungszemente wurden exakt nach Herstellerangaben von immer derselben Person vorbereitet, dann die Wurzelstiftoberfläche mit Zement beschickt und der Stift leicht pumpend in den Kanal positioniert. Dann wurde der Stift durch festen Fingerdruck (ca. 40 bis 50 N) bis zur Aushärtung fixiert. In die Wurzelkanäle wurde kein Zement appliziert. Nach der Zementierung wurden die Zementüberschüsse um den Stiftschaft entfernt.

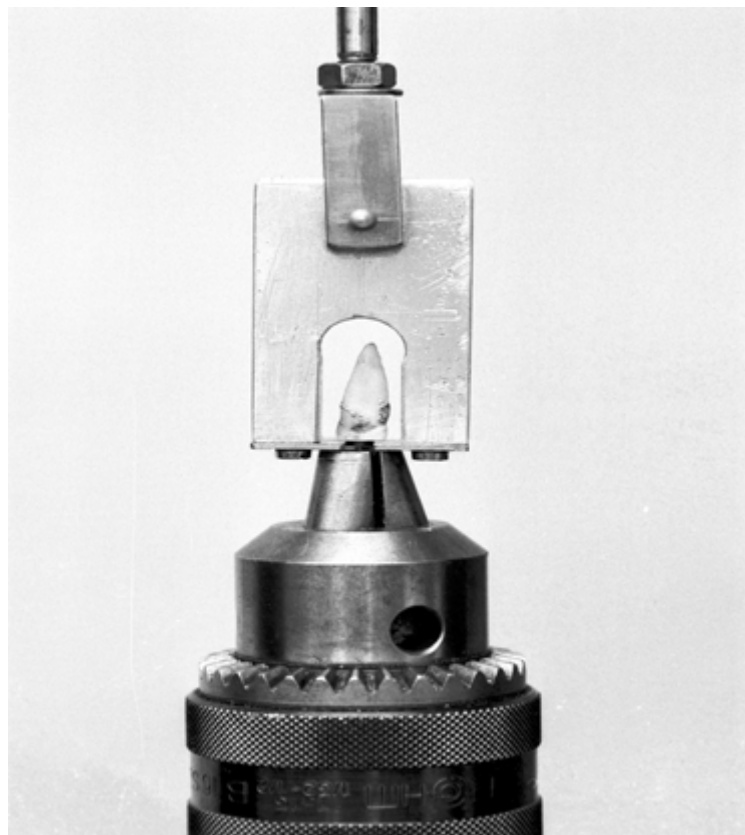
Nach Aushärtung der Zemente wurden die Zähne für 24 h in physiologischer Kochsalzlösung bei 20° C aufbewahrt. Anschließend erfolgte das Thermocycling für alle Proben. Dabei handelt es sich um ein Temperatur-Wechselbad von 5000 Zyklen

zwischen 5° C und 55° C für je 30 Sek. entsprechend ISO 10 477 (Abb. 23). Zwischen den einzelnen Bädern betrug die Abtropfzeit 30 Sek.



**Abb. 23:** Der Transportkorb des Thermocycling ist in den drei Positionen von links: 5° C Bad, Überführung, 55°C Bad dargestellt.

Im Anschluss wurden mit Hilfe einer Zugprüfmaschine nach DIN 51 221 der Marke Instron, Typ >>1026<< (Mass., USA), die Abzugsversuche durchgeführt.



**Abb. 24:** Eingespannter Prüfkörper in der Zugprüfmaschine

Die Wurzel wurde durch die Aussparung eines Metallzylinders an einem Ende der Haltevorrichtung eingehängt und der Schaft des Stiftes durch eine Spannzange am

anderen Ende arretiert (Abb. 24). Anschließend wurde nach ISO/TS 11405 eine Feder mit einer ständig steigenden Belastung von 50 N/min und mit einer Geschwindigkeit von 0,5 mm/min in axialer Richtung ausgelenkt. Die Abzugskraft, welche nötig war, um den Stift von dem Wurzelkanal abzulösen, wurde in Newton gemessen.

Die Bruchmodalitäten der Zemente wurden nach Versagen des Zementverbundes an den herausgelösten Stiften und den Zahnwurzeln untersucht. Die Wurzeln wurden dafür nach Entfernung des Stiftes axial längs halbiert (EXAKT Trennschleifsysteme). Die Wurzelhälften und die Stiftoberflächen wurden im Auflichtmikroskop (Stereomikroskop SV 8 Zeiss, Oberkochen) bei 10- bis 16-facher Vergrößerung betrachtet. Dabei wurde der Bruchverlauf anhand von Zementresten am Stift und am Kanallumen beurteilt.

Die Brucharten wurden wie in Tabelle 4 angegeben in adhäsive sowie in kohäsive Brüche eingeteilt.

Einteilung der Bruchmodi	Bruchverlauf
Bruchart 1: Adhäsivbruch	Bruchverlauf zwischen Zement und Stift/ Zement adhäsiv im Kanal
Bruchart 2: Adhäsivbruch	Bruchverlauf zwischen Zement und Dentin/ Zement adhäsiv am Stift
Bruchart 3: Kohäsivbruch	Bruchverlauf innerhalb der Zementschicht

**Tab. 4:** Einteilung der Bruchverläufe

#### 4.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem SPSS/PC-Version-Programm 14.0. Statistisch signifikante Differenzen wurden mit dem ANOVA-Verfahren und den Scheffé-Korrekturen auf einen Signifikanzniveau von  $\alpha = 0,05$  berechnet.



## 5 Ergebnisse

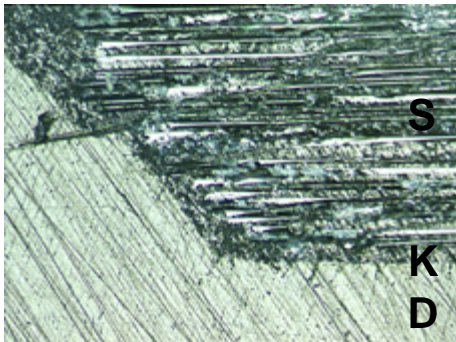
---

### 5.1 Ergebnisse des Verbundes zwischen FRC-Stift, Zement und Wurzelkanaloberfläche

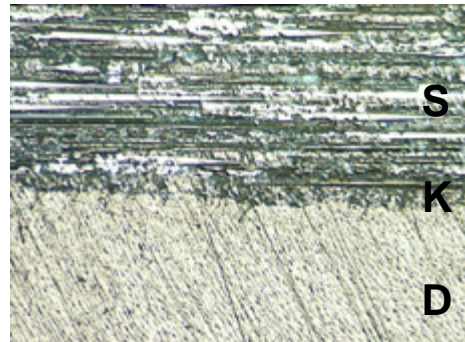
#### 5.1.1 Betrachtung des Zementspaltes vor dem Abzugsversuch

In den folgenden Abbildungen ist der Zementspalt zwischen FRC-Stift und Wurzelentin in einem passenden Kanal (Abb. 25a-d) und in einem Kanal der ISO-Größe 110 (Abb. 26a-d) dargestellt. Im passenden Kanal ist der Kunststoff-Dentin-Verbund mit der angerauten Dentineoberfläche zu erkennen (Abb. 25c). In Abb. 26a-b ist die breite Zementfuge dargestellt, zusätzlich sind in Abb. 26c die Dentinkanälchen sichtbar.

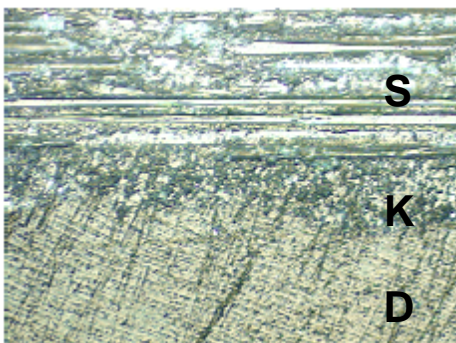
#### a) im passenden Kanal der ISO- Größe 90



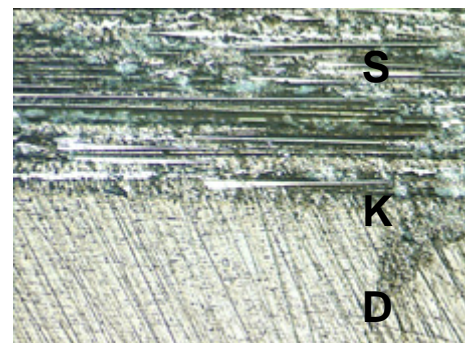
**Abb.25a:** Apikaler Ausschnitt eines FRC Stiftes in einem passenden Kanal (50-fach vergrößert). Horizontal ist der Glasfaserverlauf abgebildet. (D-Dentin, K-Komposit, S-Stift)



**Abb. 25b:** Mittlerer koronaler Ausschnitt eines FRC-Stiftes in einem passenden Kanal (50-fach vergrößert). (D-Dentin, K-Komposit, S-Stift)

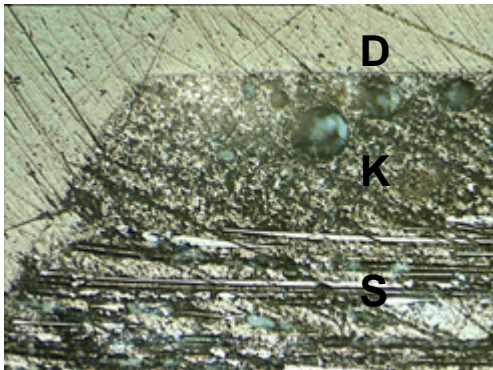


**Abb.25c:** Mittlerer koronaler Ausschnitt eines FRC-Stiftes in einem passenden Kanal (50-fach vergrößert). Dargestellt ist der Dentin-Kunststoff-Verbund. (D-Dentin, K-Komposit, S-Stift)

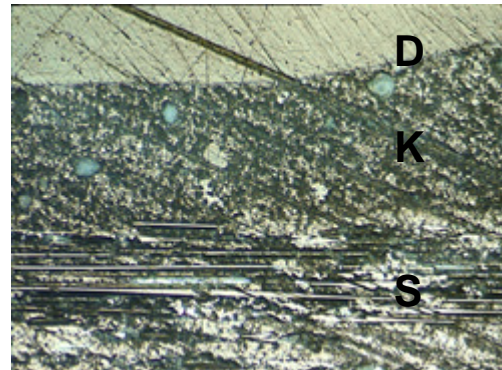


**Abb. 25d:** Koronaler Ausschnitt eines FRC-Stiftes in einem passenden Kanal (50-fach vergrößert) (D-Dentin, K-Komposit, S-Stift)

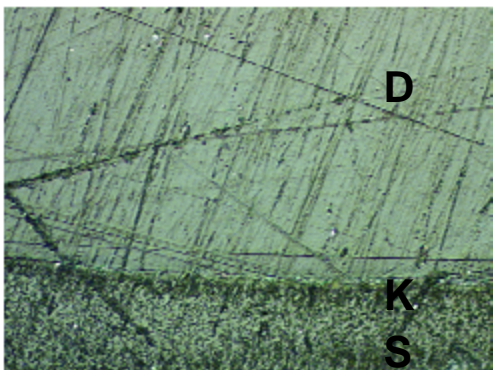
**b) im Kanal der ISO-Größe 110**



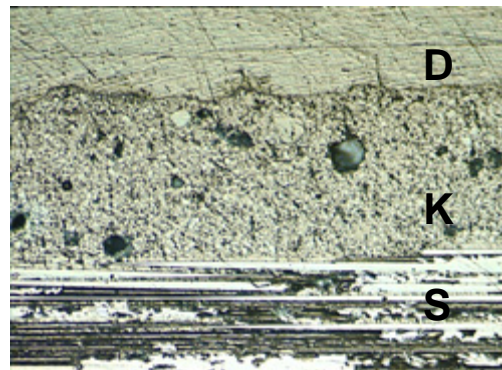
**Abb. 26a:** Apikaler Ausschnitt eines FRC Stiftes in einem Kanal der ISO Größe 110.  
Der breite Zementspalt ist dargestellt.  
(50-fach vergrößert)  
(D-Dentin, K-Komposit, S-Stift)



**Abb. 26b:** Mittlerer apikaler Ausschnitt eines FRC-Stiftes in einem Kanal der ISO Größe 110.  
(50-fach vergrößert)  
D-Dentin, K-Komposit, S-Stift)



**Abb. 26c:** Mittlerer apikaler Ausschnitt.  
Dargestellt ist der Verlauf der Dentinkanälchen.  
(50-fach vergrößert)  
(D-Dentin, K-Komposit, S-Stift)



**Abb. 26d:** Koronaler Ausschnitt des einzementierten FRC-Stiftes in einem zu großen Kanal.  
Die angeraute Dentinoberfläche ist charakteristisch.  
50-fach vergrößert)  
(D-Dentin, K-Komposit, S-Stift)

## 5.1.2 Betrachtung im Lichtmikroskop nach dem Abzugsversuch

	Bruchart 1	Bruchart 2	Bruchart 3
RelyX Unicem ohne Konditionierung	1	0	9
RelyX Unicem mit Silan	2	0	8
RelyX Unicem mit HF	3	0	7
RelyX Unicem mit CoJet	3	0	7
RelyX Unicem im Kanal der ISO-Größe 110	2	0	8
Build-It ohne Konditionierung	3	1	6
Build-It mit Silan	0	2	8
Build-It mit HF	3	1	6
Build-It mit CoJet	0	0	10
Build-It im Kanal der ISO-Größe 110	10	0	0
Calibra ohne Konditionierung	4	0	6
Calibra mit Silan	0	0	10
Calibra mit HF	1	0	9
Calibra mit CoJet	0	0	10
Calibra im Kanal der ISO-Größe 110	2	0	8
MultiCore Flow ohne Konditionierung	7	2	1
MultiCore Flow mit Silan	6	0	4
MultiCore Flow mit HF	10	0	0
MultiCore Flow mit CoJet	0	0	10
MultiCore Flow im Kanal der ISO-Größe 110	10	0	0
Rebilda mit AdheSE ohne Konditionierung	10	0	0
Rebilda mit AdheSE mit Silan	2	2	6
Rebilda mit AdheSE mit HF	0	1	9
Rebilda mit AdheSE mit CoJet	0	0	10
Rebilda mit AdheSE im Kanal der ISO-Größe 110	9	0	1

**Tab. 5:** Bruchmodalitäten

Bruchart 1: Adhäsivbruch, Bruch zwischen Zement und Stift

Bruchart 2: Adhäsivbruch, Bruch zwischen Zement und Dentin

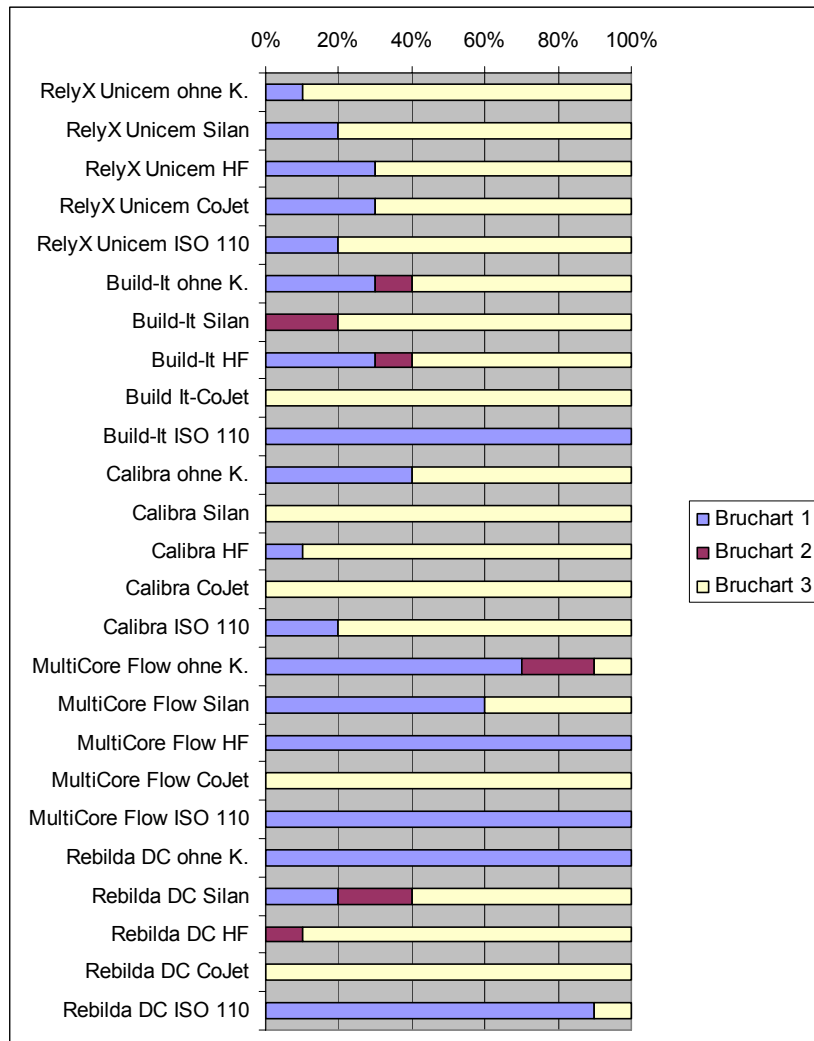
Bruchart 3: Kohäsivbruch

Nach dem Versagen des Zementverbundes wurden die herausgelösten Stifte und die Zahnwurzeln auf die Bruchmodalität des Zementes untersucht. Die halbierten Wurzeln wurden im Auflichtmikroskop betrachtet. Dabei wurde der Bruchverlauf anhand von Zementresten am Stift und am Kanallumen beurteilt.

Die Bruchmodi wurden in adhäsive Brüche und kohäsive Brüche eingeteilt (Tab. 4 und 5, Abb. 27).

RelyX Unicem wies mit allen Konditionierungsmethoden hauptsächlich kohäsive Bruchmodi, zum Teil auch Adhäsivfrakturen zwischen Stift und Zement auf (Abb. 27, 29-33)





**Abb. 27:** Bruchmodalitäten

FRC-Stifte, die tribochemisch vorbehandelt und mit Build-It eingesetzt wurden, zeigten zu 100% einen kohäsiven Bruchverlauf (Abb. 27 und 35-39), wohingegen die FRC-Stifte in Kanälen der ISO 110 zu 100% einen adhäsiven Bruchmodus an der Stiftoberfläche aufwiesen. Alle anderen Konditionierungsmethoden zeigten adhäsive und kohäsive Brüche gemischt auf.

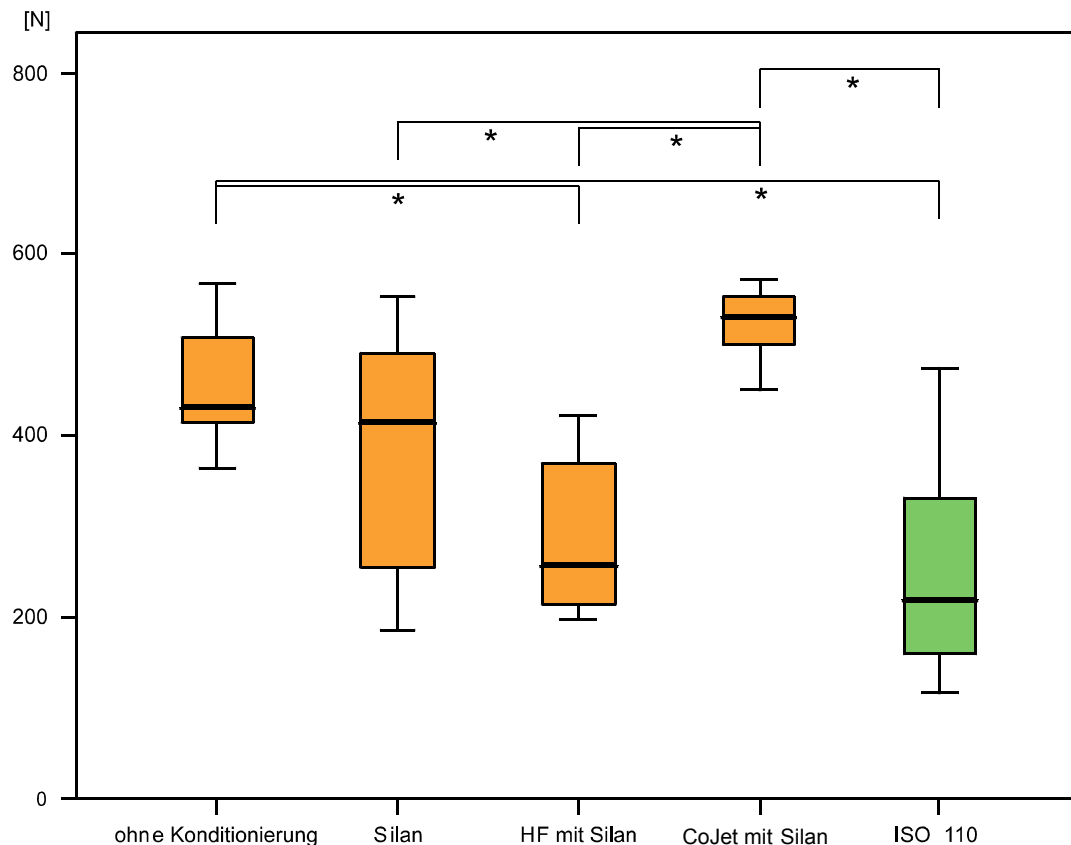
Alle Konditionierungsmethoden der FRC-Stifte, die mit Calibra eingesetzt wurden, führten mindestens zu 60% zu kohäsiven Brüchen (Abb. 27 und 41-45).

Die mikroskopische Betrachtung zeigte für MultiCore Flow bis auf die FRC-Stifte, die tribochemisch vorbehandelt wurden, dass der Zement meistens adhäsiv an der Kanalwand haften blieb. Alle FRC-Stiften, die mit CoJet beschichtet wurden, wiesen einen kohäsiven Bruch auf, d. h., der Bruchverlauf verlief innerhalb der Zementschicht (Abb. 27 und 47-51).

Rebilda DC mit AdheSE wies ohne Konditionierung im passenden Kanal zu 100%, als auch im Kanal der ISO-Größe 110 zu 90% einen adhäsiven Bruchmodus auf. Der Zement klebte adhäsiv im Kanal (Abb. 53 und 57). Die Schwachstelle lag zwischen dem Stift und dem Zement. Mit Flusssäure zeigten 9 von 10 FRC-Stiften und mit tribochemischer Stiftoberflächenbehandlung 10 von 10 meist einen kohäsiven Bruchmodus, d. h., die Schwachstelle lag im Zement, während nach Silanisierung die Bruchmodalitäten gemischt waren (Abb. 54-56).

## 5.2 Haftfestigkeiten der einzelnen Zemente

### 5.2.1 RelyX Unicem

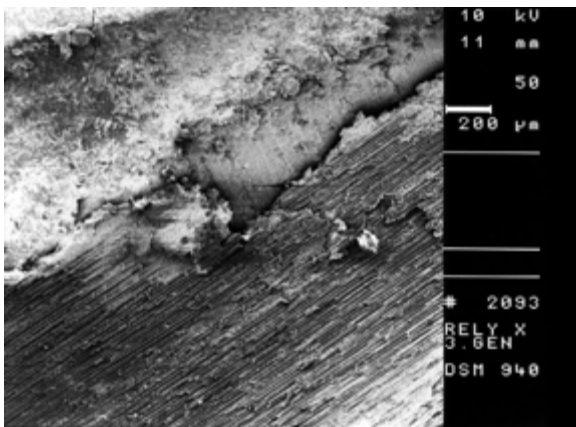


**Abb. 28:** Abzugsfestigkeiten der verschiedenen Stiftgruppen mit RelyX Unicem und die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

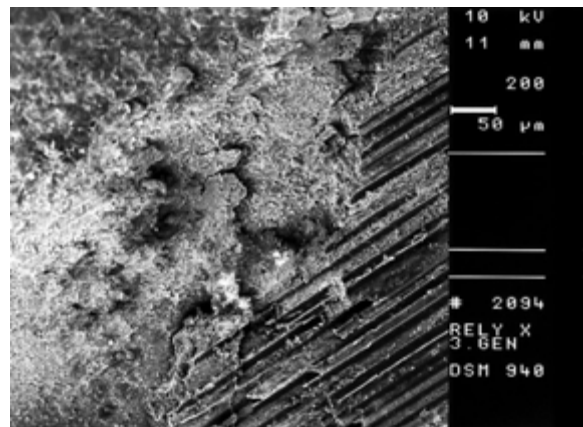
FRC-Stifte die keine Konditionierung erhalten hatten, silanisiert wurden oder mit CoJet und Silan behandelt wurden, zeigten mit RelyX Unicem Haftfestigkeitswerte über 400 N. Haftwerte um 200 N präsentierten sich bei flusssäurebehandelten Stiften

oder bei denen, die in Kanälen der ISO-Größe 110 eingeklebt wurden (Abb. 28). Unkonditionierte FRC-Stifte hafteten gegenüber denen, die mit Flusssäure behandelt oder in einen Kanal der ISO-Größe 110 eingesetzt wurden, signifikant besser. Die höchsten Haftfestigkeitswerte zeigten sich bei FRC-Stiften, die tribochemisch behandelt wurden. Signifikant schlechtere Haftfestigkeitswerte zeigten sich im Vergleich zu den tribochemisch behandelten Stiften mit silanisierten oder flusssäurevorbehandelten Stiften oder solchen, die in zu weite Kanäle eingebracht wurden. RelyX Unicem wies mit allen Konditionierungsmethoden hauptsächlich kohäsive Bruchmodi, zum Teil auch Adhäsivfrakturen zwischen Stift und Zement auf. Diese gemischten Bruchmodi sind in den Abb. 29 bis 32 zu sehen. Der Zement klebte sowohl an der Kanaloberfläche (z. B. Abb. 29, 31) als auch zum Teil an der Stiftoberfläche z. B. Abb. 30, 31), sodass auch adhäsive und kohäsive Mischfrakturen auftraten. Ein typisch kohäsiver Bruch ist in Abb. 31 gezeigt. In den Abb. 30a, 31a und 32a sind die durch das Aufrauinstrument entstandenen Rillen dargestellt.

### RelyX Unicem

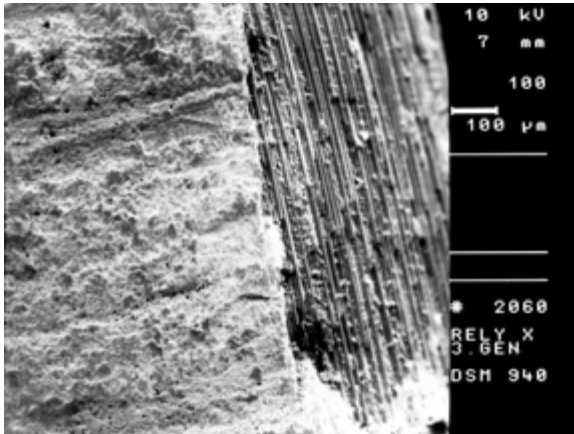


**Abb.29a:** Kanalwand ohne Konditionierung des FRC-Stiftes nach Abzug (50-fach vergrößert)

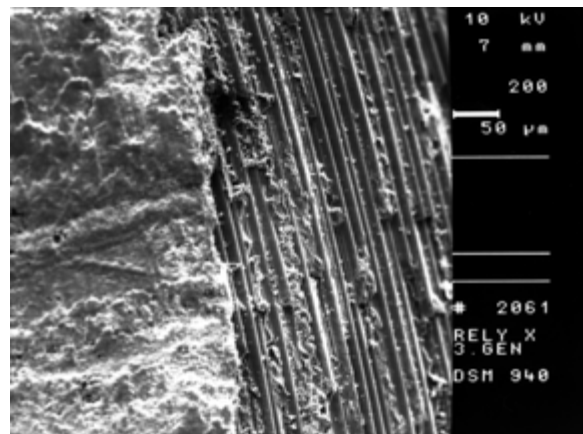


**Abb. 29b:** Kanalwand ohne Konditionierung des FRC-Stiftes nach Abzug (200-fach vergrößert)

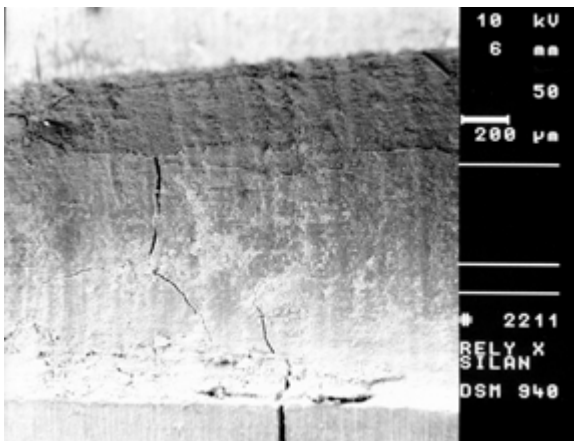
## RelyX Unicem



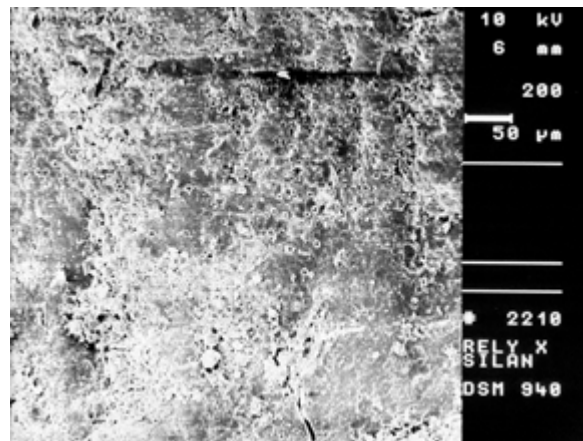
**Abb. 29c:** Unkonditionierte Stiftoberfläche nach Abzug (100-fach vergrößert)



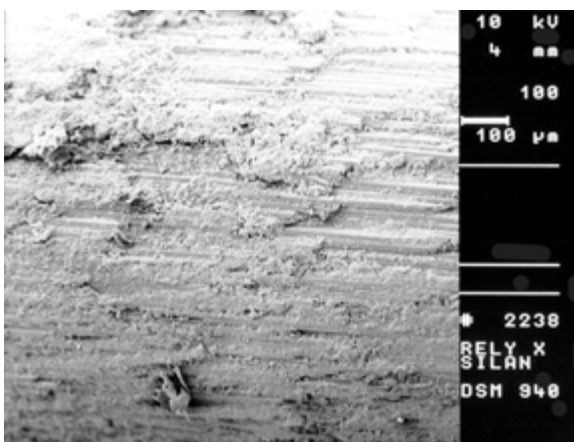
**Abb. 29d:** Unkonditionierte Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)



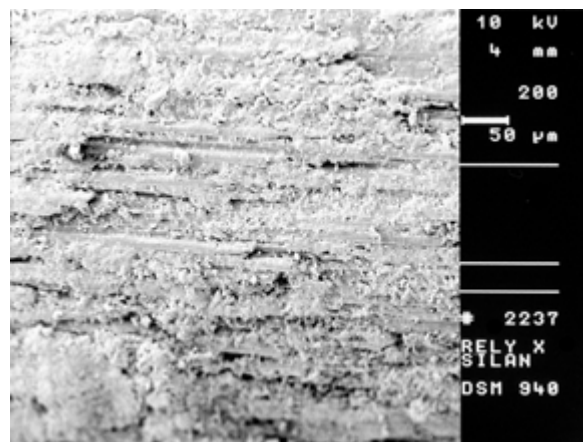
**Abb. 30a:** Kanalwand nach Konditionierung des FRC-Stiftes mit Silan nach Abzug (50-fach vergrößert)



**Abb. 30b:** Kanalwand nach Konditionierung des FRC-Stiftes nach Abzug mit Silan (200-fach vergrößert)

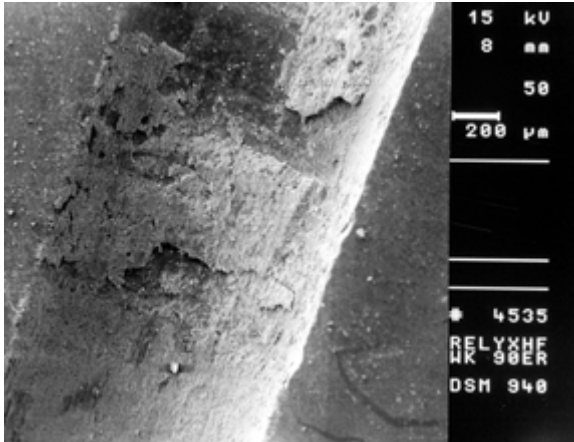


**Abb.30c:** Silanierte FRC-Stiftoberfläche nach Abzug (100-fach vergrößert).

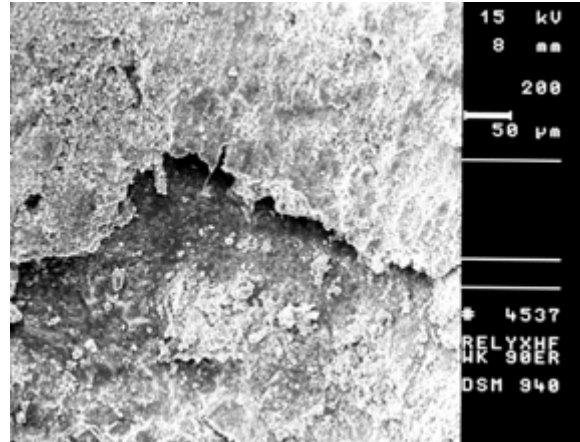


**Abb. 30d:** Silanierte FRC-Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)

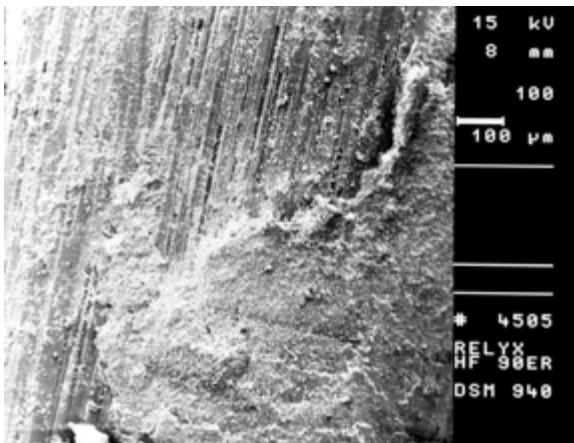
## RelyX Unicem



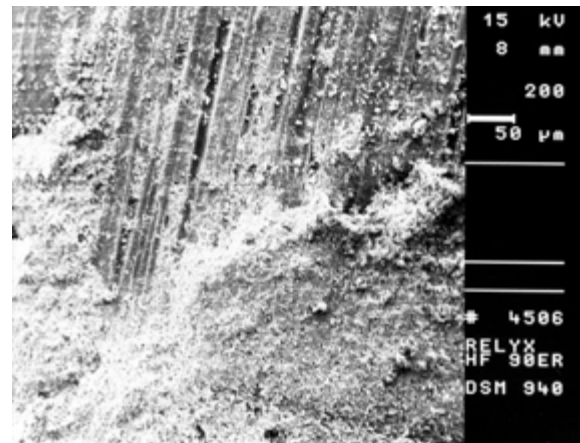
**Abb. 31a:** Kanalwand nach Konditionierung des FRC-Stiftes mit HF nach Abzug (50-fach vergrößert)



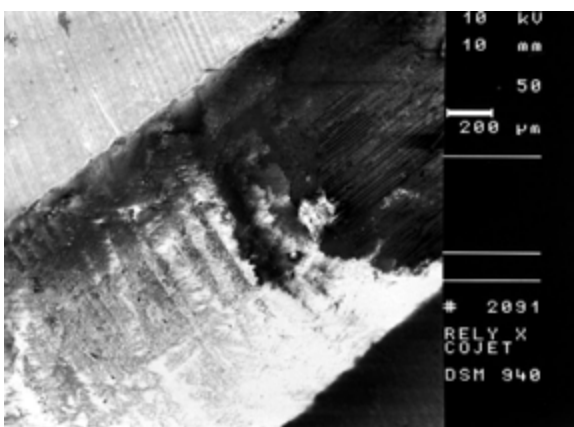
**Abb. 31b:** Kanalwand nach Konditionierung des FRC-Stiftes mit HF nach Abzug (200-fach vergrößert)



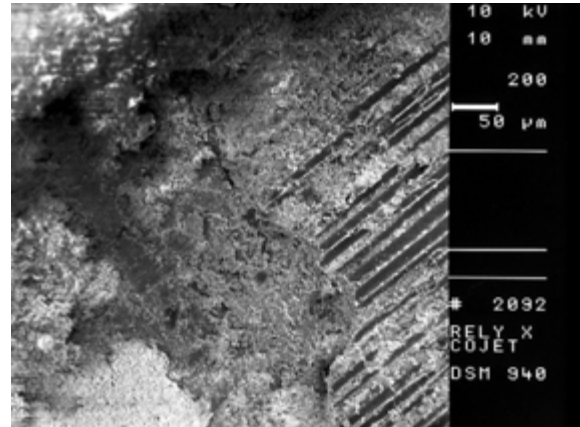
**Abb.31c:** Flusssäurebehandelte FRC-Stiftoberfläche nach Abzug (100-fach vergrößert)



**Abb. 31d:** Flusssäurebehandelte FRC-Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)

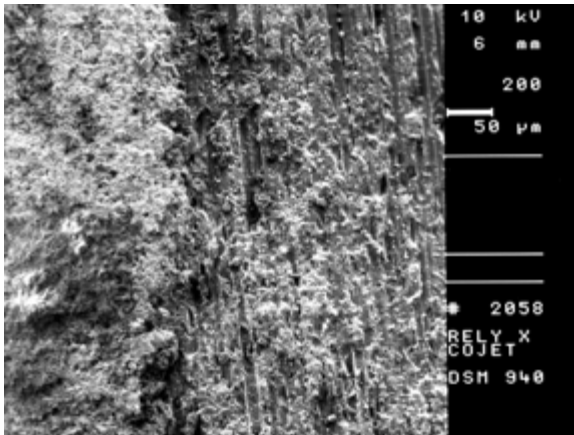


**Abb. 32a:** Kanalwand nach Konditionierung des FRC-Stiftes mit CoJet nach Abzug (50-fach vergrößert)

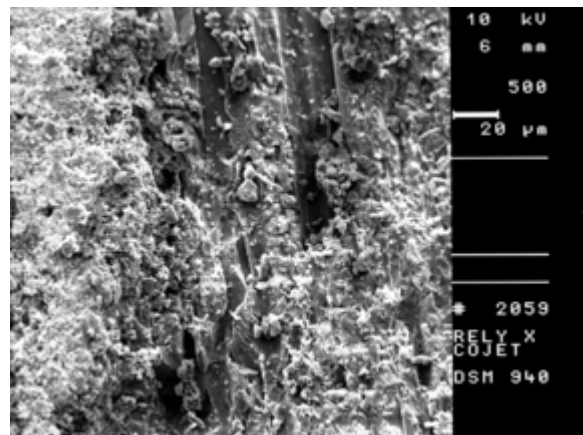


**Abb. 32b:** Kanalwand nach Konditionierung des FRC-Stiftes mit CoJet nach Abzug (200-fach vergrößert)

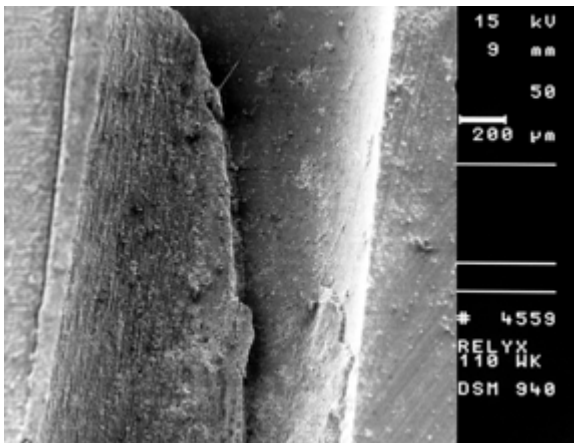
## RelyX Unicem



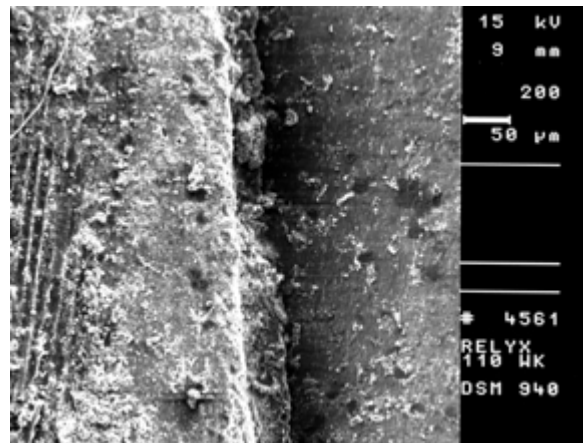
**Abb. 32c:** CoJetbeschichtete Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)



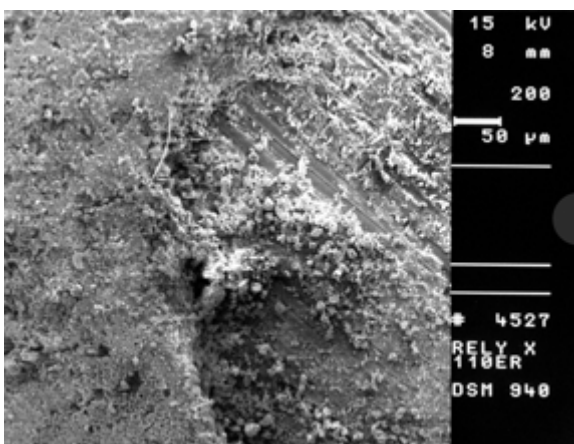
**Abb. 32d:** CoJetbeschichtete Stiftoberfläche nach Abzug (500-fach vergrößert)



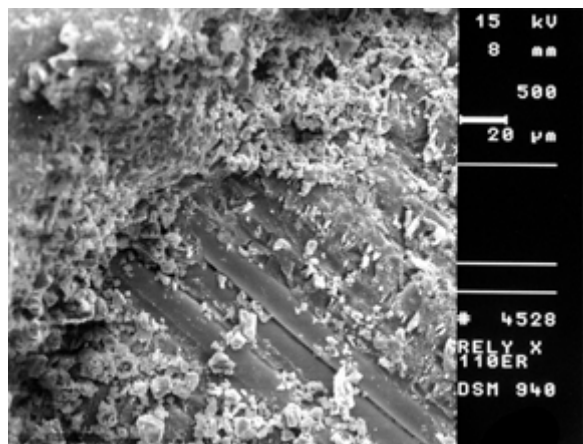
**Abb. 33a:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (50-fach vergrößert).



**Abb. 33b:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (200-fach vergrößert)

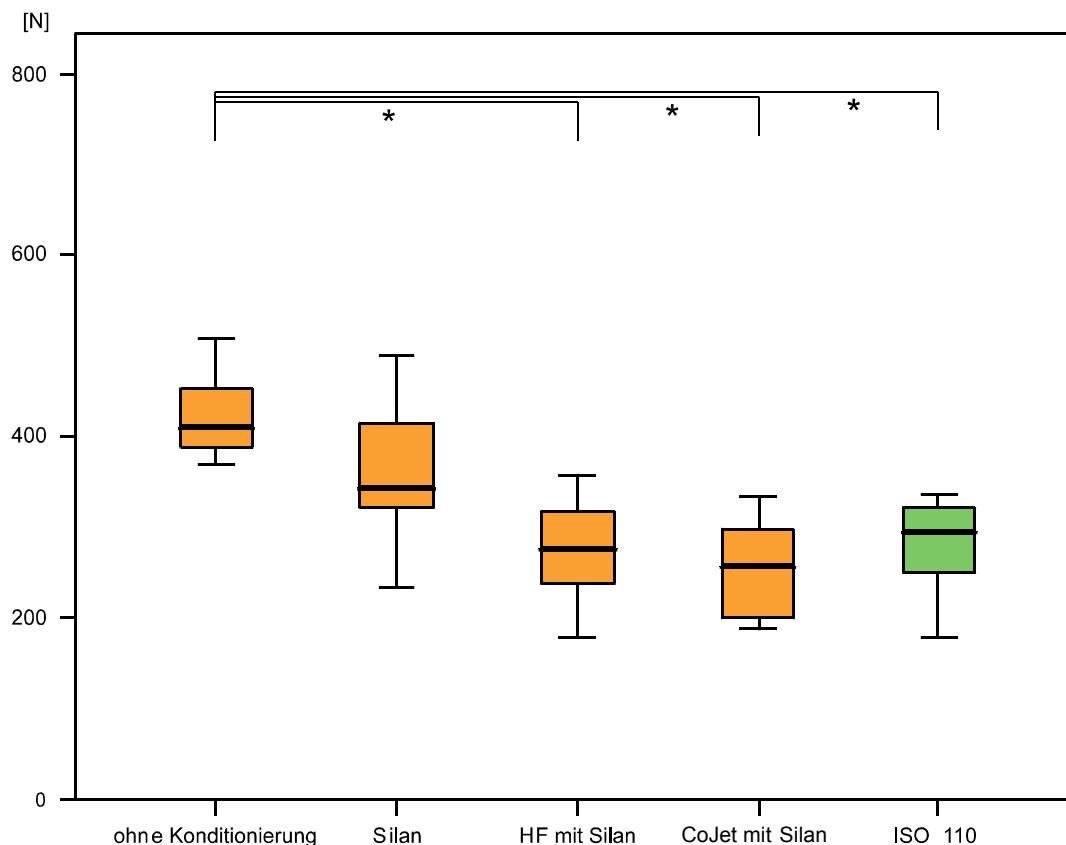


**Abb. 33c:** Stiftoberfläche eines Kanals der ISO-Größe 110 nach Abzug (200-fach vergrößert)



**Abb. 33d:** Stiftoberfläche eines Kanals der ISO-Größe 110 nach Abzug (500-fach vergrößert)

## 5.2.2 Build-It



**Abb. 34:** Abzugsfestigkeiten der verschiedenen Stiftgruppen mit Build-It. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

Die Gruppe der FRC-Stifte, die keine Konditionierung erhalten hatten, zeigten die höchsten Haftfestigkeitswerte um 400 N, gefolgt von den Stiften, die silanisiert wurden (Abb. 34). Die niedrigsten Werte um 300 N wurden mit FRC-Stiften gemessen, die in Kanäle der ISO-Größe 110 eingesetzt wurden oder mit Flusssäure bzw. tribochemisch vorbehandelt wurden. Kein signifikanter Unterschied in den Haftfestigkeitswerten zeigten sich zwischen unkonditionierten Stiften und silanisieren Stiften. Im Vergleich zu unkonditionierten FRC-Stiften wiesen mit Flusssäure und tribochemisch vorbehandelte Stifte und Stifte in zu weiten Kanälen signifikant schlechtere Haftwerte auf. Diese wiederum zeigten keinen signifikanten Unterschied in den Haftwerten untereinander.

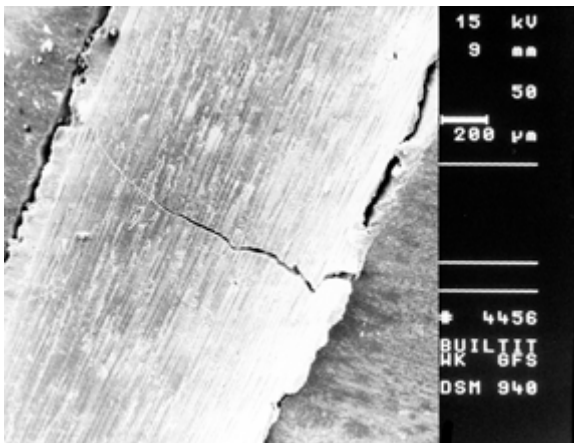
Tribochemisch vorbehandelte FRC-Stifte zeigten als einzige mit Build-It einen rein kohäsiven Bruchverlauf (Abb. 38a-d). Der Zement blieb sowohl an der Kanalwand als auch auf dem Stift kleben. Die Abb. 39 a und b zeigten für den Kanal der ISO-Größe 110 mit adhäsivem Bruchmodus an der Stiftoberfläche, dass z. T. Glasfasern aus



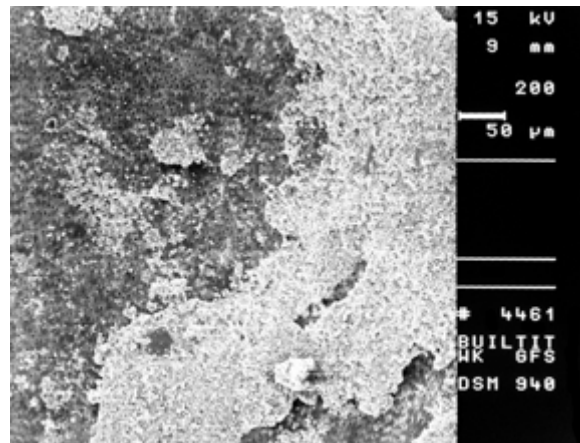
dem Stift mit herausgerissen wurden, die im Zement gefasst sind. Alle anderen Konditionierungsmethoden wiesen adhäsive und kohäsive Brüche gemischt auf (Abb. 35a-d, 36a-c, 37a-c). In Abb. 35b sind zusätzlich zu dem gemischten Bruch die eröffneten Dentinkanälchen zu erkennen.

Die Stiftoberflächen weisen zum Teil eine Zementschicht auf, auf der wiederum die aus den Dentinkanälchen herausgerissenen DentinTags zu erkennen sind (Abb. 37c) und die zum Teil Beschädigungen der oberflächlichen Glasfasern aufweisen (Abb. 39d).

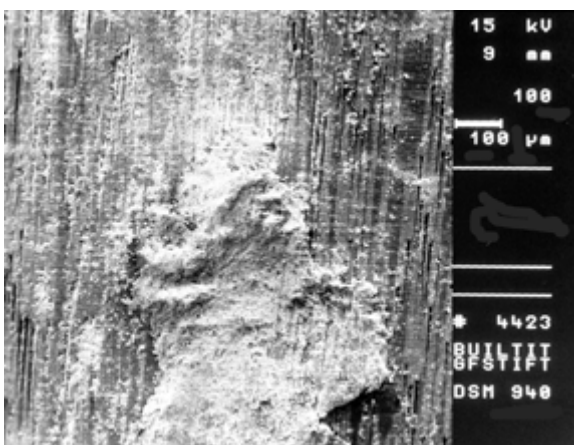
### Build-It



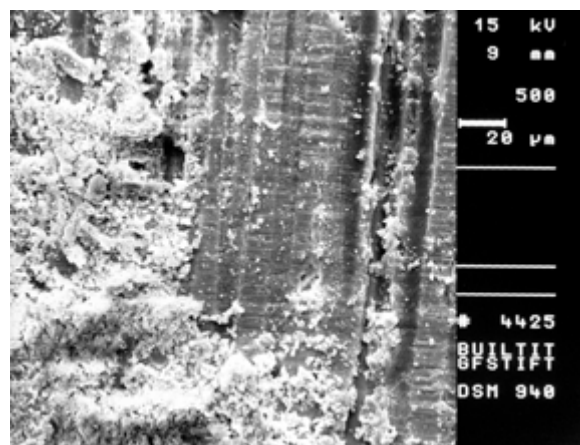
**Abb. 35a:** Kanalwand ohne Konditionierung nach Abzug (50-fach vergrößert)



**Abb. 35b:** Kanalwand ohne Konditionierung nach Abzug (200-fach vergrößert)



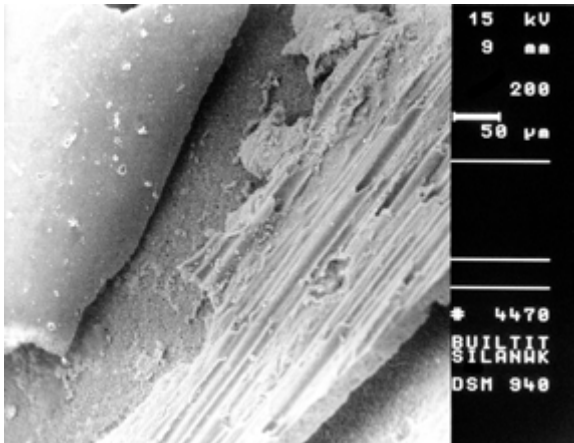
**Abb. 35c:** Stiftoberfläche ohne Konditionierung nach Abzug (100-fach vergrößert)



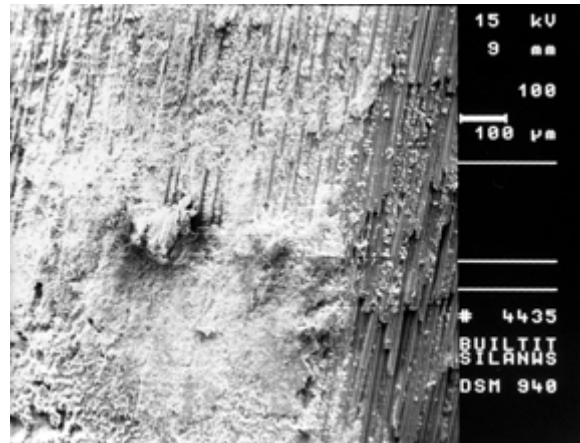
**Abb. 35d:** Stiftoberfläche ohne Konditionierung nach Abzug (500-fach vergrößert)



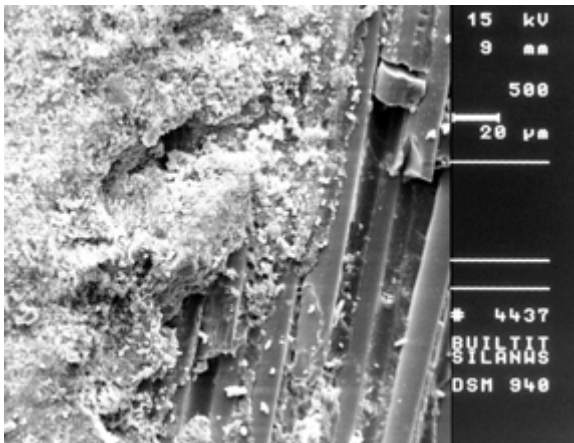
## Build-It



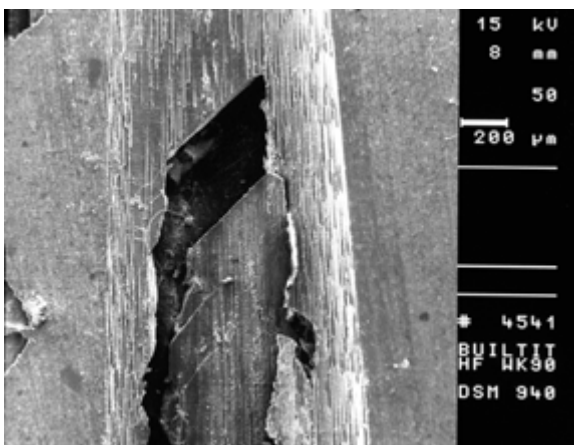
**Abb. 36a:** Kanalwand silanisiert nach Abzug (200-fach vergrößert)



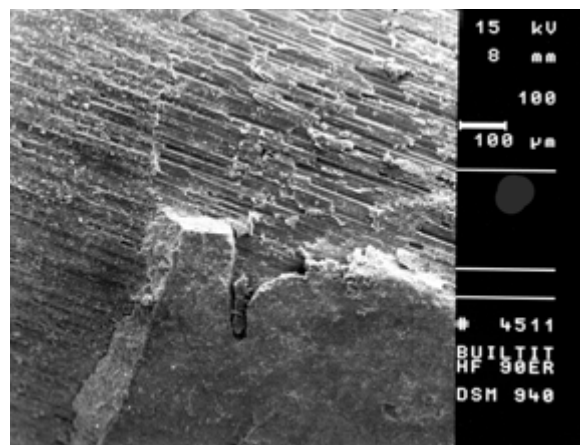
**Abb. 36b:** Stiftoberfläche nach Silanisierung nach Abzug (100-fach vergrößert)



**Abb. 35c:** Stiftoberfläche nach Silanisierung nach Abzug (500-fach vergrößert)

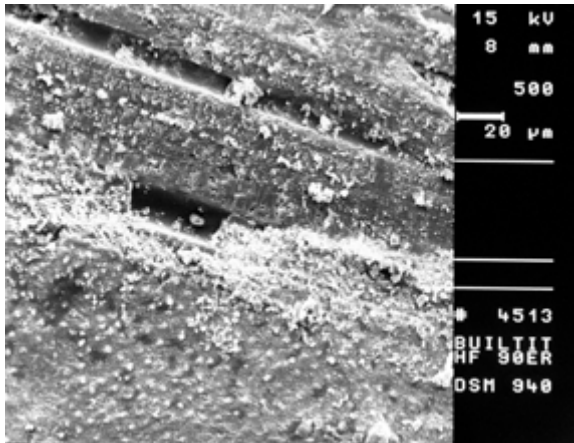


**Abb. 37a:** Kanalwand mit HF konditioniert nach Abzug (50-fach vergrößert)

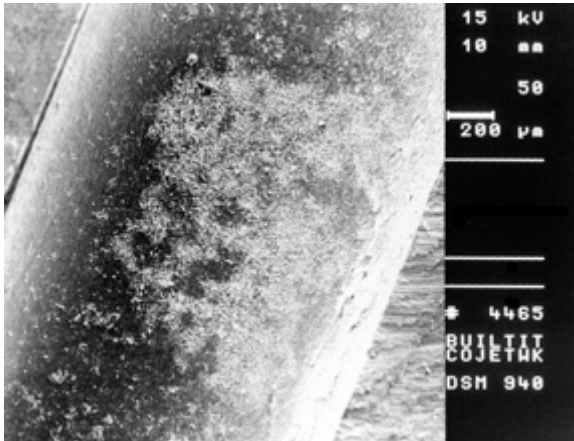


**Abb. 37b:** Stiftoberfläche eines mit Flusssäure behandelten FRC-Stiftes nach Abzug (100-fach vergrößert)

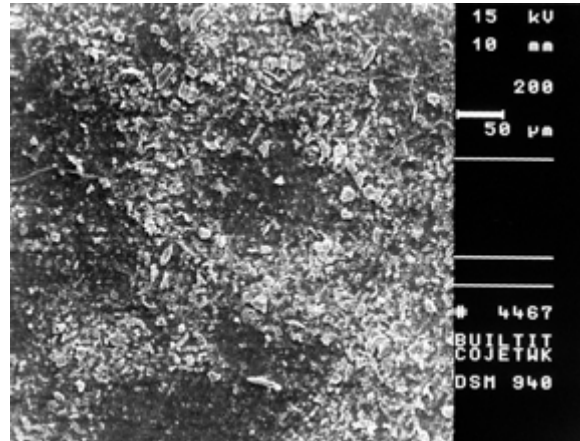
## Build-It



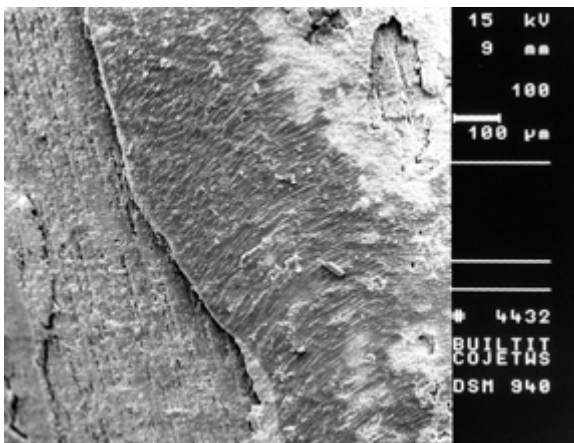
**Abb. 37c:** Stiftoberfläche eines mit Flusssäure behandelten FRC-Stiftes nach Abzug (500-fach vergrößert)



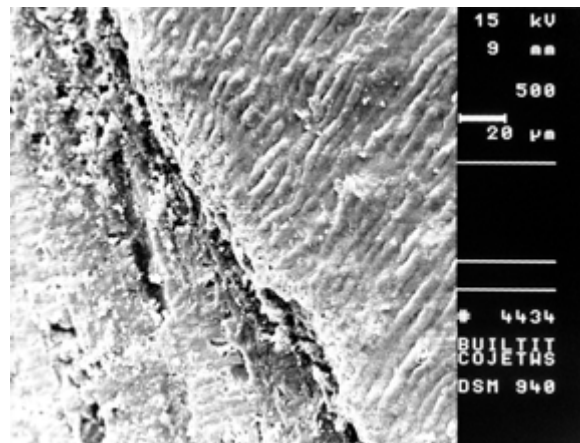
**Abb. 38a:** Kanalwand nach Beschichtung des FRC-Stiftes mit CoJet nach Abzug (50-fach vergrößert)



**Abb. 38b:** Kanalwand nach Beschichtung des FRC-Stiftes mit CoJet nach Abzug (200-fach vergrößert)

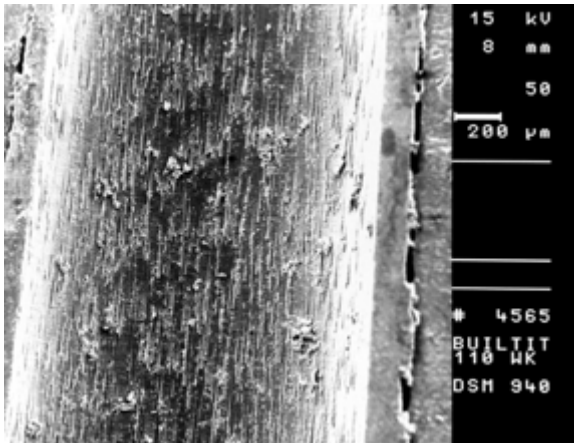


**Abb. 38c:** Stiftoberfläche eines CoJet-behandelten Stiftes nach Abzug (100-fach vergrößert)

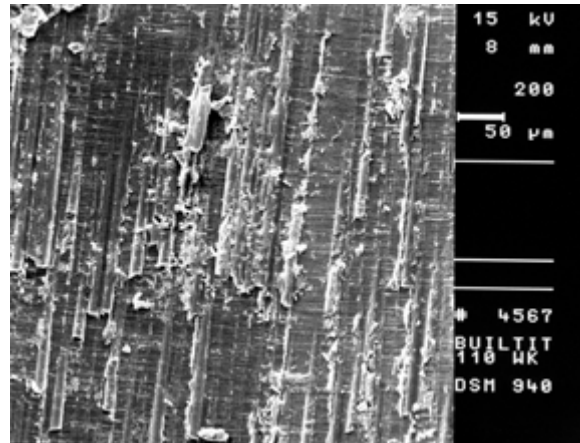


**Abb. 38d:** Stiftoberfläche eines CoJet-behandelten Stiftes nach Abzug (500-fach vergrößert)

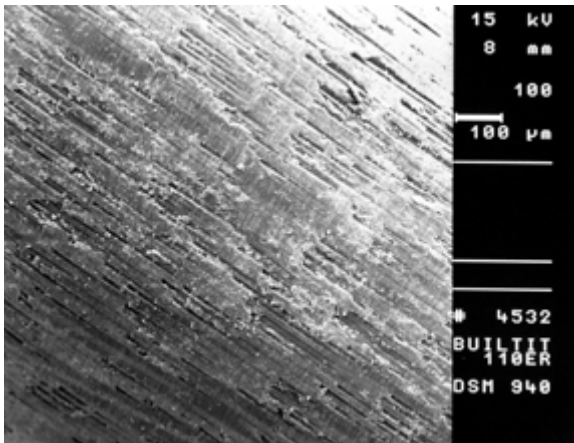
## Build-It



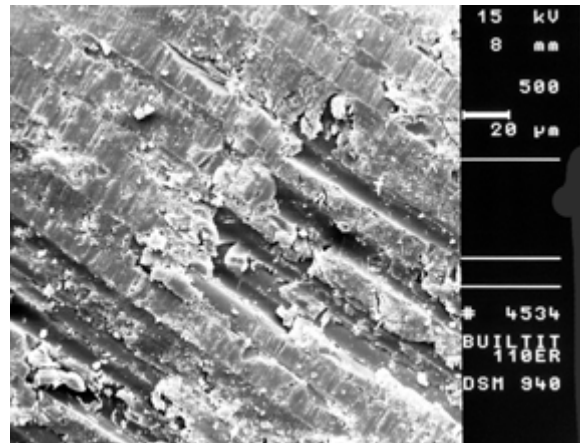
**Abb. 39a:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (50-fach vergrößert)



**Abb. 39b:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (200-fach vergrößert)

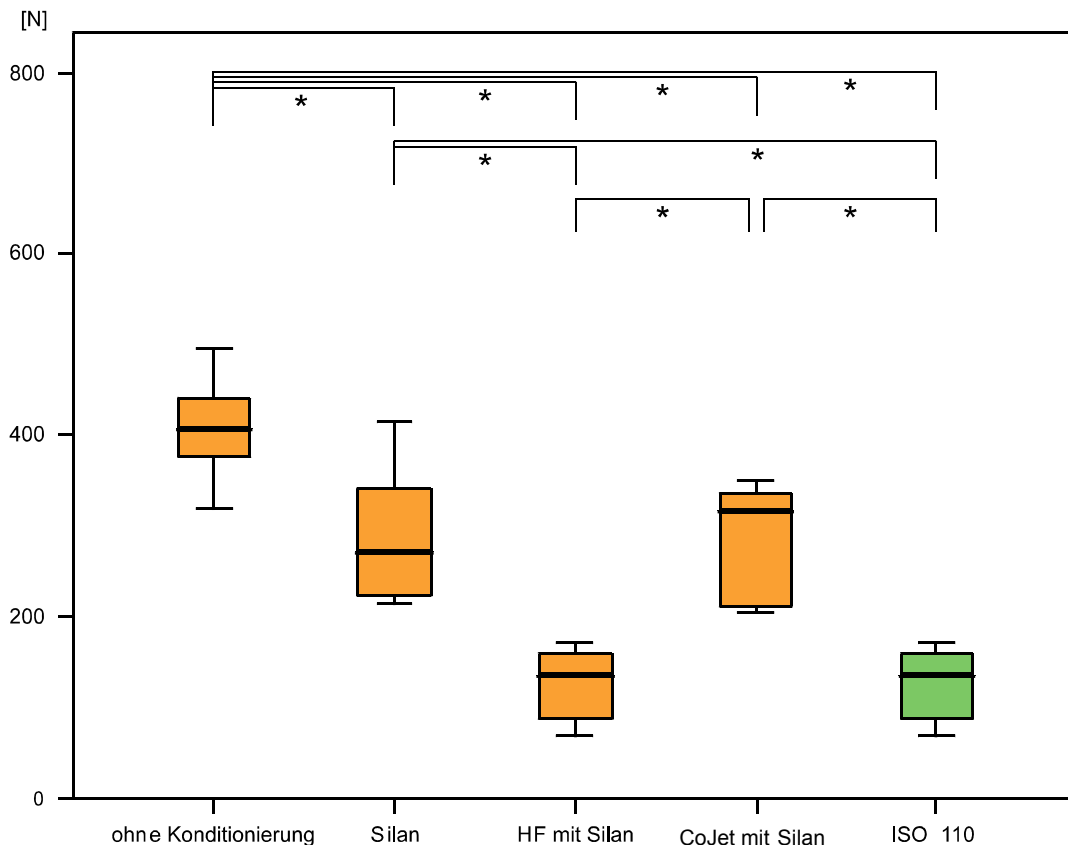


**Abb. 39c:** Stiftoberfläche eines FRC-Stiftes in einem Wurzelkanal der ISO 110 nach Abzug (100-fach vergrößert)



**Abb. 39d:** Stiftoberfläche eines FRC-Stiftes in einem Wurzelkanal der ISO 110 nach Abzug (500-fach vergrößert)

### 5.2.3 Calibra



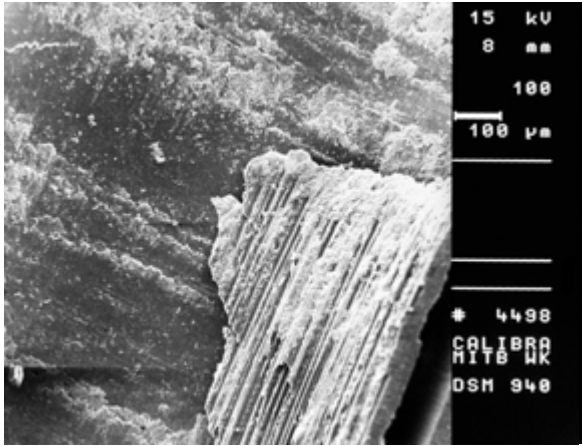
**Abb. 40:** Abzugsfestigkeiten der verschiedenen Stiftgruppen mit Calibra. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

Die höchsten Abzugsfestigkeitswerte um 400 N wurden mit Calibra mit nicht konditionierten FRC-Stiften gemessen (Abb. 40). In abfallender Reihenfolge folgten tribochemisch beschichtete und silanisierte FRC-Stifte mit Werten um 300 N sowie flusssäurevorbehandelte Stifte und FRC-Stifte, die in zu weite Kanäle eingesetzt wurden, mit Werten um 150 N. Die signifikant höchsten Werte ergaben die Stifte ohne Konditionierung im Vergleich zu allen anderen Konditionierungsmethoden. Signifikant höhere Abzugswerte wurden bei silaniserten und tribochemisch behandelten Stiften im Vergleich zu flusssäurevorbehandelten Stiften und Stiften in Kanälen der ISO-Größe 110 gemessen.

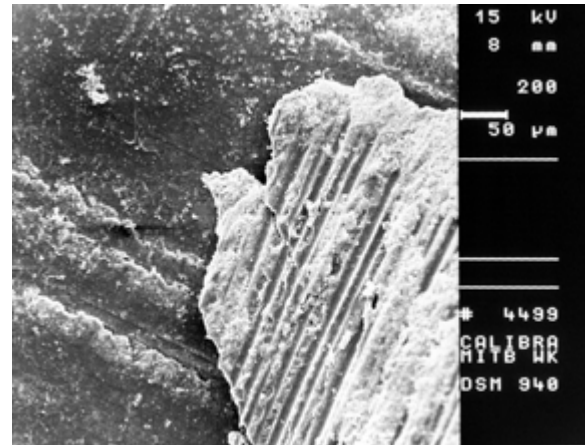
FRC-Stifte, die nach Silanisierung oder tribochemischer Beschichtung mit Calibra eingesetzt wurden, zeigten meist einen kohäsiven Bruchverlauf (z. B. Abb. 42b und c, Abb. 44a-d). In Abb. 44a-b sind zusätzlich noch die weiten Dentinkanälchen zu erkennen. FRC-Stifte ohne oder mit Flusssäure-Konditionierung sowie solche in ISO-

110-Wurzelkanälen wiesen gemischte kohäsive und adhäsiv zwischen Stift und Zement gelegene Bruchmodi auf (Abb. 41a-d, 43a-d, 45a-d).

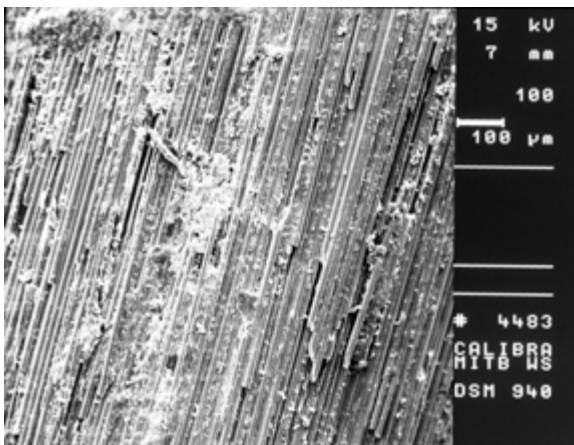
### Calibra



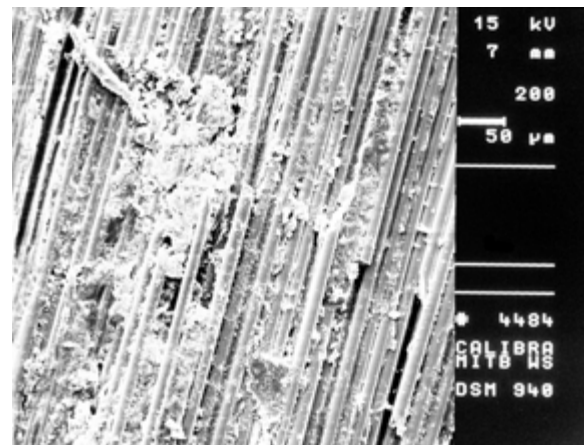
**Abb. 41a:** Kanalwand ohne Konditionierung nach Abzug (100-fach vergrößert)



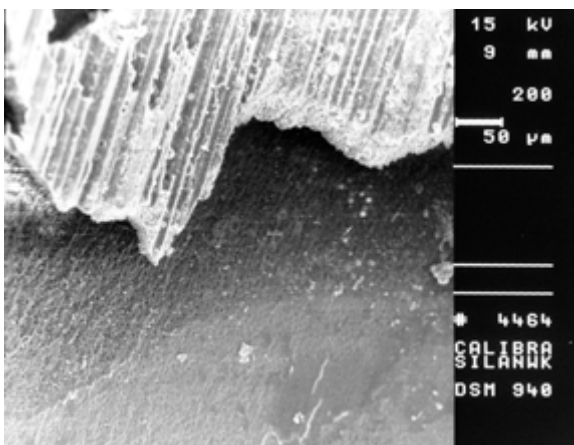
**Abb. 41b:** Kanalwand ohne Konditionierung nach Abzug (200-fach vergrößert)



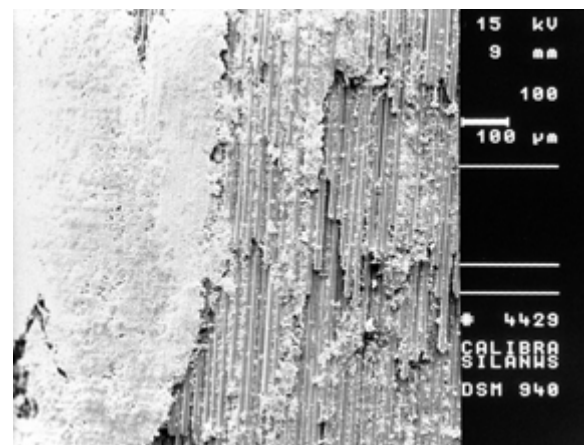
**Abb. 41c:** Stiftoberfläche ohne Konditionierung nach Abzug (100-fach vergrößert)



**Abb. 41d:** Stiftoberfläche ohne Konditionierung nach Abzug (200-fach vergrößert)

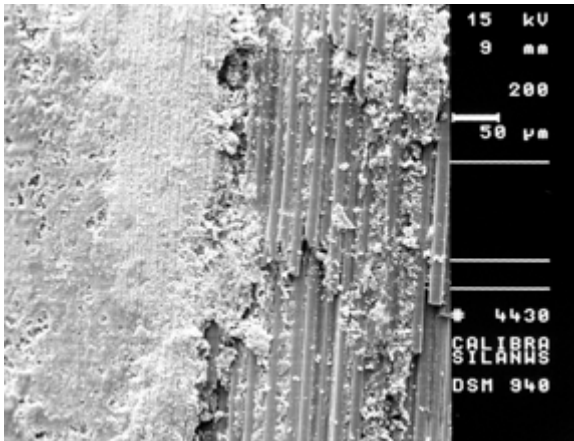


**Abb. 42a:** Kanalwand nach Silanisierung des FRC-Stiftes nach Abzug (200-fach vergrößert)

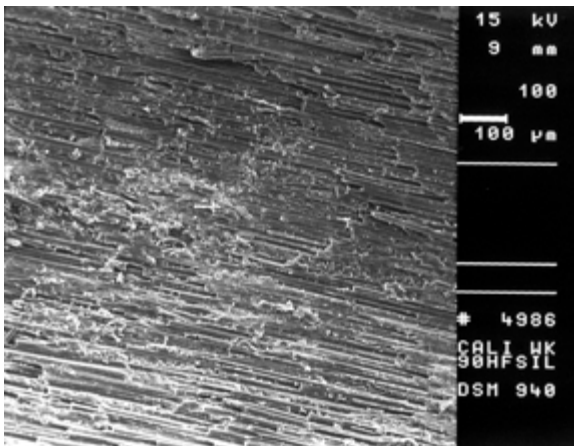


**Abb. 42b:** Silanierte Stiftoberfläche nach Abzug (100-fach vergrößert)

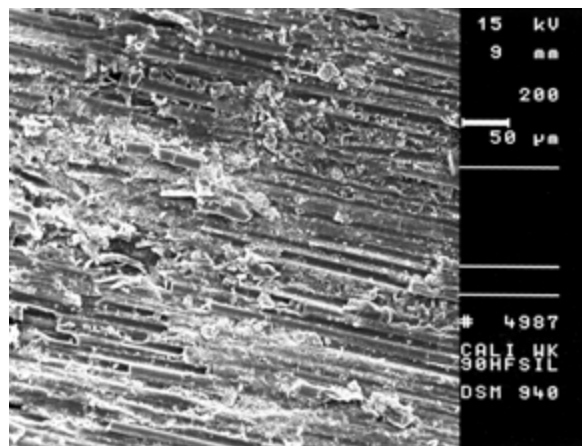
## Calibra



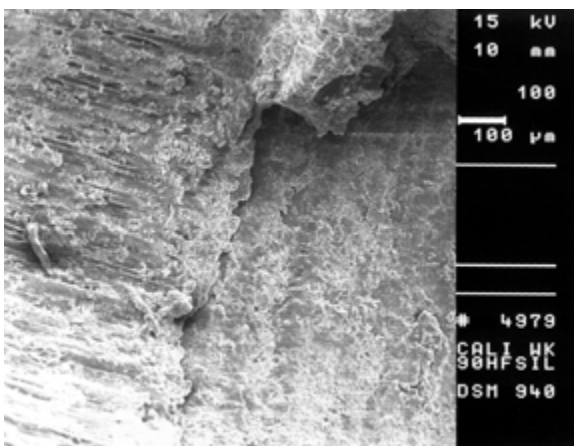
**Abb. 42c:** Silanisierte Stiftoberfläche nach Abzug  
(200-fach vergrößert)



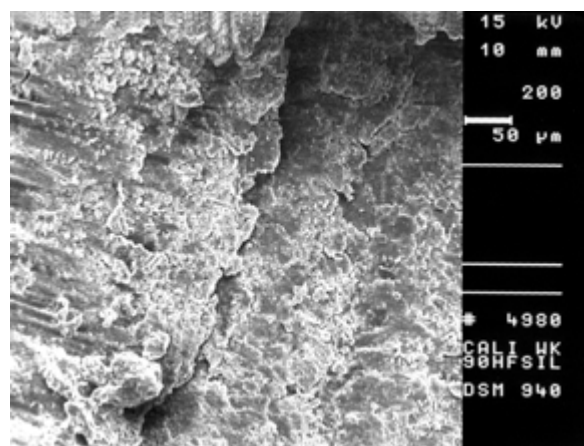
**Abb. 43a:** Kanalwand nach Flusssäurebehandelter  
Stiftoberfläche nach Abzug (100-fach vergrößert)



**Abb. 43b:** Kanalwand nach Flusssäurebehandelter  
Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)



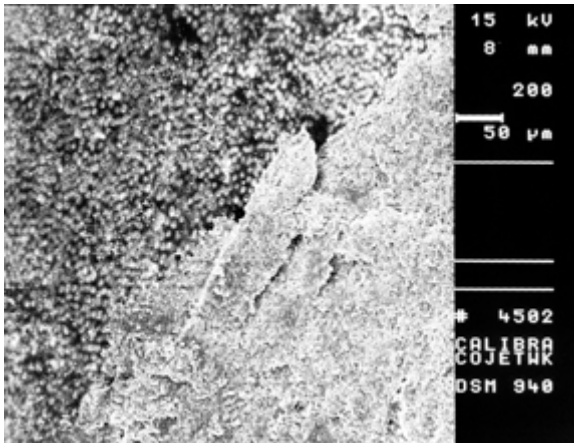
**Abb. 43c:** Flusssäurebehandelte Stiftoberfläche nach Abzug  
(100-fach vergrößert)



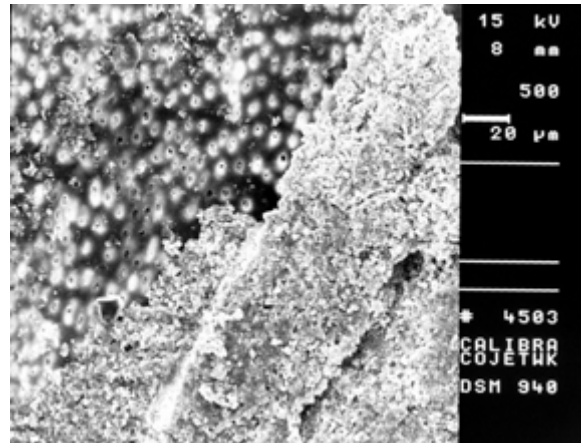
**Abb. 43d:** Flusssäurebehandelte Stiftoberfläche nach  
Abzug (200-fach vergrößert)



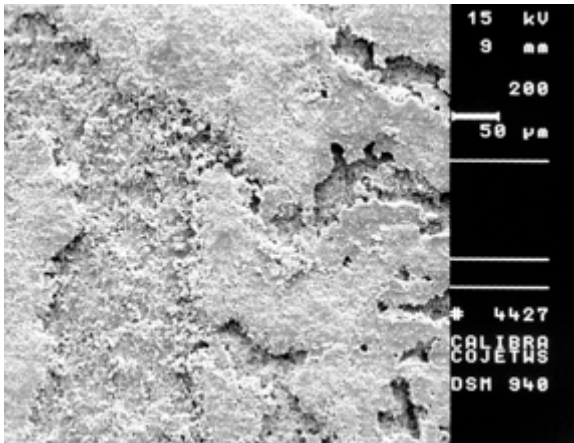
## Calibra



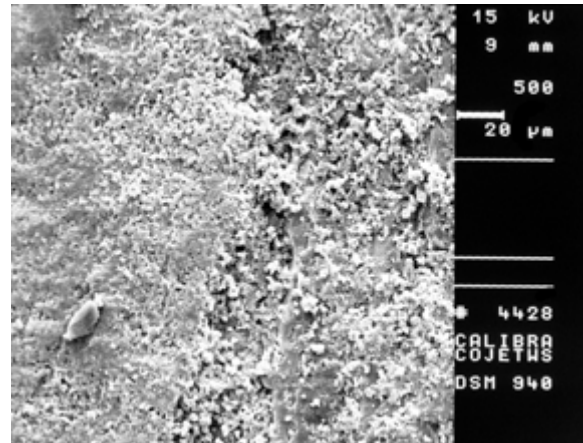
**Abb. 44a:** Kanalwand nach CoJet-Beschichtung des FRC-Stiftes nach Abzug (200-fach vergrößert)



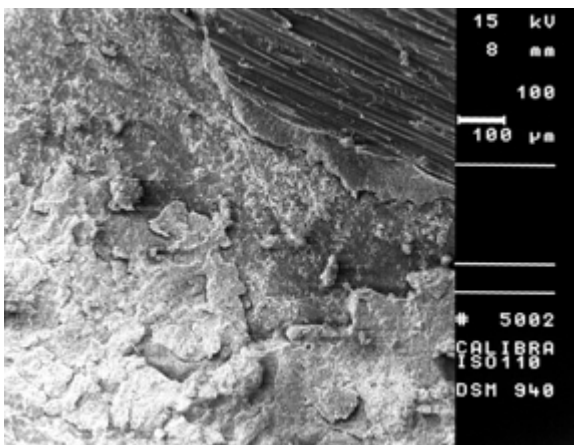
**Abb. 44b:** Kanalwand nach CoJet-Beschichtung des FRC-Stiftes nach Abzug (500-fach vergrößert)



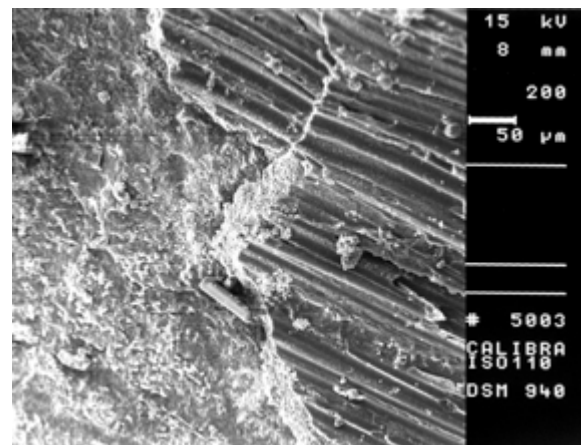
**Abb. 44c:** CoJet-behandelte Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)



**Abb. 44d:** CoJet-behandelte Stiftoberfläche nach Abzug (500-fach vergrößert)

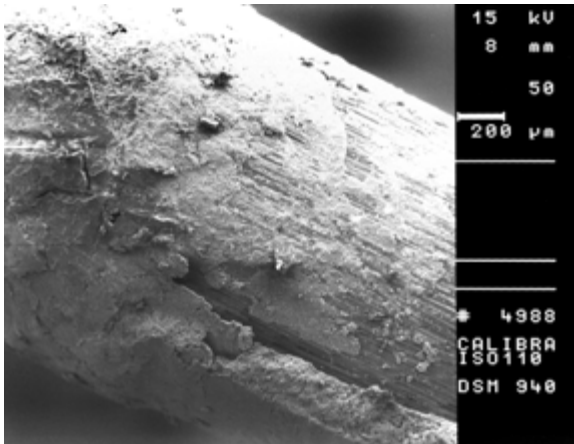


**Abb. 45a:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (100-fach vergrößert)

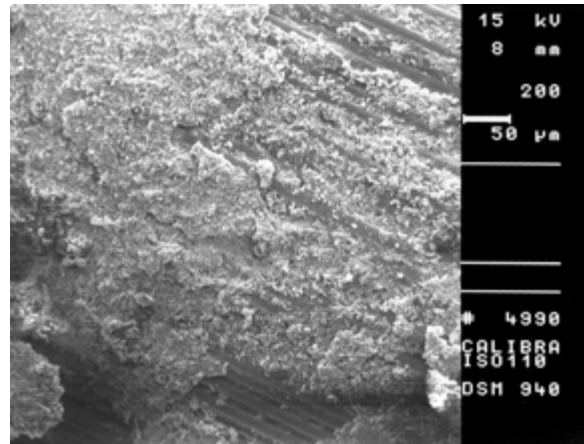


**Abb. 45b:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (200-fach vergrößert)

## Calibra



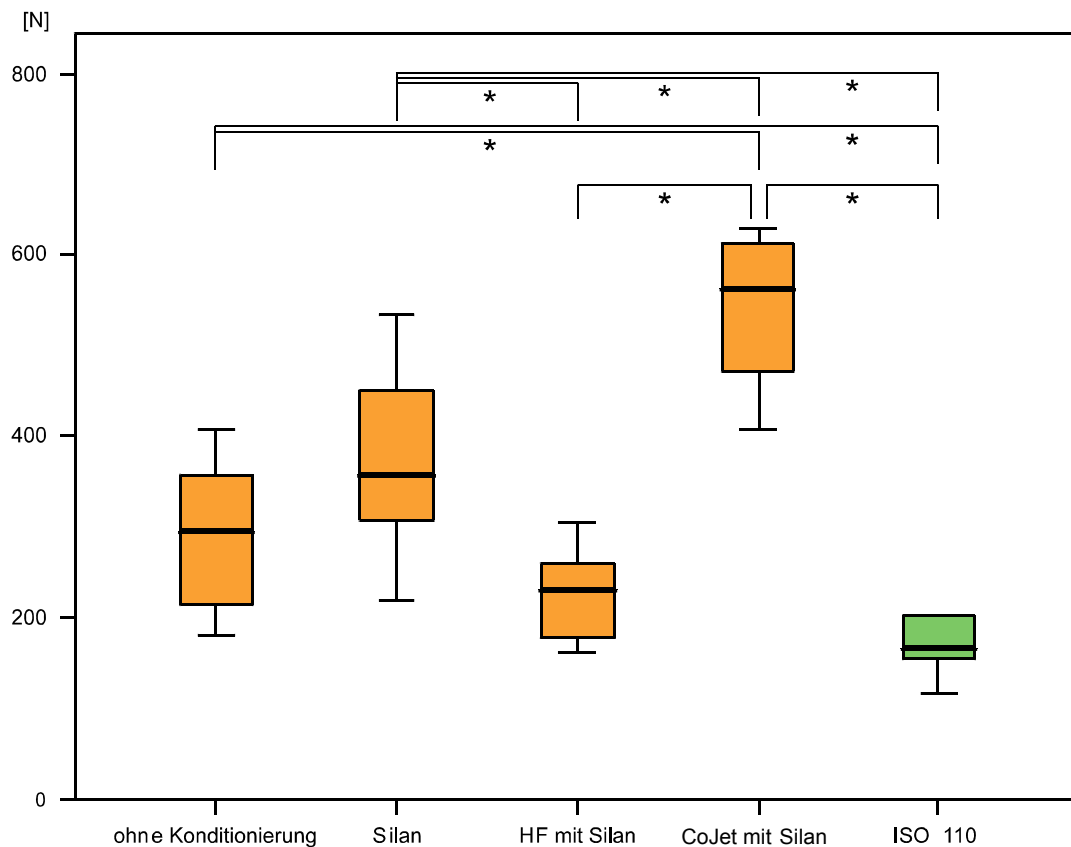
**Abb. 45c:** Stiftoberfläche eines FRC-Stiftes in einem Wurzelkanal der ISO 110 nach Abzug (50-fach vergrößert)



**Abb. 45d:** Stiftoberfläche eines FRC-Stiftes in einem Wurzelkanal der ISO 110 nach Abzug (200-fach vergrößert)



## 5.2.4 MultiCore Flow



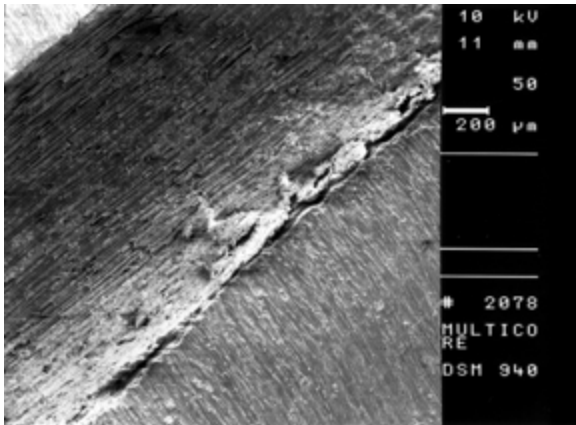
**Abb. 46:** Abzugsfestigkeiten der verschiedenen Stiftgruppen mit MultiCore Flow. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

Tribochemisch behandelte Stifte, die mit MultiCore Flow eingesetzt wurden, erreichten die höchsten Haftwerte um 500 N (Abb. 46). Mittelwerte um 300 N erzielten unkonditionierte und silanisierte FRC-Stifte. Die niedrigsten Haftwerte um 200 N hatten die FRC-Stifte nach Oberflächenbehandlung mit Flusssäure und Stifte, die in Kanälen der ISO-Größe 110 eingesetzt wurden. FRC-Stifte, die mit CoJet vorbehandelt wurden, hafteten im Vergleich zu allen anderen Gruppen signifikant besser. Unkonditionierte Stifte konnten im Vergleich zu Stiften in erweiterten Kanälen signifikant höhere Haftwerte erzielen. Flusssäure-behandelte Stifte ebenso wie Stifte, die in Kanäle der ISO-Größe 110 eingesetzt wurden, zeigten signifikant schlechtere Haftwerte im Vergleich zu silanisierten FRC-Stiften.

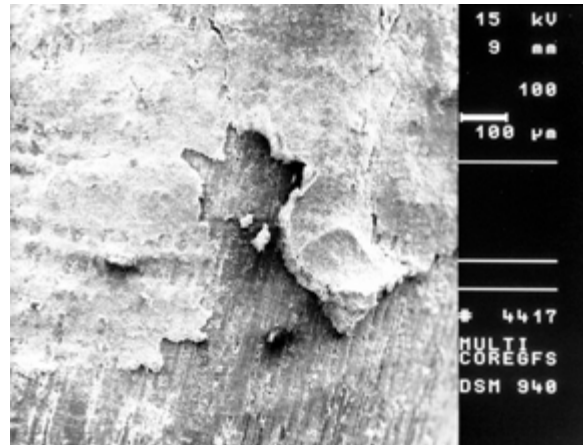
Die mikroskopisch betrachteten Bruchmodalitäten zeigten für MultiCore Flow bis auf die FRC-Stifte, die tribochemisch beschichtet wurden, dass der Zement meist adhäsiv an der Kanalwand kleben blieb, d. h. einen Bruch zwischen Stift und Zement teils gemischt kohäsiv und teils unter Beschädigung der Stiftoberfläche (z. B.

Abb. 47a, 48a-b, 49a-b, 51a-d). CoJet-beschichtete Stifte führten zu einem kohäsiven Bruch, wie in Abb. 50b-d dargestellt.

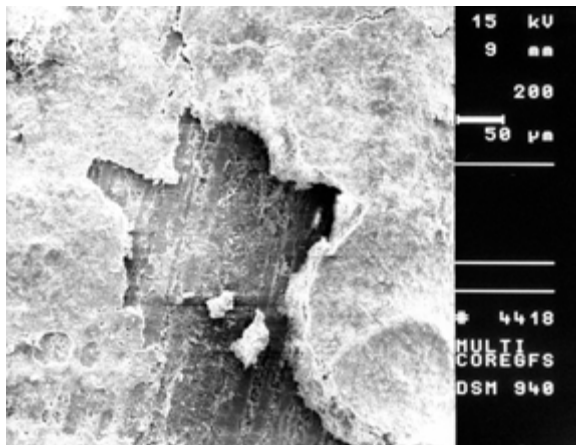
### MultiCore Flow



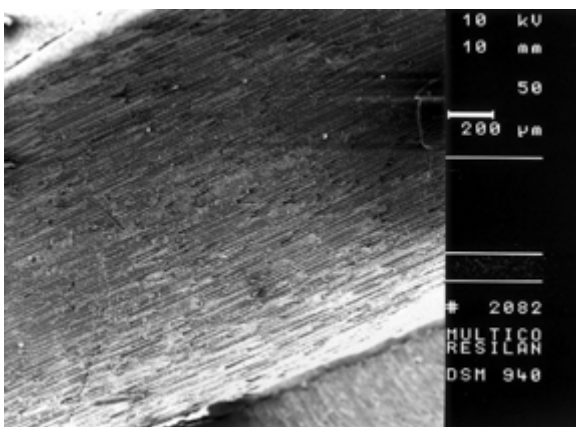
**Abb. 47a:** Kanalwand ohne Konditionierung nach Abzug (50-fach vergrößert)



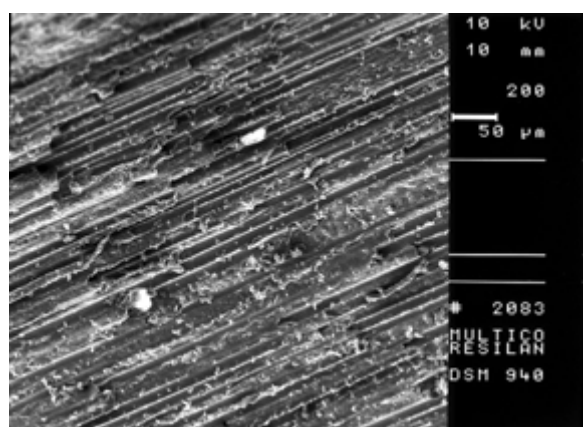
**Abb. 47b:** Stiftoberfläche ohne Konditionierung nach Abzug (100-fach vergrößert).



**Abb. 47c:** Stiftoberfläche ohne Konditionierung nach Abzug (200-fach vergrößert)

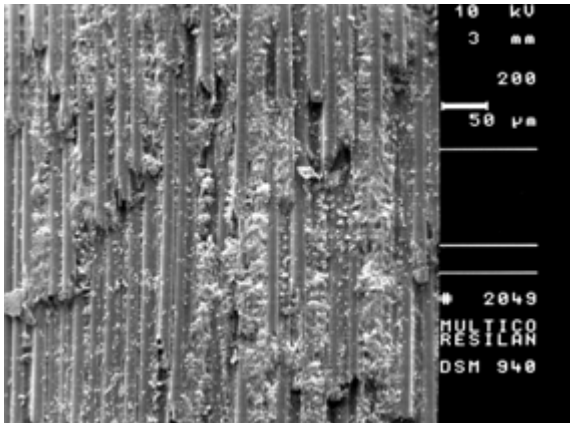


**Abb. 48a:** Kanalwand nach Silanisierung des FRC-Stiftes nach Abzug (50-fach vergrößert)

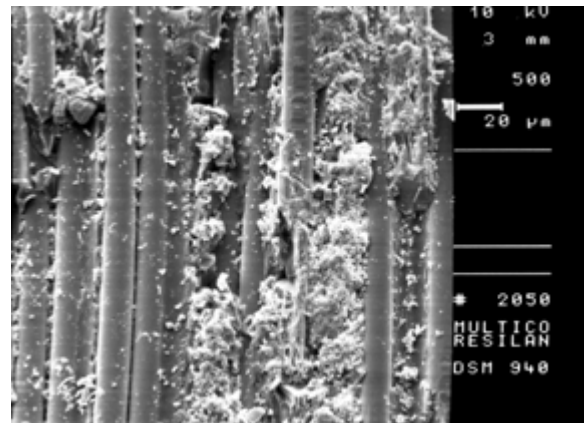


**Abb. 48b:** Kanalwand nach Silanisierung des FRC-Stiftes nach Abzug (200-fach vergrößert)

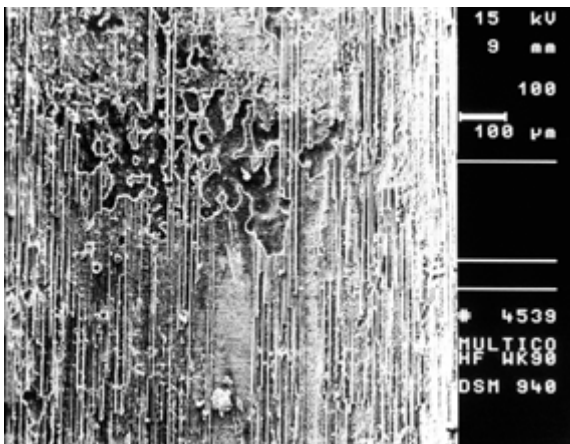
## MultiCore Flow



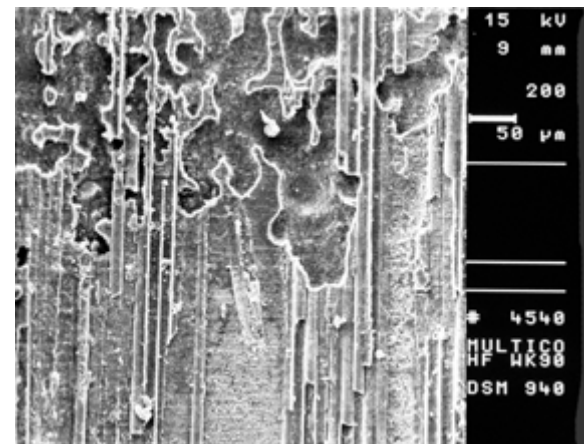
**Abb. 48c:** Silanisierte Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)



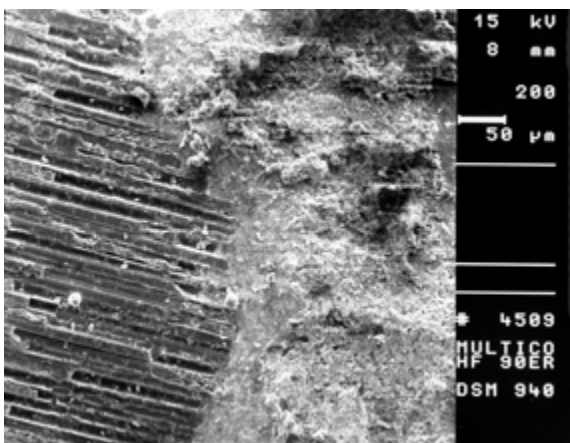
**Abb. 48d:** Silanisierte Stiftoberfläche nach Abzug (500-fach vergrößert)



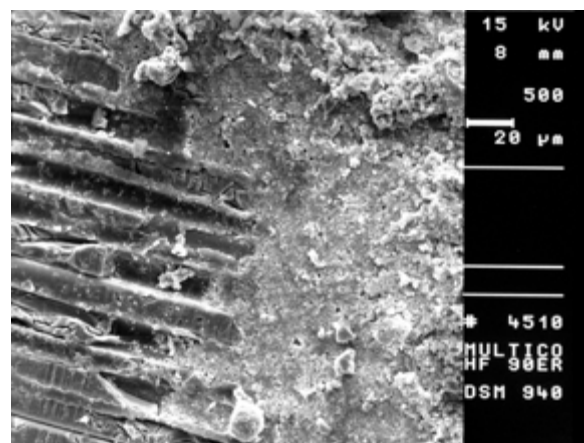
**Abb. 49a:** Kanalwand nach Flusssäurebehandelter Stiftoberfläche nach Abzug (100-fach vergrößert)



**Abb. 49b:** Kanalwand nach Flusssäurebehandelter Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)

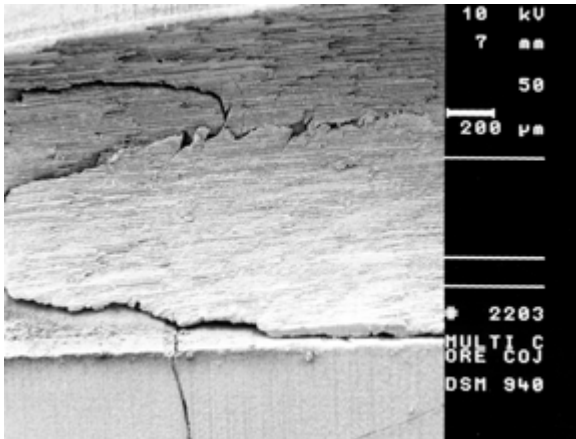


**Abb. 49c:** Flusssäurebehandelte Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)

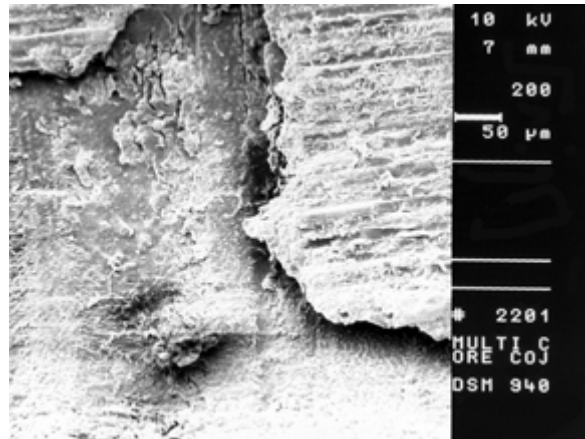


**Abb. 49d:** Flusssäurebehandelte Stiftoberfläche nach Abzug (500-fach vergrößert)

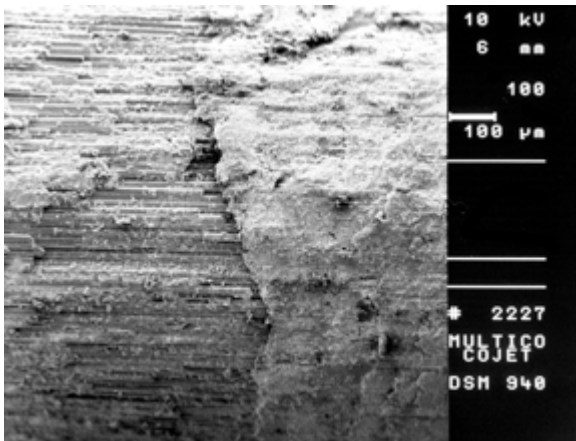
## MultiCore Flow



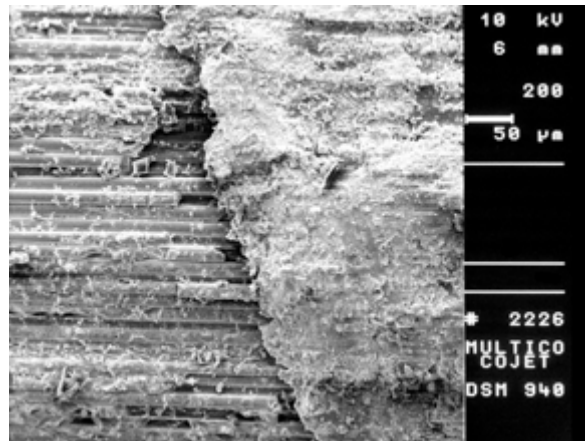
**Abb. 50a:** Kanalwand nach CoJet-Beschichtung des FRC-Stiftes nach Abzug (50-fach vergrößert)



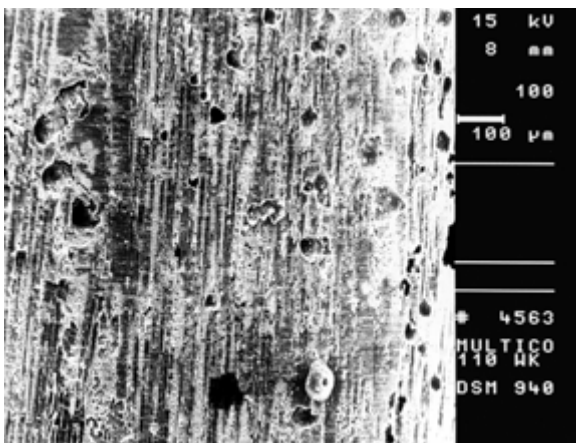
**Abb. 50b:** Kanalwand nach CoJet-Beschichtung des FRC-Stiftes nach Abzug (200-fach vergrößert)



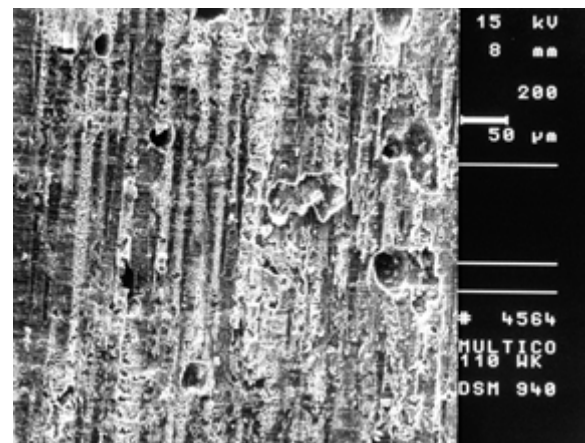
**Abb. 50c:** CoJetbehandelte Stiftoberfläche nach Abzug (100-fach vergrößert)



**Abb. 50d:** CoJetbehandelte Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)

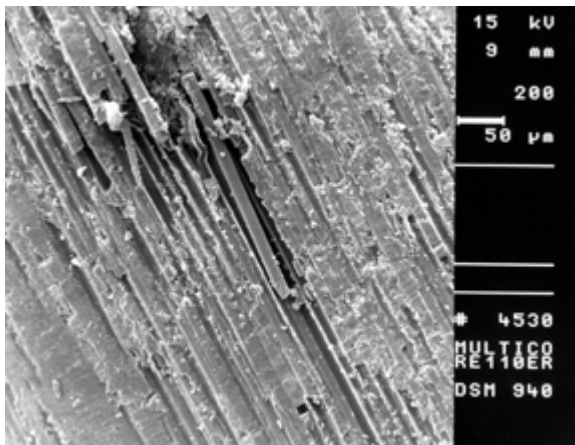


**Abb. 51a:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (100-fach vergrößert)

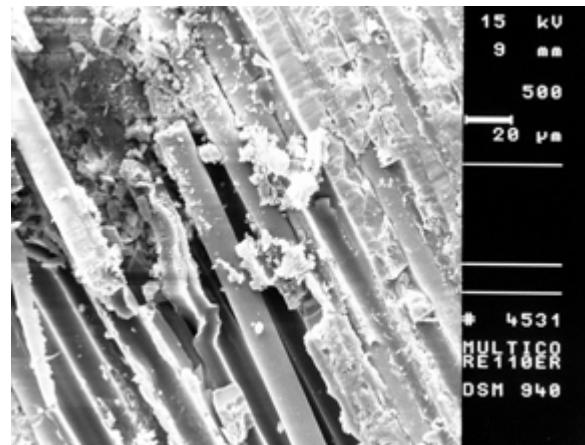


**Abb. 51b:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (200-fach vergrößert)

## MultiCore Flow

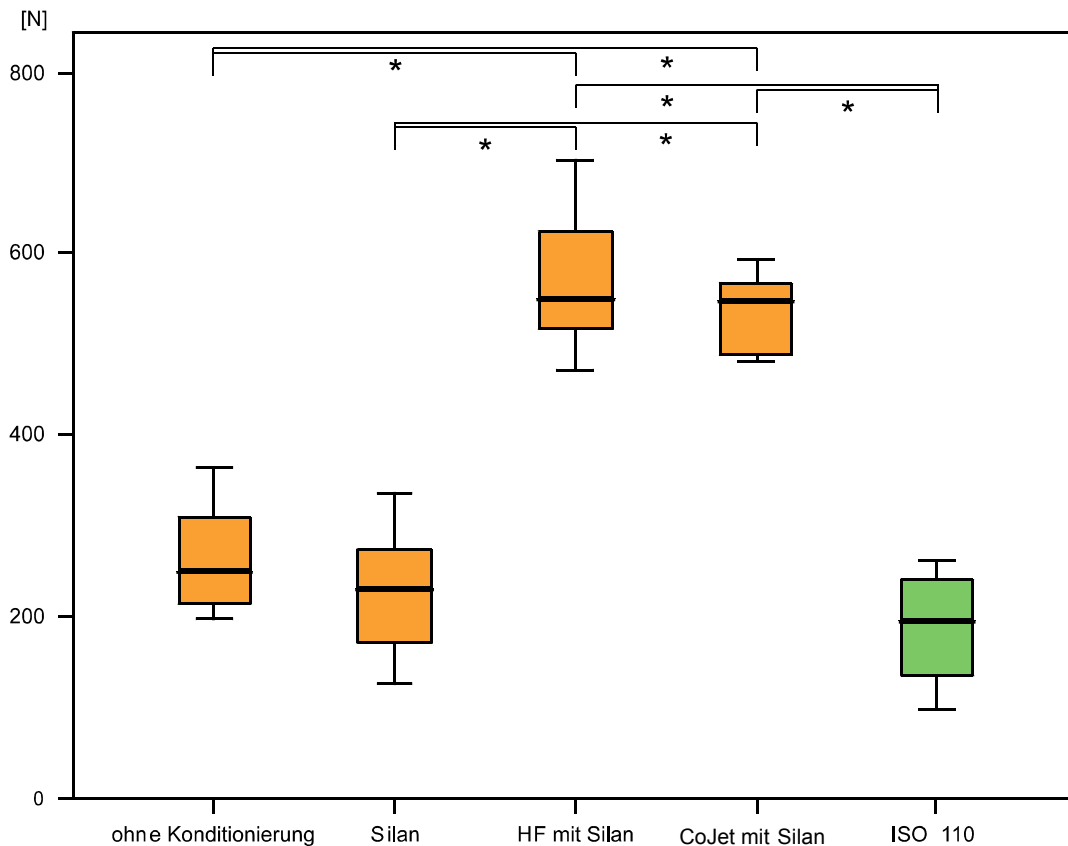


**Abb. 51c:** Stiftoberfläche eines FRC-Stiftes in einem Wurzelkanal der ISO 110 nach Abzug (200-fach vergrößert)



**Abb. 51d:** Stiftoberfläche eines FRC-Stiftes in einem Wurzelkanal der ISO 110 nach Abzug (500-fach vergrößert)

## 5.2.5 Rebuilda DC mit AdheSE



**Abb. 52:** Abzugsfestigkeiten der verschiedenen Stiftgruppen mit Rebuilda DC. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

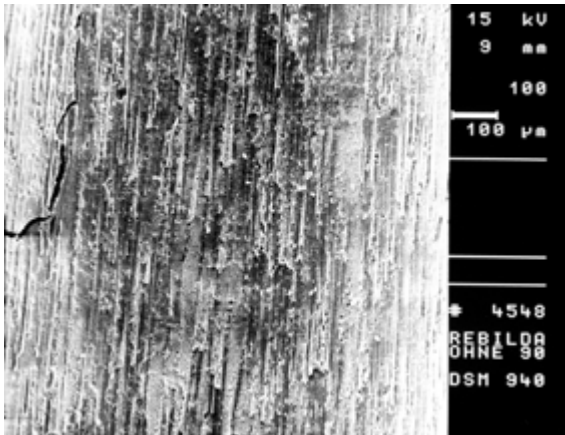
Mit Flusssäure bzw. mit CoJet vorbehandelte FRC-Stifte, die mit Rebuilda DC eingeklebt wurden, wiesen die höchsten Haftfestigkeitswerte um 550 N auf (Abb. 52). Die anderen drei Gruppen (unkonditionierte, silanisierte und FRC-Stifte in erweiterten Kanälen) erreichten nur Haftfestigkeitswerte um 200 N.

Flusssäure- und tribochemisch behandelte FRC-Stifte zeigten untereinander keine signifikanten Unterschiede. Diese beiden Gruppen hafteten im Vergleich zu den übrigen drei Gruppen jeweils signifikant besser.

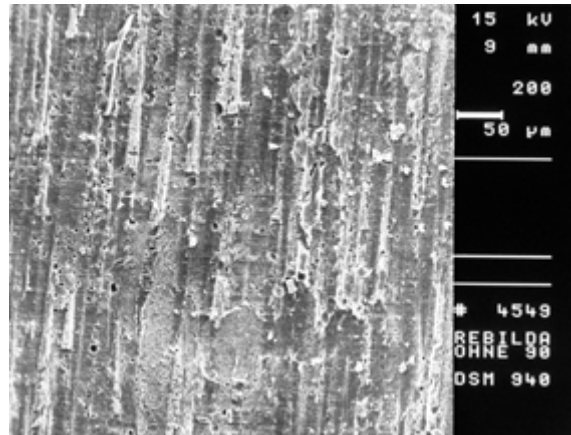
Rebuilda mit AdheSE wies ohne Konditionierung im passendem als auch im Kanal der ISO-Größe 110 einen adhäsiven Bruchmodus auf. Der Zement klebte adhäsiv im Kanal (Abb. 53a-d). Die Schwachstelle lag zwischen dem Stift und dem Zement. Mit Flusssäure und tribochemischer Stiftoberflächenbehandlung konnte ein meist kohäsiver Bruchmodus festgestellt werden, d. h., die Schwachstelle lag im Zement (Abb. 55a-e, 56a-d), während nach Silanisierung die Bruchmodalitäten gemischt waren (Abb. 54a-d).



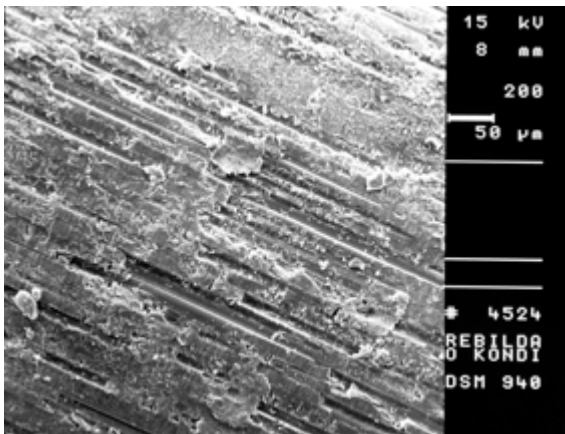
## Rebilda DC



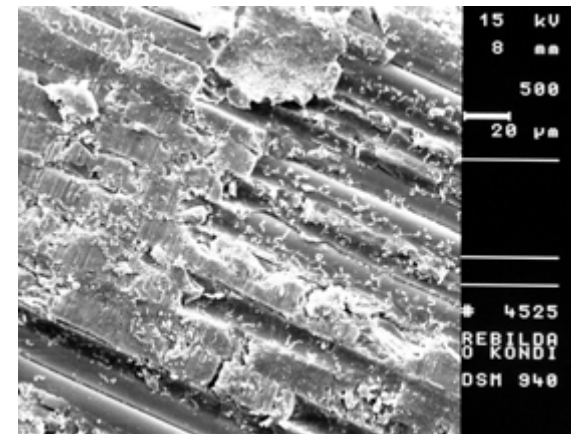
**Abb. 53a:** Kanalwand ohne Stiftkonditionierung nach Abzug (100-fach vergrößert)



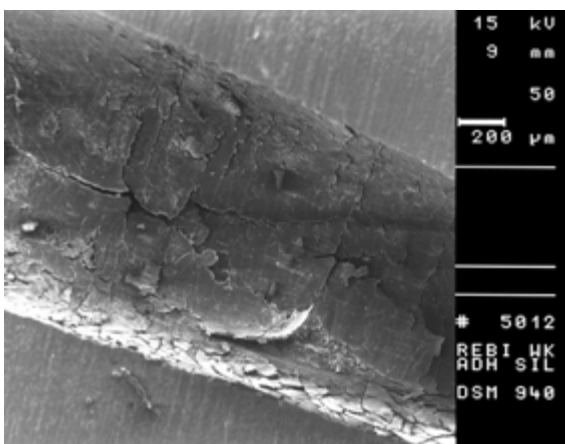
**Abb. 53b:** Kanalwand ohne Stiftkonditionierung nach Abzug (200-fach vergrößert)



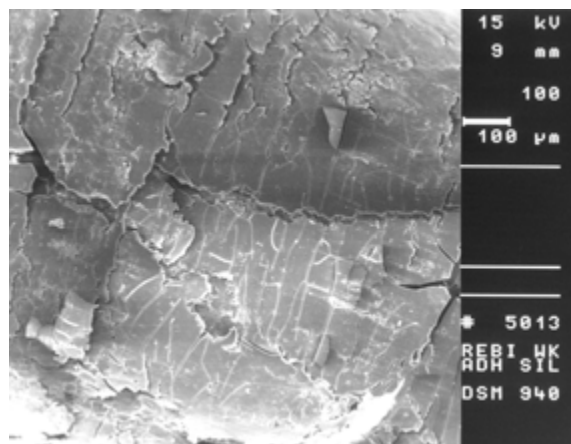
**Abb. 53c:** Stiftoberfläche ohne Konditionierung nach Abzug (50-fach vergrößert)



**Abb. 53d:** Stiftoberfläche ohne Konditionierung nach Abzug (200-fach vergrößert)

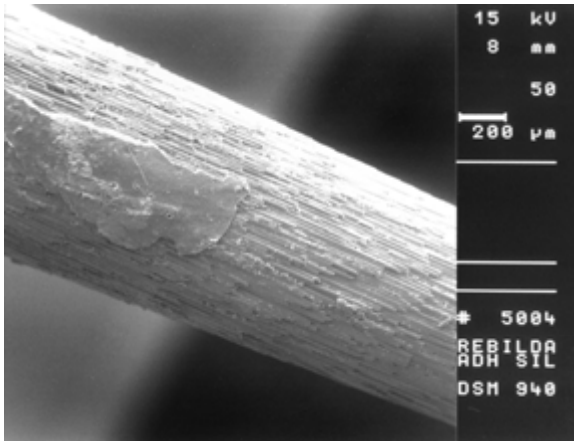


**Abb. 54a:** Kanalwand nach Silanisierung des FRC-Stiftes nach Abzug (50-fach vergrößert)

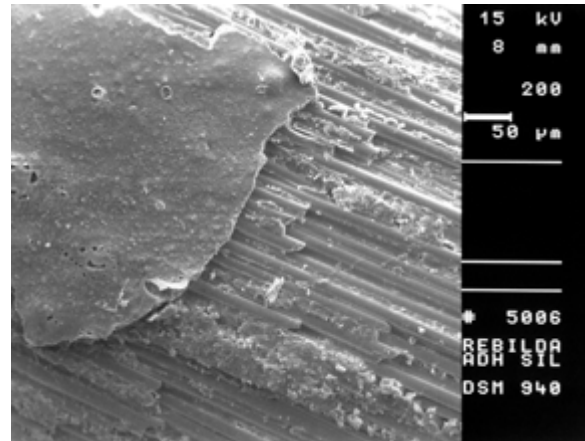


**Abb. 54b:** Kanalwand nach Silanisierung des FRC-Stiftes nach Abzug (100-fach vergrößert)

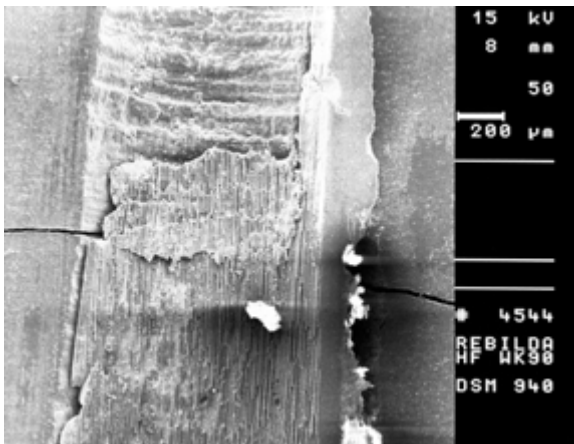
## Rebilda DC



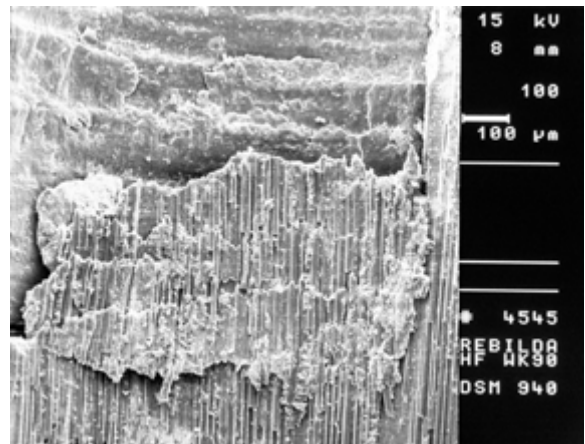
**Abb. 54c:** Silanierte Stiftoberfläche nach Abzug (50-fach vergrößert)



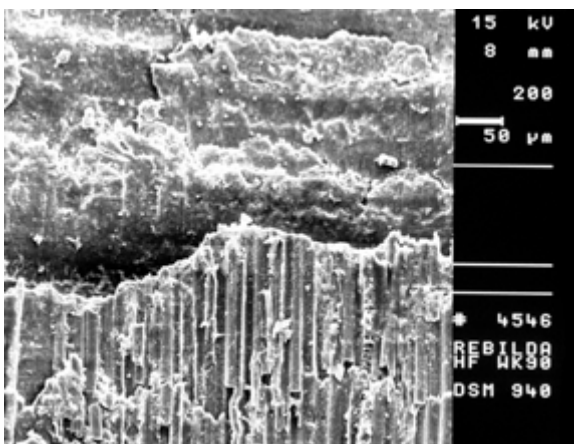
**Abb. 54d:** Silanierte Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)



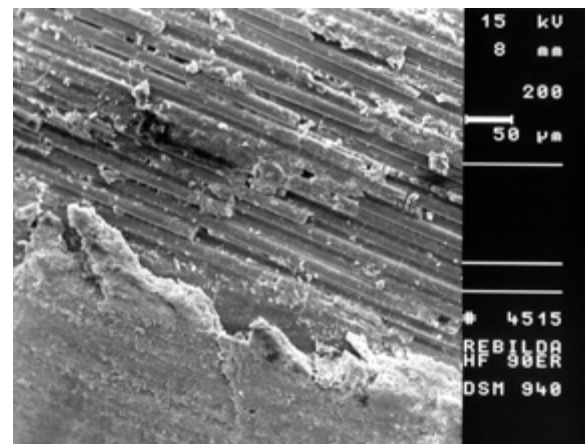
**Abb. 55a:** Kanalwand nach flusssäurebehandeltem FRC-Stift nach Abzug (50-fach vergrößert)



**Abb. 55b:** Kanalwand nach flusssäurebehandeltem FRC-Stift nach Abzug (100-fach vergrößert)



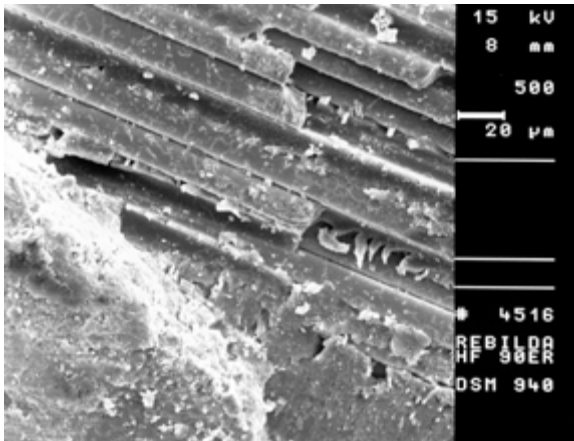
**Abb. 55c:** Kanalwand nach flusssäurebehandeltem FRC-Stift nach Abzug (200-fach vergrößert)



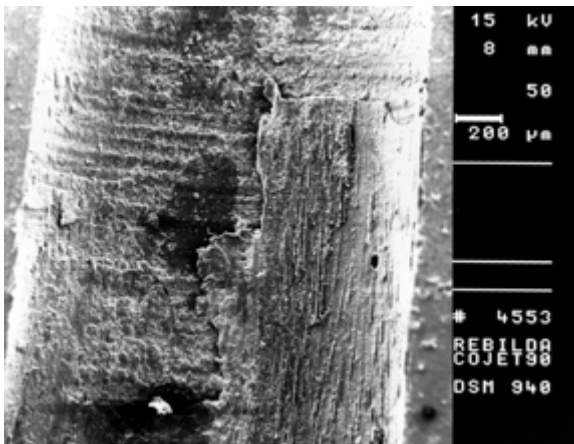
**Abb. 55d:** Flusssäurebehandelter FRC-Stift nach Abzug (200-fach vergrößert)



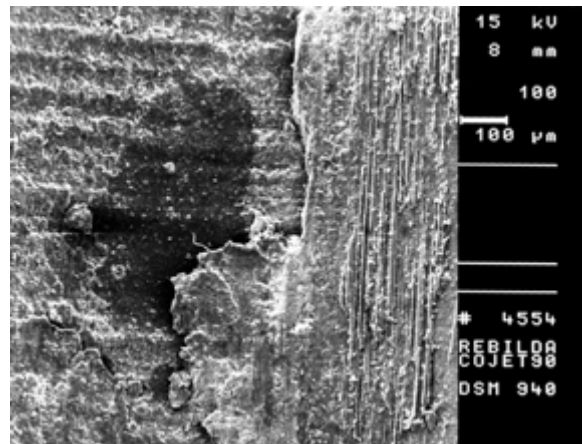
## Rebilda DC



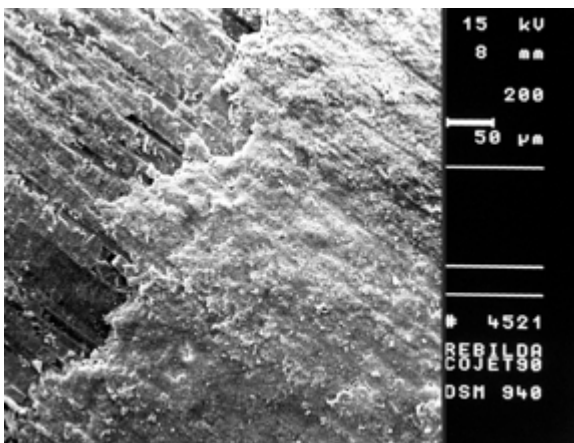
**Abb. 55e:** Flusssäurebehandelte FRC-Stift nach Abzug (500-fach vergrößert)



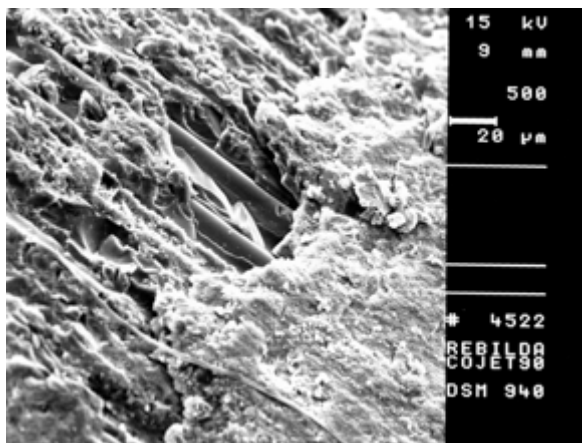
**Abb. 56a:** Kanalwand nach Beschichtung des FRC-Stiftes mit CoJet nach Abzug (50-fach vergrößert)



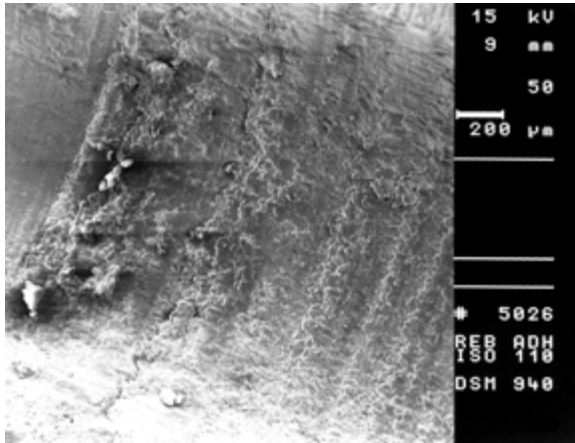
**Abb. 56b:** Kanalwand nach Beschichtung des FRC-Stiftes mit CoJet nach Abzug (100-fach vergrößert)



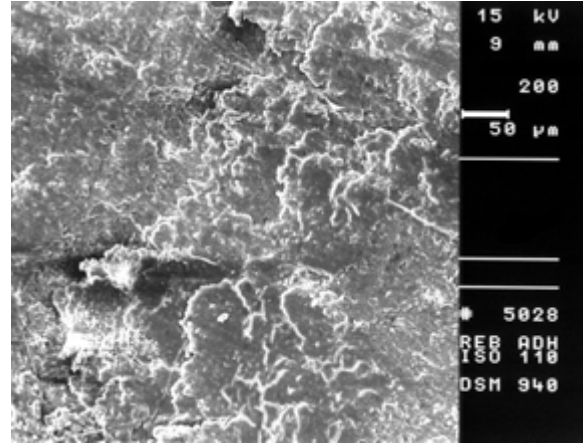
**Abb. 56c:** CoJet-Beschichtete Stiftoberfläche nach Abzug (200-fach vergrößert)



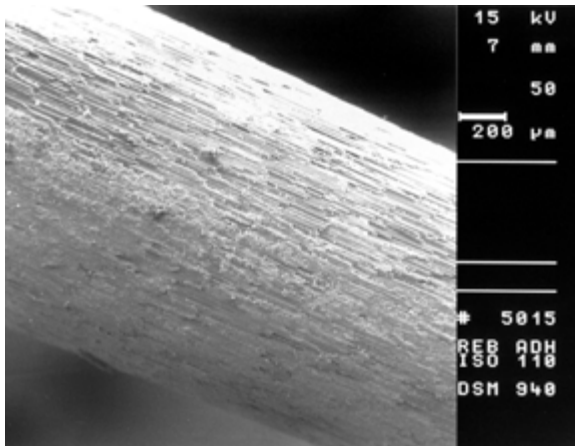
**Abb. 56d:** CoJet-Beschichtete Stiftoberfläche nach Abzug (500-fach vergrößert)



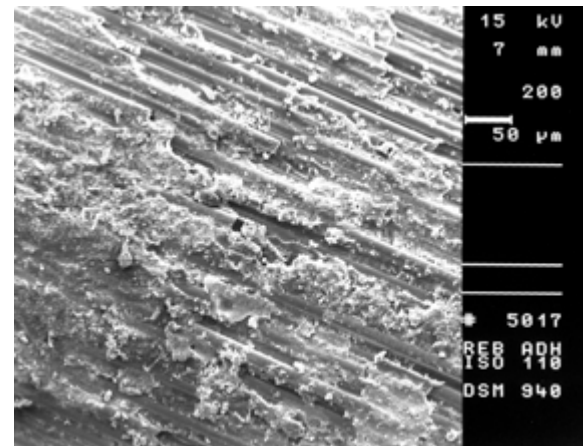
**Abb. 57a:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (50-fach vergrößert)



**Abb. 57b:** Kanalwand der ISO-Größe 110 nach Abzug (200-fach vergrößert)



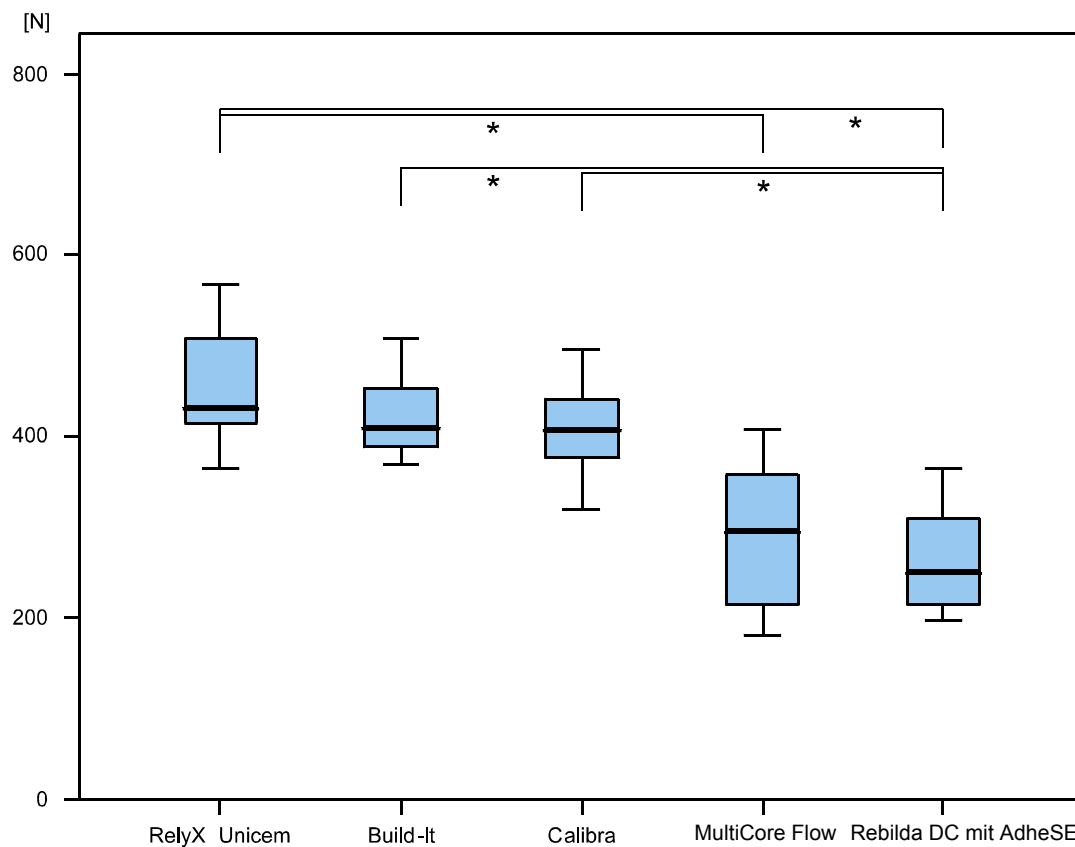
**Abb. 57c:** Stiftoberfläche eines FRC-Stiftes nach Abzug aus einem Wurzelkanal der ISO 110 (50-fach vergrößert)



**Abb. 57d:** Stiftoberfläche eines FRC-Stiftes nach Abzug aus einem Wurzelkanal der ISO 110 (200-fach vergrößert)

## 5.3 Haftfestigkeiten in Abhängigkeit von der Stiftkonditionierung

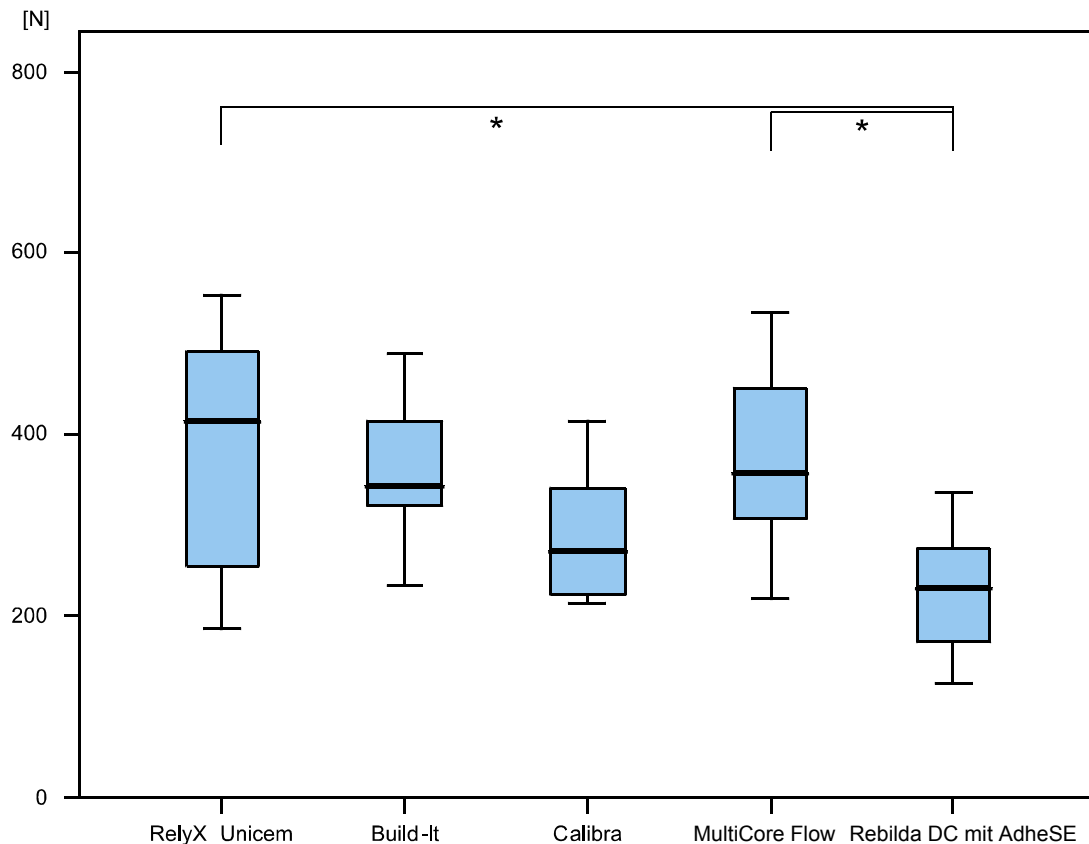
### 5.3.1 ohne Konditionierung



**Abb. 58:** Abzugsfestigkeiten der unkonditionierten Stifte mit den verschiedenen Zementen. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

Die Abb. 58 stellt die Haftfestigkeitswerte der unkonditionierten FRC-Stifte mit den verschiedenen Zementen dar. In abfallender Reihenfolge zeigten RelyX Unicem, Build-It und Calibra Haftfestigkeitswerte um 400 N. MultiCore Flow und Rebilda DC wiesen Haftfestigkeitswerte um 300 N auf. RelyX Unicem haftete signifikant besser als MultiCore Flow und Rebilda DC mit AdheSE. Für Build-It und Calibra wurden signifikant höhere Werte gegenüber Rebilda DC mit AdheSE ermittelt.

### 5.3.2 Silan

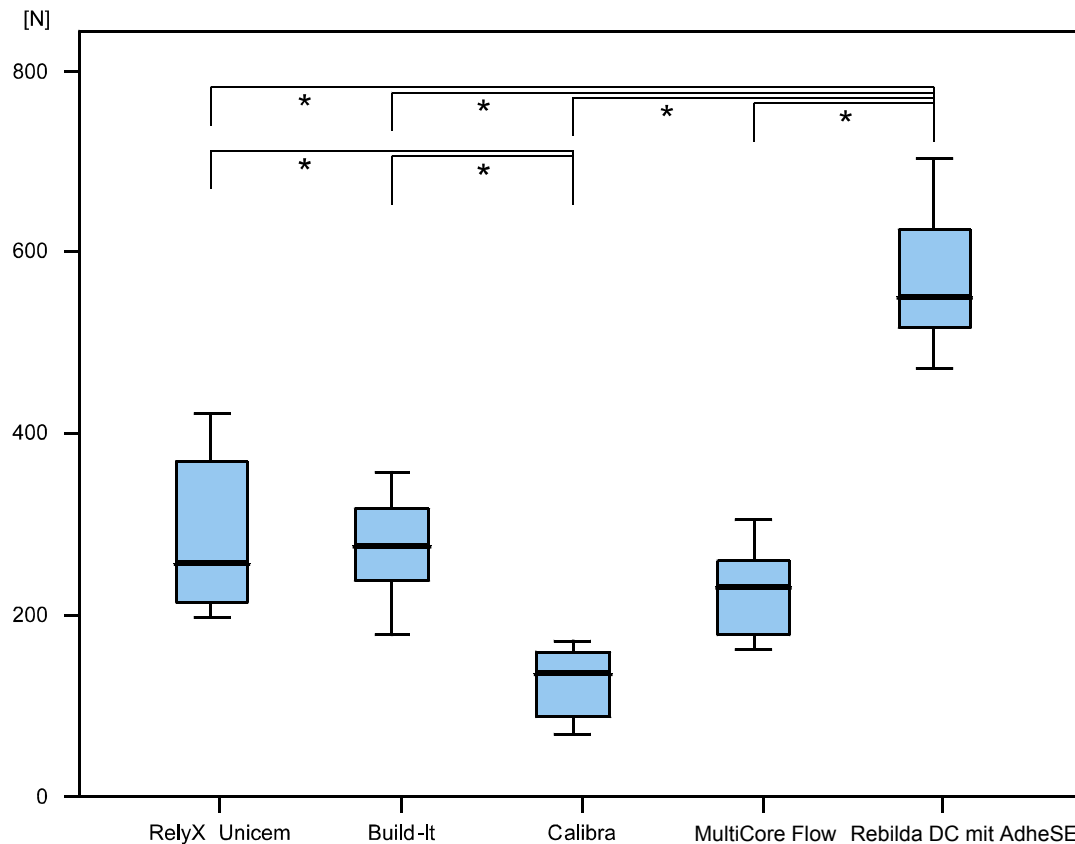


**Abb. 59:** Abzugsfestigkeiten der silanisierten Stifte mit den verschiedenen Zementen. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

Silanisierte FRC-Stifte, die mit RelyX Unicem eingesetzt waren, erzielten die höchsten Abzugswerte über 400 N. Build-It und MultiCore Flow lagen mit ihren Haftwerten um durchschnittlich 350 N. Die niedrigsten Abzugswerte wiesen um 250 N Calibra und Rebuilda DC auf (Abb. 59).

RelyX Unicem und MultiCore Flow hafteten im Vergleich zu Rebuilda DC mit AdheSE signifikant besser. Zwischen den übrigen Gruppen bestanden keine signifikanten Differenzen.

### 5.3.3 HF mit Silan

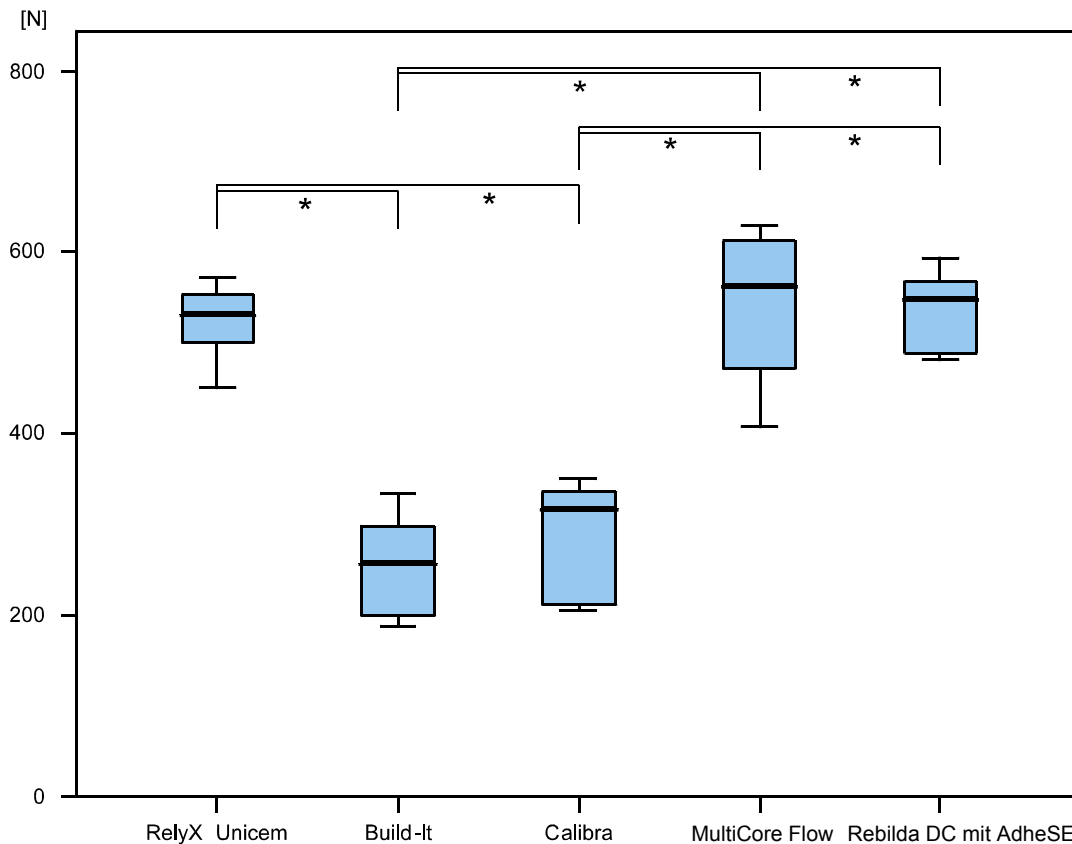


**Abb. 60:** Abzugsfestigkeiten der mit Flusssäure-behandelten Stifte mit den verschiedenen Zementen. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

Bei der Oberflächenkonditionierung der FRC-Stifte mit Flusssäure und anschließender Silanisierung zeigte Rebilda DC mit AdheSE die höchsten Abzugswerte um 550 N (Abb. 60). RelyX Unicem, Build-It und MultiCore Flow hafteten mit Werten um 200 N. Die niedrigsten Abzugswerte um 150 N wurden mit Calibra gemessen.

Mit Flusssäure vorbehandelte und silanisierte FRC-Stifte hafteten mit Rebilda DC signifikant besser als mit den anderen vier Kompositzementen. Calibra zeigte signifikant schlechtere Abzugswerte im Vergleich zu RelyX Unicem, Build-It und Rebilda. Keinen signifikanten Unterschied gab es zwischen RelyX Unicem, Build-It und MultiCore Flow.

### 5.3.4 CoJet mit Silan

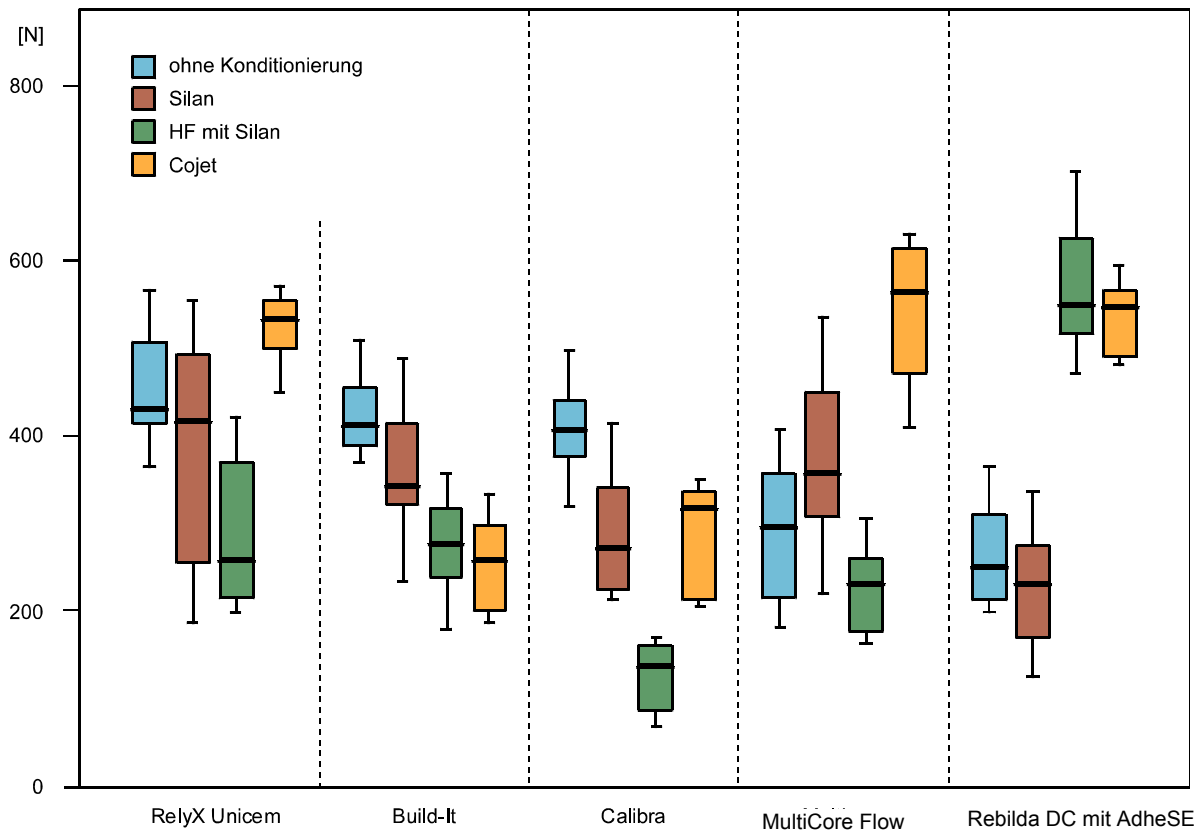


**Abb. 61:** Abzugsfestigkeiten der tribochemisch behandelten Stifte mit den verschiedenen Zementen. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ ).

Die Konditionierung mit CoJet und Silan erzielte mit den verschiedenen Kompositzementen stark divergierende Haftfestigkeitswerte (Abb. 61). Die Haftfestigkeitswerte von MultiCore Flow, Rebilda DC mit AdheSE und RelyX Unicem lagen um 550 N. Build-It und Calibra wiesen Werte um 300 N auf.

RelyX Unicem, MultiCore Flow und Rebilda DC hafteten mit dem CoJet-System vorbehandelten FRC-Stiften signifikant besser im Vergleich zu Build-It und Calibra. Zwischen den drei Gruppen auf dem oberen Level und den beiden Gruppen auf dem unteren Level bestanden keine signifikanten Differenzen.

### 5.3.5 Konditionierung gesamt



**Abb. 62:** Abzugsfestigkeiten von FRC-Stiften mit verschiedenen Konditionierungsmethoden und Zementen

Im Vergleich der Haftfestigkeitswerte in Abhängigkeit von den verschiedenen Konditionierungsmethoden der FRC-Stifte und den verwendeten Zementen wurden deutliche Unterschiede in den Haftwerten festgestellt (Abb. 62, Tab. 6).

RelyX Unicem erzielte die höchsten Haftwerte mit der tribochemischen Stiftkonditionierung über 500 N und in absteigender Reihenfolge mit unkontingierten und silanisierten Stiften um 400 N. Solche hohen Haftwerte durch die tribochemische Behandlung wurden außer mit RelyX Unicem noch mit MultiCore Flow und Rebuilda DC gemessen (Tab. 7). Diese drei Zemente hafteten mit der tribochemischen Vorbehandlung der FRC-Stifte signifikant besser im Vergleich zu Build-It und Calibra.

Build-It und Calibra erreichten nur mit unbehandelten Stiften Werte von 400 N, ansonsten blieben die Ergebnisse der übrigen Gruppen darunter. Unkontingierte Stifte hafteten mit RelyX Unicem, Build-It und Calibra fast gleich stark und signifikant

besser als mit MultiCore Flow und Rebuilda DC. Dagegen zeigte MultiCore Flow die besten Werte mit über 500 N bei mit dem CoJet-System vorbehandelten Stiften. Entsprechend wurden die höchsten Haftfestigkeitswerte für Rebuilda DC mit AdheSE mit Flusssäure und tribochemisch vorbehandelten Stiften gefunden. Flusssäurebehandelte Stifte schnitten bei fast allen Gruppen am schlechtesten ab. Die einzige Ausnahme bildete Rebuilda, wobei diese Konditionierungsart die höchsten Abzugsfestigkeit lieferte und im Vergleich signifikant besser als mit allen anderen Zementen war .

Die niedrigsten Haftfestigkeitswerte erreichte RelyX Unicem bei mit Flusssäure vorbehandelten FRC-Stiften um 250 N. Build-It und Calibra blieben mit allen Gruppen der konditionierten FRC-Stifte unterhalb von 400 N, wobei die niedrigsten Haftfestigkeitswerte mit Build-It um 250 N mit den Flusssäure- und tribochemisch vorbehandelten Gruppen erreicht wurden. Calibra erzielte in den mit der Flusssäure vorbehandelten Gruppen Haftfestigkeitswerte unterhalb 200 N. Damit stellte diese Gruppe die niedrigsten Werte aller Versuchsgruppen dar. Mit MultiCore Flow wurden die niedrigsten Haftfestigkeitswerte bei mit Flusssäure vorbehandelten FRC-Stiften um 200 N gemessen. Dagegen zeigte Rebuilda mit AdheSE ähnliche Haftfestigkeitswerte bei mit unbehandelten und silanisierten FRC-Stiften. Silanisierte Stifte ergaben bei Rebuilda mit AdheSE signifikant schlechtere Haftfestigkeitswerte im Vergleich zu RelyX Unicem und MultiCore Flow.

<b>Konditionierung</b>	<b>RelyX Unicem</b>	<b>Build-It</b>	<b>Calibra</b>	<b>MultiCore Flow</b>	<b>Rebuilda DC</b>
<b>ohne</b>	454 ± 67	422 ± 46	408 ± 53	296 ± 77	267 ± 57
<b>Silan</b>	386 ± 126	346 ± 90	287 ± 69	369 ± 107	229 ± 75
<b>CoJet</b>	541 ± 130	256 ± 51	287 ± 61	536 ± 83	539 ± 43
<b>HF</b>	289 ± 80	262 ± 73	129 ± 37	232 ± 49	553 ± 107

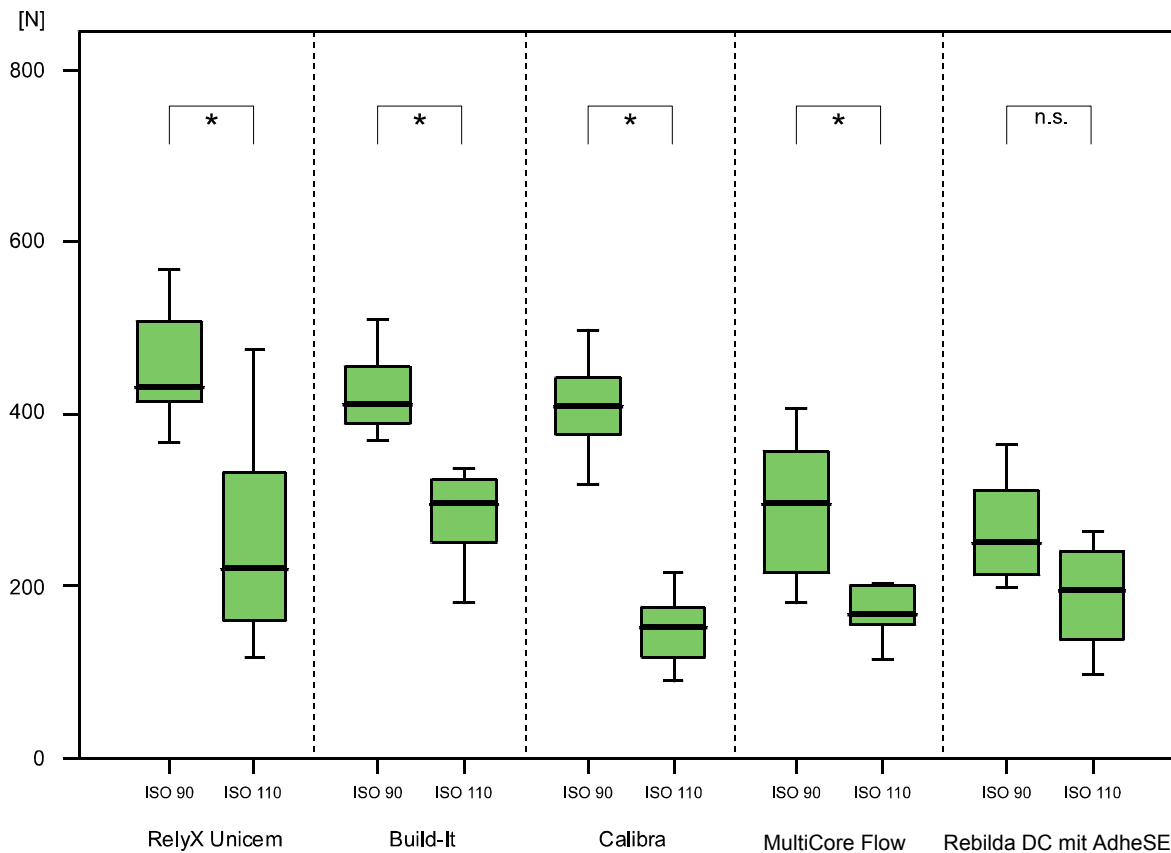
**Tab. 6:** Mittlere Haftfestigkeiten und Standardabweichungen der FRC-Stifte nach Stiftkonditionierung mit 5 verschiedenen Zementen in Newton (N)



		RelyX Unicem				Build-It				Calibra				MultiCore Flow				Rebilda DC			
		ohne K.	Silan	HF	CoJet	ohne K.	Silan	HF	CoJet	ohne K.	Silan	HF	CoJet	ohne K.	Silan	HF	CoJet	ohne K.	Silan	HF	CoJet
RelyX Unicem	ohne K.		n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	*	*	*	*	n.s.	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.
	Silan	n.s.		n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	*	*	*
	HF	*	n.s.		*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*	
	CoJet	n.s.	*	*		n.s.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.
Build-It	ohne K.	n.s.	n.s.	*	n.s.		n.s.	*	*	n.s.	*	*	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.
	Silan	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.		n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*	
	HF	*	n.s.	n.s.	*	*	n.s.		n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*	
	CoJet	*	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.		*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*	
Calibra	ohne K.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*		n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	*	*	*
	Silan	*	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.		*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*	
	HF	*	*	*	*	*	*	*	n.s.	*	*		*	*	n.s.	*	*	n.s.	*	*	
	CoJet	*	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*		n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*
MultiCore Flow	ohne K.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.		n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	*
	Silan	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.		*	*	n.s.	*	*	*
	HF	*	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*		*	n.s.	n.s.	*	*
	CoJet	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	*	*	*	n.s.	*	*	*	*	*	*		*	*	n.s.	n.s.
Rebilda DC	ohne K.	*	n.s.	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	*		n.s.	*	*	
	Silan	*	*	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*	n.s.		*	*
	HF	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	n.s.	*	*		n.s.
	CoJet	n.s.	*	*	n.s.	n.s.	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	n.s.	*	*	n.s.	

Tab. 7: Signifikante Differenzen ( $p < 0,05$ ) zwischen den Gruppen (n.s. - nicht signifikant)

## 5.4 Haftfestigkeit in Abhängigkeit von der Stiftpassung



**Abb. 63:** Abzugsfestigkeiten der Stifte mit verschiedenen Zementen in passenden Kanälen der ISO-Größe 90 und in zu großen Kanälen der ISO-Größe 110. Die signifikanten Differenzen zwischen den Gruppen sind angegeben (\*  $p < 0,05$ , n.s. - nicht signifikant).

Die Stiftpassung hatte einen deutlichen Einfluss auf die Haftfestigkeiten in Abhängigkeit vom verwendeten Zement (Abb. 63, Tab. 8). Die Haftfestigkeiten reduzierten sich signifikant in allen Gruppen außer Rebilda DC, wenn die Größe-II-Stifte in Größe-III-präparierten Stiftbetten eingesetzt wurden, gegenüber passenden Kanälen. Die höchsten Haftwerte in zu weiten Kanälen wurden bei Build-It um 300 N gemessen, gefolgt von Rebilda DC mit AdheSE und RelyX Unicem um 200 N und die niedrigsten Abzugswerte bei Verwendung von MultiCore Flow und Calibra unter 200 N.

Die Differenzen zwischen den Werten bei passenden und zu weiten Kanälen waren für RelyX Unicem und Calibra am größten.

Kanalgröße	RelyX Unicem	Build-It	Calibra	MultiCore Flow	Rebilda DC
<b>ISO 90</b>	454 ± 67	422 ± 46	408 ± 53	296 ± 77	267 ± 57
<b>ISO 110</b>	256 ± 115	301 ± 78	152 ± 62	180 ± 47	186 ± 54

**Tab. 8:** Mittlere Haftfestigkeiten und Standardabweichungen der FRC-Stifte, eingesetzt in zwei unterschiedlich weiten Kanälen mit 5 verschiedenen Zementen, in Newton (N).

## 6 Diskussion

---

### 6.1 Diskussion der Stiftkonditionierung

Um Stifte in Wurzelkanäle einzukleben, muss ein selbsthärtendes oder dualhärtendes Komposit ebenso wie selbsthärtendes oder dualhärtendes Bonding verwendet werden (FERRARI et al. 2001, KALKAN et al. 2006). Alle hier untersuchten Komposite erfüllten diese Anforderungen mit Ausnahme von Rebuilda DC, da das Bonding, welches vom Hersteller angeboten wird, lichthärtend ist. Aus diesem Grund wurde Rebuilda DC mit einem dualhärtenden Dentinadhäsiv (Ivoclar Vivadent) kombiniert, welches vorab auf seine Tauglichkeit geprüft wurde. Die Verbindung zwischen dem Komposit und der Dentinwand sowie dem Stift wurde in dieser Studie auf ihre Festigkeit geprüft. Dafür wurde vorausgesetzt, dass die verwendeten Adhäsivsysteme und die dualhärtenden Bondings einwandfrei funktionieren (ROSENSTIEL et al. 1998, VICHI et al. 2002).

Die Versuchsanordnung schließt die Wurzelfüllung vor der Stiftbettpräparation nicht mit ein, damit eventuelle Reste des Sealers oder der Guttapercha die Ergebnisse nicht beeinflussen (SCHMAGE et al. 2003).

Die Haftfestigkeit des Komposits zur Dentinwand variiert innerhalb eines Wurzelkanals (PEST et al. 2002, PERDIGÃO et al. 2007), dieser Einflussfaktor kann in dieser Studie nicht ausgeschlossen werden. Die Haftfestigkeiten der verschiedenen FRC-Stiftsysteme unterscheiden sich aufgrund ihrer Form und ihrer Zusammensetzung, deshalb wurde nur ein Stiftsystem in dieser Studie verwendet (KALKAN et al. 2006, SEN et al. 2005).

Für die Haftfestigkeit von FRC-Stiften ist neben der Adhäsion des Befestigungskomposits an dem Dentin der Wurzelkanalwand auch die Adhäsion der Stiftoberfläche wichtig. Die Adhäsion des Komposits zum FRC-Material, d. h. zu den Glasfasern und der Kunststoffmatrix, kann durch die Vorbehandlung bzw. Konditionierung der Stiftoberfläche verbessert werden (Schönbrodt 2003).

In dieser Untersuchung wurden vier Vorbehandlungsarten untersucht. Es wird die Konditionierung des FRC-Stiftes z. B. durch Silanisierung, tribochemische Beschichtung oder Flusssäurebehandlung mit anschließender Silanisierung empfohlen, um die Haftfestigkeit der FRC-Stifte zu erhöhen (MANNOCCI et al. 2006, SAHAFI et al. 2003, SEN et al. 2005, MAGNI et al. 2007). Die Entfettung des FRC-

Stiftes mit Alkohol und der anschließenden Trocknung zeigte in Übereinstimmung mit den vorliegenden Ergebnissen bislang gute Haftwerte mit RelyX Unicem (WRBAS et al. 2006).

Neben der Entfettung wurden die FRC-Stifte silanisiert, um eine chemische Verbindung zwischen dem anorganischen Gewebe in der Stiftoberfläche und dem Adhäsiv zu erzielen. Silane erhöhen die Reaktivität und die Benetzbarkeit der zu beklebenden Oberflächen und polymerisieren mit dem Befestigungskomposit (AKSORNMUANG et al. 2004, GORACCI et al. 2005, AKSORNMUANG et al. 2006, KALKAN et al. 2006). Nach dem Silan wurde das zum Befestigungskomposit gehörende Bonding appliziert. Die Zusammensetzung und die Verarbeitung der Silane unterscheiden sich voneinander, daher wurden in dieser Studie die Silane und anschließend das zum Befestigungskomposit gehörende Bonding des selben Herstellers verwendet bis auf Rebuilda, da es sich nicht um ein dualhärtendes Bonding handelte. Die Silanisierung der Dentinpost-Oberfläche mit dem Silan des jeweiligen Herstellers verbesserte in Untersuchungen mit dem Dentinpost des ER-Systems die Haftfestigkeiten der Stifte (GORACCI et al. 2005, KALKAN et al. 2006, SCHMAGE 2008).

Die tribochemische Beschichtung hat sich bereits bei Metallstiften und Keramikstiften bewährt (SCHÖNBRODT et al. 2003, SCHMAGE et al. 2004). Das verwendete CoJet-System ist wissenschaftlich u. a. für intraorale Reparaturen an Verblendungen anerkannt (PFEIFFER 1993, PROÃÑO 1997, EDELHOFF et al. 1999, COBB et al. 2000, SCHMAGE et al. 2003, SELÇUK 2006). Der Vorteil liegt in der Steigerung des Haftverbundes und der Vermeidung von Mikroleakage entlang der Stiftoberfläche (EDELHOFF et al. 2006, VALANDRO et al. 2006, VANO et al. 2006). Diese Erwartung hat sich angesichts der kohäsiven Bruchmodi mit drei der getesteten Komposite bestätigt.

Die chemische Flusssäureätzung erzielte gute Ergebnisse bei Konditionierung von Keramik. Bei der Anwendung von Flusssäure auf FRC-Stiften werden Anteile der Kompositmatrix, in die die Glasfasern eingebettet sind, herausgelöst (SCHÖNBRODT et al. 2003) sowie die Glasoberfläche angegriffen (EDELHOFF et al. 2006, VALANDRO et al. 2006, VANO et al. 2006). Die Oberflächenrauigkeit wird durch die Ätzung erhöht und kann so die Wirkung des Silans zum chemischen Verbund steigern (SAHAFI et al. 2003). Es wurde nach Empfehlung (SCHMAGE 2006, Flusssäure-

Produktbeschreibung) eine Ätzdauer von 60 Sek. durchgeführt, eine längere Ätzdauer trägt zu viel Substanz ab, die die Passung des Stiftes verschlechtert hätte. Hinsichtlich der Ergebnisse dieser Studie führte keine Konditionierungsart zu einheitlich guten Haftfestigkeitswerten mit allen Kompositen, vielmehr führte eine tribochemische Vorbehandlung der FRC-Stifte zur Erhöhung der Haftfestigkeitswerte mit RelyX Unicem, MultiCore Flow und Rebilda DC. Dies ist damit zu erklären, dass die Wirksamkeit der Haftung nach tribochemischer Beschichtung von der Chemie des Komposits abhängig ist. Bereits in früheren Studien wurde festgestellt, dass nicht alle Komposite gleichermaßen für den Verbund und tribochemische Konditionierung geeignet waren (SCHMAGE et al. 2004, SEN 2007). Insbesondere schien sich die Produktlinie von 3M Espe mit Compolute zu bewähren, was sich auch für RelyX Unicem fortsetzte. Auch bei MultiCore Flow und Rebilda DC handelte es sich um selbstätzende Primer.

Die Silanisation nach Flusssäureätzung brachten außer mit Rebilda DC bei den meisten Zementen keine wesentliche Steigerung. Die Flusssäureätzung erhöhte zwar die Oberflächenstruktur der FRC-Stifte, schwächte diese evtl. aber auch, sodass leichter Glasfasern herausgerissen wurden und der Verbund schwächer war. Offenbar ist der Erfolg dieser Konditionierung nicht mit dem bei Keramikrestorationen vergleichbar. Die alleinige Silanisierung war nicht überzeugend, da in jeder Zementgruppe eine jeweils andere Konditionierung als diese überlegen war. Die Silanisierung alleine hatte im Gegensatz zur Kombination mit dem CoJet-Verfahren und der Flusssäureätzung keine mechanische Komponente, sondern nur eine chemische Wirkung. Deshalb war die mit dem jeweiligen Komposit funktionierende chemisch-mechanische Kombination effektiver.

Als Erklärung, warum Build-It und Calibra am besten ohne Oberflächenkonditionierung funktionierten, könnte eine interpenetrierende Diffusion der Kompositbestandteile vermutet werden, die vom Vorhandensein einer Silanschicht eher gestört wurde.

Weiterhin erscheint angesichts der vorrangig adhäsiven oder gemischten Bruchmodi zwischen Stift und Komposit der Verbund zum Stift die Schwachstelle darzustellen. Allerdings ist fraglich, ob dieser Verbund verbessert werden kann, da die Stabilität der Glasfasern in der Matrix, d. h. der FRC-Stift selbst, geringer ist als beispielsweise Metallstifte, sodass mitunter auch Glasfasern aus der Oberfläche gerissen wurden. Demzufolge dürften auch bei verbessertem Verbund keine höhere Haftfestigkeiten,

aber kohäsive Frakturen entweder im Komposit oder im FRC-Material erwartet werden.

## **6.2 Diskussion der Stiftpassung**

Um den Einfluss der Kompositzementfugenbreite auf die Haftfestigkeit der Stifte zu untersuchen, sollten andere Einflüsse und Faktoren möglichst vermieden werden.

Unter klinischen Bedingungen hat ein weiter Wurzelkanal, der weiter ist als ein präfabrizierter Wurzelstift, keine gleichmäßige Übergröße wie die Wurzelkanäle dieser Untersuchung. Normalerweise passt ein präfabrizierter Stift zu der Wurzelkanalbettpräparation und hat nur eine erweiterte Fugenbreite in den individuell geformten Bereichen der Wurzelkanäle. Da es unmöglich war, eine reproduzierbare Studie mit individuell geformten Wurzelkanälen durchzuführen, wurde dieses Studiendesign mit definierten Wurzelkanälen gewählt (HAGGE et al. 2002, PERDIGÃO et al. 2007). Ein präzise passender Stift hat eine Zementfugenbreite von ca. 50 µm, dieses wurde bereits in früheren Studien für ER-Stiftaufbausysteme ausgewertet (SCHMAGE et al. 2005, NERGIZ et al. 2002). Die Größe des Spaltes eines Größe-II-Stiftes in einem Wurzelkanal der Größe III liegt bei etwa 200 µm im koronalen Anteil und nimmt nach apikal bis zur Stiftspitze bis 100 µm ab.

Zur Stiftinsertion in zu weiten Kanälen sollten Aufbaukomposite getestet werden, die als Aufbaumaterialien in koronalen Anteil des Stiftes verwendet werden (MONTICELLI et al. 2004). Das Erstellen eines sog. „Monoblocks“ ist nicht nur ökonomischer, sondern erlaubt auch die Herstellung von Stift-Zementierung und Aufbau aus einem Stück. Zu den Aufbaukompositen, die in dieser Studie verwendet wurden, zählen Build-It, MultiCore Flow und Rebuilda DC, wohingegen es sich bei RelyX Unicem und Calibra um Kompositzemente handelte (SCHMAGE et al. 2006). Vielversprechende Ergebnisse wurden für MultiCore Flow (MAGNI et al. 2007) und RelyX Unicem (GORACCI et al. 2004) berichtet.

Die ständige Weiterentwicklung der Kompositzemente macht den Vergleich mit anderen Studien schwierig, da meist unterschiedliche Komposite verwendet wurden. Aufbaukomposite benötigen eine fließfähige Konsistenz, um in den Wurzelkanälen angewendet werden zu können und kleine Unterschnitte der Pulpenkammer auszufüllen (MONTICELLI et al. 2004). Deshalb liegt der Füllervolumenanteil

normalerweise mit relativ feinen Füllern unter 50%. Nichtsdestotrotz lag der Fülleranteil der Aufbaukomposite höher als bei den Kompositzementen (PEST et al. 2002). Hinsichtlich der Anwendung und der gleichmäßigen Füllung der Fuge zwischen Stift und Wurzelkanalwand können sowohl Aufbaukomposite als auch Kompositzemente zur Stiftinsertion verwendet werden, auch wenn es sich um eine sehr schmale Fuge handelt. Bisher schien der Schwachpunkt unabhängig von der Zementfugenbreite in der Verbindung zwischen dem FRC-Stift und dem Komposit zu liegen.

Die Glasfasern des Stiftes sind in eine Kunststoffmatrix eingebettet. Wie der erste Teil der Untersuchung zeigte, kann die Oberflächenkonditionierung der FRC-Stifte in Abstimmung mit dem geeigneten Befestigungskomposit die Haftfestigkeit zwar signifikant erhöhen, es ist jedoch fraglich, ob die signifikante Abnahme der Haftfestigkeitswerte der FRC-Stifte in zu weiten Kanälen mit der Oberflächenkonditionierung der FRC-Stifte kompensiert werden könnte. Darüber hinaus sollte die Höhe der Haftfestigkeitswerte der exakt passenden Stifte, die dargestellt wurden, als Goldstandard gelten, welche auch in den zu großen Kanälen erreicht werden sollte. Dieser Goldstandard kann durch die Stiftkonditionierung bereits verbessert werden. Die Aufbaukomposite MultiCore Flow und Rebuilda DC zeigten ohnehin niedrigere Haftfestigkeitswerte als die Kompositzemente in passenden Kanälen. Build-It war das einzige Aufbaukomposit, das verglichen mit den Kompositzementen ähnliche Ergebnisse aufwies. Dieses könnte an den zusätzlich in das Komposit beigefügten verstärkenden kurzen Glasfasern liegen. Diese Glasfasern können im Vergleich zu den anderen Testgruppen eventuell der Grund für die besseren Ergebnisse von Build-It in den zu weiten Kanälen sein (PEST et al. 2002). Diese kurzen Glasfasern können aber nicht stärker als die lang angeordneten Glasfasern der FRC-Stifte sein. Die niedrigen Haftfestigkeitswerte um 200 N für die FRC-Stifte in den überdimensionierten Wurzelkanälen waren signifikant. Es ist unklar, ob diese Werte klinisch ausreichend und erfolgreich sein können, auch wenn FRC-Stifte ihre Indikation nur in moderaten koronalen Defekten haben und ihre Belastbarkeit durch das Ferrule-Design relativiert wird.

Im Gegensatz zu der gegenwärtigen Literatur (HAGGE et al. 2002, PERDIGÃO et al. 2007) hat die Stiftbettpräparation einen signifikanten Einfluss auf die Haftfestigkeitswerte der Wurzelstifte. In beiden Studien wurden die Wurzelkanäle erst mit einer Wurzelfüllung versehen und anschließend die Stifte inseriert. Es wurde



ebenso nur ein Komposit verwendet. HAGGE et al. (2002) untersuchten einen zylindrischen Metallwurzelstift mit Panavia 21 EX, daher können die unterschiedlichen Ergebnisse mit der Stiftart und dem Material zusammenhängen. Zudem haben sie nur kohäsive Bruchmodi für die exakt passenden Stifte und nur adhäsive Bruchmodi an dem Dentin für die weiten Zementfugen gefunden, was im Widerspruch zur vorliegenden Arbeit steht. Die Studien von PERDIGÃO et al. (2007) zeigen drei Zementfugenbreiten in zu weiten Kanälen, wobei ein lichthärtendes Adhäsiv verwendet wurde. Die Haftfestigkeitswerte wurden ohne Thermocycling gemessen. Übereinstimmend besteht die Auffassung, dass die Haftfestigkeit von der Dimension der Zementfugenbreite abhängt (FURUKAWA 2002).

Eine Lösung für individuell geformte Wurzelkanäle könnte das Verwenden von Everstick für die Restaurationen sein (Stick Tech Ltd., Turku, Finnland), indem einzelne Glasfasern angepasst werden, um die Wurzelkanalform auszufüllen, bevor die ganze Modelation erhärtet wird und mithilfe eines Kompositzements eingesetzt wird (MANNOCCI et al. 2006). Ferner sollten Studien weiter vorangetrieben werden hinsichtlich der mechanischen Alterung, um mehr Erkenntnisse über dieses Problem zu erlangen. Haftfestigkeitstests und REM-Analysen sind grundsätzlich anerkannte Methoden, um Studien über Haftwerte zwischen FRC-Stiften und Kompositen zu evaluieren (MAGNI et al. 2007, GORACCI et al. 2004).

Hinsichtlich der Ergebnisse dieser Studie sollte das Wurzelkanalbett möglichst passend und präzise entsprechend dem ausgewählten FRC-Stift präpariert werden. Aufbaukomposite sind momentan noch nicht zum Inserieren von FRC-Stiften in zu weite Wurzelkanäle zu empfehlen, und einige müssen weiter verbessert werden, bis die Monoblock-Rekonstruktion von wurzelkanalbehandelten Zähnen die Erwartungen erfüllt.

## 7 Schlussfolgerung

---

1. FRC-Stifte erzielten auch ohne Konditionierung außer mit Rebuilda DC mit AdheSE und MultiCore Flow gute Haftfestigkeitswerte.
2. Die Haftfestigkeiten ließen sich bei Verwendung von RelyX Unicem, MultiCore Flow und Rebuilda DC durch tribochemische Vorbehandlung der Oberflächen noch steigern. Zudem zeigten alle CoJet-behandelten Stiftoberflächen kohäsive Bruchmodalitäten, was für eine gute Haftung der Zemente sowohl zum Stift als auch zum Dentin spricht. Daher sollte die tribochemische Konditionierung der FRC-Stifte vor ihrer Insertion in Abstimmung mit einem geeigneten Zement befürwortet werden, außer mit Build-It und Calibra.
3. Die Silanisation der FRC-Stifte bewirkte in keiner Gruppe eine signifikante Haftfestigkeitssteigerung und hat sich demzufolge nicht bewährt.
4. Die Flusssäurebehandlung der FRC-Stifte führte, außer mit Rebuilda DC mit AdheSE, zu signifikant niedrigeren Haftwerten in allen anderen Gruppen und kann somit außer in dieser Kombination nicht empfohlen werden.
5. Adhäsive Bruchmodi an der Wurzelkanalwand waren bei allen Zementen und Konditionierungen außer mit CoJet-Konditionierung vorherrschend und zeugen von einer Schwachstelle zwischen Stift und Zement.
6. Die Wahl des Kompositzements zur Befestigung der FRC-Stifte erwies sich als entscheidend, um gute Haftfestigkeitsergebnisse zu erzielen, da die Haftfestigkeiten zwischen den verschiedenen Produkten erheblich variierten.
7. FRC-Stifte sollten nur in formkongruent passende Kanäle eingesetzt werden.
8. Die Insertion von FRC-Stiften in zu weite Kanäle hat, unabhängig vom Zement, einen hohen Haftfestigkeitsverlust zur Folge. Demzufolge können auch die untersuchten Aufbaukomposite eine zu weite Zementfuge nicht stabil genug füllen. Ist keine Formkongruenz zwischen Stift und Kanal zu erzielen, sollte ein individueller Stiftaufbau gewählt werden.

## 8 Zusammenfassung

---

Zur Insertion von faserverstärkten Kompositstiften werden verschiedene Kompositzemente mit ihren jeweiligen Adhäsivsystemen angeboten und unterschiedliche Konditionierungsmethoden empfohlen. Ziel dieser Arbeit war, die Haftfestigkeiten und die Bruchmodalitäten von faserverstärkten Kompositstiften in Abhängigkeit von der Breite der Zementfuge, der Art der Konditionierung der Stiftoberfläche und dem Einfluss von fünf Befestigungskompositen zu prüfen.

Insgesamt wurden 250 menschliche, einwurzelige Zähne in 25 Gruppen à 10 Zähnen unterteilt. Die FRC-Stifte der Firma Komet, DentinPost wurden in Größe II mit Länge 12 mm verwendet. Zielparameter waren zunächst drei Methoden der Konditionierung der Stiftoberfläche: alleinige Silanapplikation, Flusssäureätzung und tribochemische Beschichtung mit dem CoJet-System mit nachfolgender Silanapplikation, die im Vergleich zur Kontrollgruppe ohne Konditionierung untersucht wurden. Wiederum wurde jede Konditionierungsgruppe mit den fünf verschiedenen Befestigungskompositen RelyX Unicem, Build-It, MultiCore Flow, Rebilda DC und Calibra getestet. Als weitere Zielparameter sollte der Einfluss der Stiftpassung in Abhängigkeit vom Befestigungskomposit evaluiert werden. Dazu wurden die Wurzelkanäle auf Stiftgröße III aufbereitet und FRC-Stifte der Größe II eingesetzt, diese wurden ebenfalls mit der Kontrollgruppe der ersten Fragestellung, den unbehandelten FRC-Stiften in passenden Kanälen, verglichen.

Alle Zemente wurden nach Herstellerempfehlung verarbeitet, bis auf Rebilda DC, welches mit AdheSE angewendet wurde.

Nach Stiftinsertion und Aushärtung der Zemente wurden die 250 Zähne 24 Stunden gelagert und anschließend einer künstlichen Alterung unterzogen (Thermocycling 5° bis 55° C, 5000 Zyklen). Die axialen Abzugsfestigkeiten der Stifte (Instron-Maschine) wurde gemessen und das Bruchverhalten zwischen Zahnwurzel und Stift lichtmikroskopisch sowie mittels Rasterelektronenmikroskop (REM) bestimmt. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet (ANOVA, Scheffé-Korrektur,  $\alpha = 0,05$ ).

Bei FRC-Stiften mit tribochemischer Beschichtung wurden die höchsten Haftfestigkeitswerte mit RelyX Unicem ( $541 \pm 130$  N), Rebilda DC ( $539 \pm 43$  N) und mit MultiCore Flow ( $536 \pm 83$  N) gemessen. Die niedrigste Haftfestigkeit besaßen mit Flusssäure behandelte FRC-Stifte, die mit Calibra ( $129 \pm 37$  N) eingesetzt waren.

Außer diesem niedrigsten Wert lagen die Haftfestigkeiten für alle Konditionierungsarten und mit allen verwendeten Zementen durchschnittlich über 230 N.

Gute Haftfestigkeitswerte um 400 N wurden für RelyX Unicem ( $454 \pm 67$  N), Build-It ( $422 \pm 46$  N) und Calibra ( $408 \pm 53$  N) ohne Konditionierung der FRC-Stifte gefunden. Zwischen den verschiedenen Kompositen mit den einzelnen Konditionierungsmethoden bestanden signifikante Unterschiede.

In den meisten Fällen wurden kohäsive Bruchmodi oder adhäsive Bruchmodi zwischen Stift und Komposit festgestellt, sodass die Schwachstelle innerhalb des Kompositzements lag. Da kohäsive Bruchmodi zu bevorzugen sind, kann die tribochemische Beschichtung der FRC-Stifte bei Verwendung von RelyX Unicem, MultiCore Flow und Rebuilda DC mit AdheSE empfohlen werden. Ohne Beschichtung wurden Werte, die mit den Ergebnissen früherer Untersuchungen mit Titanstiften gleicher Größe vergleichbar waren, für RelyX Unicem, Build-It und Calibra erreicht. Die Silanapplikation allein brachte keine deutlichen Vorteile und die Flusssäure-Konditionierung senkte sogar die Werte signifikant mit Ausnahme von Rebuilda DC mit AdheSE.

Die Haftfestigkeitswerte der unkonditionierten FRC-Stifte in den Kanälen der ISO-Größe 110 lagen signifikant niedriger als die der passenden unkonditionierten FRC-Stifte unabhängig vom verwendeten Befestigungskomposit außer mit Rebuilda DC. Maximal wurden bei weiter Zementfuge Haftfestigkeitswerte von ca. 300 N mit Build-It und minimal von ca. 150 N mit Calibra erzielt. In den zu weiten Kanälen wurden nahezu nur adhäsive Bruchmodi bestimmt. Der Zement klebte adhäsiv im Kanal und nicht am Stift. Dieses zeigte, dass die Schwachstelle die Verbindung des FRC-Stiftes mit dem Zement war.

Das Einsetzen von FRC-Stiften in nicht formkongruent passenden Kanälen kann nicht empfohlen werden, da die Haftwerte sich gegenüber denen bei passender Stiftbettpräparation reduzieren. Die Aufbaukomposite besaßen keine ausreichende Stabilität, um eine sehr weite Zementfuge zu kompensieren.

Der Einfluss des Befestigungskomposits, der Konditionierungsart und der Breite der Zementfuge auf die Haftfestigkeiten von FRC-Stiften wurde bewiesen.

## 9 Literaturverzeichnis

---

1. **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
2. **Aksornmuang J, Foxton RM, Nakajima M (2004)** Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *J Dent* 32 (6): 443-50
3. **Aksornmuang J, Nakajima M, Foxton RM (2006)** Regional bond strengths of a dual-cure resin core material to translucent quartz fiber post. *Am J Dent* 19(1): 51-5
4. **Asmussen E, Peutzfeld A, Heitmann T (1999)** Stiffness elastic limit, and strenght of newer types of endodontic posts. *J Dent* 27: 275-8
5. **Babenhauerheide K (2004)** Untersuchungen zur mechanischen Belastbarkeit und zum Verlauf der Bruchflächen verschiedener Stiftstumpfaufbausysteme nach künstlicher Alterung. Med. Diss. Charité Berlin
6. **Babenhauerheide K & Freesmeyer WB (2004)** Bruchlastverfahren metallfreier Stiffaufbausysteme nach künstlicher Alterung. *ZWR* 113: 553-8
7. **Barkholder RA, Radke R, Abbasi J (1989)** Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. *J Prosthet Dent* 61: 676-8
8. **Bateman G, Ricketts DN, Saunders WP (2003)** Fibre-based post systems: a review. *Br Dent J* 195: 43-8
9. **Behr M, Leibrock A, Stich W, Rammelsberg P, Rosentritt M, Handel G (1998)** Adhesive fixed partial dentures in anterior and posterior areas. Result on an on-going prospective study begun in 1985. *Clin Oral Investig* 2: 31-35
10. **Bitter K, Paris S, Martus P, Schartner RM, Kielbassa AM (2004)** A Confocal Laser Scanning Microscope investigation of different dental adhesive bonded to root canal dentine. *International Endodontic Journal* 37: 12, 840-8
11. **Bitter K, Kanjuparambil JP, Priehn K, Martus P, Kielbassa AM (2005)** In-vitro-Studie zur Haftung verschiedener Befestigungskomposite am Wurzelentin. *Dtsch Zahnärztl Z A* (394): 105

12. **Blankenstein F, Naumann M, Lange KP (2002)** Überlebenswahrscheinlichkeit endodontisch behandelter Zähne – Vorschlag zur klinischen Erfassung des Erhaltungsgrades. Dtsch Zahnärztl Z 57: 558-61
13. **Butz F, Lennon A, 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
14. **Caputo AA, Standlee JP (1976)** Pins and posts – why, when and how. Dent Clin North Am 20: 299-311
15. **Cobb DS, Vargas MA, Fridrich TA, Bouschlicher MR (2000)** Metal surface treatment: characterization and effect on composite-to-metal bond strength. Oper Dent 25/5: 427-433
16. **Colley IT, Hampson EL, Lehmann ML (1968)** Retention of post crowns. Br Dent J 16: 63-69
17. **Dallari A, Rovatti L (1997)** Sette anni di esperienza in vitro ed in vivo con i perni in fibra di carbonio. Atti. Del Simposio Internazionale di Odontoiatria Adesiva, S. Margherita Ligure: 36-43
18. **de Cleen MJH (1994)** Richtlinien zur Restauration wurzelbehandelter Zähne. Endodontie 4: 289-97
19. **Dennison JB, Craig RG (2002)** Preventive materials. In: Craig RG, Powers JM (Eds) Restorative Dental Materials. Mosby, St. Louis 11: 199-216
20. **Derand P, Derand T (2000)** Bond strenght of luting cement to zirconium oxide ceramics. Int J Prosthodont 13: 131-5
21. **de Rijk WG (2000)** Removal of fiber posts from endodonticaly treated teeth. Am J Dent 13: 19B-21B
22. **De Sort KD (1983)** The Prosthodontic use of endodontically tresated teeth: Theory and biomechanics of post preparation. J Prosthet Dent 49: 203-6
23. **DGZMK-Stellungnahme (2003)** Aufbau endodontisch behandelter Zähne. Dtsch Zahnärztl Z 58: 199-201
24. **DGZMK-Stellungnahme (2004)** Aufbaufüllungen für einen vitalen Zahn
25. **DGZMK-Stellungnahme (2006)** Wurzelkanalspülung. DZZ 10
26. **Dietschi D, Romelli M, Goretti A (1997)** Adaptation of adhesive posts and cores to dentin after fatigue testing. Int J Prosthodont 10: 498-507

27. **Donovan TE, Chee WWL (1993)** Endodontically treated teeth – A summary of restorative concerns. J Can Dent Assoc 21: 49-56
28. **Edelhoff D, Marx R (1995)** Adhäsion zwischen Vollkeramik und Befestigungskomposit nach unterschiedlicher Oberflächenbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z 50: 112-17
29. **Edelhoff D, Marx R, Yildirim M, Spiekermann H (1999)** Klinische Einsatzmöglichkeiten der intraoralen Silikatisierung. Dtsch Zahnärztl Z 54/12: 745-752
30. **Edelhoff D, Abuzayeda M, Yildirim M, Spiekermann H, Marx R (2000a)** Adhäsion von Kompositen an hochfesten Strukturkeramiken nach unterschiedlicher Oberflächenbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z 55(9): 617-23
31. **Edelhoff D, Spiekermann H, Yildirim M (2000)** Klinische Erfahrungen mit konfektionierten Wurzelstiften und individuellen Stumpfaufbauten aus Keramik. Dtsch Zahnärztl Z 55: 746-50
32. **Edelhoff D, Weber M, Spiekermann H, Marx R (2006)** PVD-Beschichtung für verbesserte Retention glasfaserverstärkter Wurzelkanalstifte. Schweiz Monatschr Zahnmed 116/10: 992-9
33. **Eichner K (1981)** Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung, 4. Aufl., Bd 2: Werkstoffe unter klinischen Aspekten. Hüthig, Heidelberg
34. **Feher A, Egger B, Lüthy H, Schumacher M, Loeffel O, Schärer P (1999)** ISO-Zementevaluation und klinische Untersuchungen von Zirkonoxidstiften. Acta Med Dent Helv 4: 201-9
35. **Fernandes AS, Dessai GS (2001)** Factors affecting the fracture resistance of post-core reconstructed teeth: A review. Int J Prosthodont 14: 355-63
36. **Ferrari M, Scotti R (2002)** Classification of endodontic posts. In: Ferrari M, Scotti R (Eds): Fiber posts characteristics and clinical application. Masson, Milano: 7-14
37. **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
38. **Ferrari M, Vichi A, Grandini S, Gorracci 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
39. **Fischer D (2006)** Restauration eines Endo-Zahnes? UltraDent News 2: 1

40. **Fischer H, Edelhoff D, Marx R (1998)** Mechanische Beanspruchbarkeit von Zirkonoxid-Wurzelstiften. Dtsch Zahnärztl Z 53: 854-8
41. **Fokkinga WA, Kreulen CM, Vallittu PK, Creugers NHJ (2004)** A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal, and ceramic post-and-core systems. Int J Prosthodont 17: 476-82
42. **Furukawa K, Norimichi I, Jungi T (2002)** The effect of luting resin bond to dentin on the strength of dentin supported by indirect resin composite. Dental Material 18: 136-142
43. **Fusayama T, Iwamoto T (1960)** Relationship between retaining force of inlays and film thickness of zinc oxydphosphate cement. J Dent Res 39 : 756-60
44. **Göbel R, Luthard R, Welker D (1998)** Experimentelle Untersuchung zur Befestigung von Restaurationen von Zirkonoxid und Titan. Dtsch Zahnärztl Z 53: 295-8
45. **Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A, Monticelli F, Raffaelli O, Cardoso PC, Tay F, Ferrari M (2004)** The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurement. Eur J Oral Sci 112: 353-61
46. **Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Baileri B, Bertelli E, Ferrari M (2005)** The adhesion between prefabricated FRC posts and composite cores: microtensile strenght with and without post silanization. Dent Mater 21: 437-44
47. **Gutzwiller WL, Strub JR (1982)** Der Einfluß der Oberflächenrauigkeit des Dentins auf Glasionomermzementhaftung. Schweiz Mschr Zahnheilk 92: 751-7
48. **Hagge MS, Wong RDM, Lindemuth JS (2002)** Effect of three root canal sealers on the retentive strength of endodontic posts luted with a resin cement. International Endodontic J 35: 372-78
49. **Haller B, Blunck U (2003)** Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme. Zahnäztl Mitt 93 (7): 808-48
50. **Heidemann D (2005)** Endodontie, Praxis der Zahnheilkunde 4. Aufl. Broschur Elsevier Urban & Fischer
51. **Hemmings KW, King PA, Setchell DJ (1991)** Resistance to torsional forces of various post and core designs. J Prosthet Dent 66: 325-9



52. **Heydecke G, Butz F, Strub JR (2001)** Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restauration with different post and core systems: an in-vitro study. *J Dent* 29: 427-33
53. **Heydecke G, Butz F, Hussein A, Strub JR (2002)** Fracture strength after dynamic loading endodontically treated teeth restored with different post-and-cores systems. *J Prosthet Dent* 87: 438-45
54. **Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J, Ikeda T, Van Landuyt K, Maida T, Lamprecht P, Peumans M (2007)** Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin *Dental Materials* 23 (1): 71-80
55. **Hoffmann M (1985)** Das ER-Stiftsystem zum Aufbau marktoter Zähne (I) *Quintessenz* 36, 1: 41
56. **Huber K, Thoma M, Wrbas T, Hanning M (2002)** Adhäsiver Verbund faserverstärkter und keramischer Wurzelstifte. Autoreferate – Band der 16. Jahrestagung der deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung in Leipzig
57. **Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A (2003)** Chelating agents in root canal treatment mode of action and indications for their use. *Int Endod J* 36: 810-830
58. **Isidor F, Ödman P, Brondum K (1996)** Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts. *Int J Prosthodont* 9: 131-6
59. **Janssen U, Hülsmann M (2003)** Das Bruchverhalten endodontisch verankerter Aufbauten mit den Wurzelstiftsystemen Luscent-Anchor und Perma-tex im In-vitro-Test. *Dtsch Zahnärztl Z* 58: 331-6
60. **Kalkan M, Usumez A, Ozturk AN, Belli S, Eskitascioglu G (2006)** Bond strength between root dentin and three glass-fiber post systems. *J Prosthet Dent* 96(1): 41-6
61. **Kampe MT (2005)** Retention glasfaserverstärkter Wurzelkanalstifte in Abhängigkeit vom Befestigungskomposit. Zahnmed. Dissertation. Universität Freiburg
62. **Kern M, Pleimes AW, Strub JR (1995)** Bruchfestigkeit metallischer und vollkeramischer Stiftkernaufbauten. *Dtsch Zahnärztl. Z* 50: 451-3
63. **Kern M, Simon MHP, Strub JR (1998)** Erste klinische Erfahrung mit Wurzelstiften aus Zirkonoxydkeramik. *Dtsch Zahnärztl. Z* 53: 266-8
64. **Kern M, Wegner SM (1998)** Bonding to zirconia ceramics: adhesion methods and their durability. *Dent Mater* 14: 64-71

65. **King PA, Setchell DJ, Rees JS (2003)** Clinical evaluation of a carbon fibre reinforced carbon endodontic post. *J Oral Rehabil* 30: 785-9
66. **Lambjerg-Hansen H, Asmussen E (1994)** Mechanical properties of endodontic posts. *J. Oral Rehabil* 24: 882-7
67. **Lau VM (1976)** The reinforcement of endodontically treated teeth. *Dent Clin North Am* 20: 313-28
68. **Lauer HC, Ottl P, Weigl P (1994)** Mechanische Belastbarkeit verschiedener Stiftaufbau-Systeme. *Dtsch Zahnärztl Z* 49: 985-9
69. **Lewinstein I, Grajower R (1981)** Root dentin hardness of endodontically treated teeth. *J Endodontics* 7: 421-2
70. **Lewis R, Smith BGN (1988)** A clinical survey of failed post retained crowns. *Br Dent J* 165: 95-7
71. **Lloyd PM, Palik JF (1993)** The philosophies of dowel diameter preparation: A literature review. *J Prosthet Dent* 69: 32-6
72. **Lui JL (1994)** Depth of composite polymerization within simulated root canals using light-transmitting posts. *Oper Dent* 19: 165-8
73. **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 an SEM investigation following different treatments of the post surface. *J Adhes Dent* 9, 195-202.
74. **Mannocci F, Ferrari M, Watson TF (1999)** Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. *J Adhesive Dent* 2: 153-8
75. **Mannocci F, Ferrari M, Watson TF (2001)** Mikroleakage of endodontically treated teeth restored with fiber posts and composite cores after cyclic loading: A confocal microscopic study. *JProsthet Dent* 85: 284-91
76. **Mannocci F, Sherif M, Watson TF, Vallittu PK (2005)** Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. *International Endodontic J* 38, 46-51
77. **Marshak BL, Helft H, Filon R (1988)** Factors mitigating against the use of dowels in endodontically teeth. *Quintessence Int* 19: 417-21
78. **Martignoni M, Baggi L, Cocchia D, Martignoni M (1990)** Il perno mencone passivo. *AH Dent* 38: 3-16

79. **Martinez-Insua A, Da Silva L, Rilo B, Santana U (1998)** Comparison of the fracture resistance of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core. *J Prosthet Dent* 80: 527-32
80. **Marxkors R (1973)** Rauhtiefe. *Zahnärztl. Welt* 82: 498
81. **Marxkors R, Meiners H (1982)** Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde, 2. Aufl., Hanser, München
82. **McLean A (1998)** Criteria for the predictably restorable endodontically treated tooth. *J Can Dent Assoc* 64: 652-6
83. **Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, Ho R (1997)** Root reinforcement with a resinbonded preformed post. *J Prosthet Dent* 78, 10-5
84. **Metzger M (2004)** In-vitro-Untersuchung der Polymerisation verschiedener Komposite für die Befestigung zahnfarbener konfektionierter Wurzelstifte in Wurzelkanälen. Med Dissertation. Universität Freiburg
85. **Miller BH, Nakajima H, Powers JM, Nunn ME (1998)** Bond strength between cements and metals used for endodontic posts. *Dent Mater* 14: 312-20
86. **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
87. **Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F (2001)** The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J* 34: 346-53
88. **Monticelli F, Gorracci C, Ferrari M (2004)** Micromorphologie of the fiber post-resin core unit: a scanning electron microscopy evaluation. *Dent Mater* 20: 176-183
89. **Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Cury AH, Goracci C, Ferrari M (2006a)** Post-surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. *Dent Mater* 22/7: 602-9
90. **Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Osorio R (2006b)** Effect of temperature on the silane coupling agents when bonding core resin to quartz fiber posts. *Dent Mater* 22 (11): 1024-8
91. **Morgano SM (1996)** Restauration of pulpless teeth: Application of traditional principles in present and future contexts. *J Prosthet Dent* 75: 375-80
92. **Morgano SM, Brackett SE (1999)** Foundation restorations in fixed prosthodontics: Current knowledge and future needs. *J Prosthet Dent* 82: 643-57

93. **Morgano SM, Milot P (1993)** Clinical success of cast metal posts and cores. J Prosthet Dent 70: 11-6
94. **Musil R, Tiller HJ (1989)** Der Kunststoff/Metall-Verbund. Hüthig Verlag, Heidelberg
95. **Nakabayashi N, Kojima K, Masuhara E (1982)** The promotion of adhesion by infiltration of monomers into tooth substrates. J Biomed Mater Res 16: 265-273
96. **Naumann M (2003)** Wann Wurzelstifte indiziert sind – Klassifikation und Therapiekonzept. Quintessenz 54: 931-8
97. **Naumann M, Blankenstein F (2002)** Adhäsive Restauration endodontisch behandelter Zähne mit Hilfe glasfaserverstärkter Kompositstifte. Quintessenz 53: 539-47
98. **Naumann M, Blankenstein F (2004)** Optimierte postendodontische Rekonstruktion mit längenreduzierten Wurzelstiften und selbstadhäsivem Befestigungszement. Quintessenz 55(11): 1303-8
99. **Naumann M, Blankenstein F, Lange K (P. 13.-16. Mai 2004)** 53. Jahrestagung der DGZPW, Abstracts P #12
100. **Naumann M, Rosentritt M, Preuß A (2006)** Belastbarkeit adhäsiv rekonstruierter oberer, mittlerer Schneidezähne in Abhängigkeit vom Material der Kronenzementierung: eine vergleichende In-vitro-Studie. Dtsch Zahnärztl. Z 61/9: 479-83
101. **Nergiz I, Platzer U (1995)** Die Haftung verschiedener Kompositaufbauten an Titanwurzelstiften. Dtsch Zahnärztl Z 50: 447-50
102. **Nergiz I, Schmage P (2004)** Wurzelstifte im Wandel der Zeit. Endodontie Journal 1: 10-17
103. **Nergiz I & Schmage P (2005)** ER-System: Erlanger-Wurzelstiftaufbausystem Komet-Broschüre, Gebr. Brasseler Löhne Brackmann: 1-22
104. **Nergiz I, Schmage P, Platzer U (1993)** Abzugskraftmessung bei Wurzelstiften mit verschiedenen Oberflächen. Dtsch Zahnärztl Z 48: 661-4
105. **Nergiz I, Schmage P, Platzer U, Mc Mullan-Vogel C (1997)** Effects of different surface textures on retentive strength of tapered posts. J Prosthet Dent 78: 451-7
106. **Nergiz I, Sohn J, Schmage P, Platzer U (2001)** Retentive strenghts of metal posts using chemical surface treatment. J Dent Res 80-A 690 Nr. 1306

107. **Nergiz I, Schmage P, Özcan M, Platzer U (2002)** Bond strengths of five tapered root posts regarding the post surface. *J Oral Rehabil* 29: 330-5
108. **Nergiz I, Schmage P, Özcan M, Platzer U (2002)** Effect of length and diameter of tapered root posts on the retention. *J Oral Rehabil* 29: 28-34
109. **Øilo g, Jørgensen KD (1978)** The influence of surface roughness on the retentive ability of two dental luting cements. *J Oral Rehabil* 5(4): 377-89
110. **Ottl P, Hahn 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
111. **Özcan M, Vallittu PK (2003)** Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater* 19: 725-31
112. **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. *Quintessenz Int* 29: 713-24
113. **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
114. **Paul S, Schärer P (1996)** Plastischer Aufbau in der Kronen- und Brückenprothetik. *Quintessenz* 47: 1519-31
115. **Perdigão J, Gomes G, Augusto V (2007)** The effect of dowel space on the strengths of fiber posts. *J Prosthodont* 16: 154-64
116. **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
117. **Pfeiffer P (1993)** Haftung von Kunststoff an Legierungen abhängig von der Korngröße bei tribochemischer Beschichtung. *Dtsch Zahnärztl Z* 48: 692-695
118. **Pfeiffer P, Nergiz I, Platzer U (2002)** Yield strength of zirconia and glass fiber-reinforced posts. *J Dent Res* 81: A-428 Nr 3477
119. **Pfeiffer P; Schulz A; Nergiz I; Schmage P (2006)** Yield strength of zirconia and glass fibre-reinforced posts. *Journal of Oral Rehabilitation*. 33(1): 70-4,
120. **Pierrisnard L, Bohin F, Renauld P, Barquins M (2002)** Corono-radicular reconstructions of pulpless teeth: A mechanical study using finite element analysis. *J Prosthet Dent* 88: 442-8

121. **Piwowarczyk A, Lauer HC, Sorensen JA (2002)** Dentin Shear Bond Strength of Various Luting Cements. CED, Cardiff UK, #215
122. **Piwowarczyk A, Lindemann K, Zipprich H, Lauer H CH (2003)** Long-term Shear Bond Strength of Luting Cement to Dentin. IADR Göteborg, Schweden, # 1456
123. **Powers JM (2002)** Composite restorative materials. In: Craig RG, Powers JM (eds) (2002) Restorative Dental Materials. 11. ed. Mosby, St. Louis
124. **Proño P (1997)** Eine neue Methode zur intraoralen Reparatur von Verblendungen. Med. Dissertation. Universität Köln
125. **Purton DG, Payne JA (1996)** Comparison of carbon fiber and stainless steel root canal posts. Quintessence Int 27: 93-7
126. **Qualtrough AJ, Mannocci F (2003)** Tooth-colored post system: a review. Oper Dent 28: 86-91
127. **Reeh ES, Messer HH, Douglas WH (1989)** Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. J Endodontics 15: 512-6
128. **Rinke S, Hüls A (1999a)** Postendodontische Frontzahnversorgung. Quintessenz 50: 893-903
129. **Rinke S, Hüls A (1999b)** Postendodontische Seitenzahnversorgung. Quintessenz 50: 1035-47
130. **Rosenstiel SF, Land MF, Crispin BJ (1998)** Dental luting agents: A review of the current literature. J Prosthet Dent. 80: 280-301
131. **Rosentritt M, Fürer C, Behr M, Lang R, Handel G (2000)** Comparison of in vitro fracture strenght of metallic and tooth-coloured posts and cores. J Oral Rehabil 27: 595-601
132. **Rosentritt M, Behr M, Sikora M, Handel G (2004)** Einfluss der Stiftversorgung auf In-vitro-Bruchfestigkeit und Randqualität von Frontzahnkronen. Dtsch Zahnärztl Z 59 (6): 311-5
133. **Rosentritt M, Sikora M, Behr M, Handel G (2004)** In vitro fracture resistance and marginal adaptation of metallic and tooth-coloured post systems. J Oral Rehabil 31: 675-681
134. **Sahafi A, Peutzfeld 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

- 135. Sapone J, Lorencki SF (1981)** An endodontic-prosthetic approach to internal tooth reinforcement. *J Prosthet Dent* 45: 164-74
- 136. Schmage P (2006)** Persönliche Mitteilung 2006
- 137. Schmage P (2008)** Vorbeschichtete Wurzelstifte zeigen in In-vitro-Studien gute Resultate. *Die Zahnarzt Woche DZW* 33/08: 10
- 138. Schmage P, Nergiz I, Platzer U (1992)** Messung der Zementfuge bei Wurzelstiften mit verschiedenen Oberflächen. *Dtsch Zahnärztl. Z* 47: 785-8
- 139. Schmage P, Nergiz I, Czajkowska A, Platzer U (2003)** Retentive Strength of Root Posts Influenced by Endodontic Treatment. *J Dent Res* 82, B-53, IADR Abstr 0327
- 140. Schmage P, Nergiz I, Hermann W, Özcan M (2003)** Influence of Various Surface Conditioning Methods on the Bond Strength of Metal Brackets to Ceramic. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 123 (5): 540-6
- 141. 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 (9): 890-4
- 142. Schmage P, Özcan M, McMullan-Vogel C, Nergiz I (2005)** The Fit of Tapered Posts in Root Canals Luted with Zinc Phosphate Cement: A Histological Study. *Dental Materials*. 21: 787-93
- 143. Schmage P, Sohn J, Özcan M, Nergiz I (2006)** Effect of surface treatment of titanium posts on the tensile bond strength. *Dental Materials* 22: 189-94
- 144. 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
- 145. Schwartz RS, Robbins JW (2004)** Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J.Endod.* 30: 289-301.
- 146. Selçuk S (2006)** Intraorale Reperaturen von feststehendem Zahnersatz, Zahnmedizinische Dissertation, Universität Hamburg
- 147. Sen H (2007)** Haftfestigkeit Faserverstärkter Kompositstifte mit und ohne Radiopazität mit sechs Kompositzementen. Zahnmedizinische Dissertation. Universität Hamburg.
- 148. Sen H, Schmage P, Platzer U, Nergiz I (2005)** Retentive Bond Strengths of Conventional and Radiopaque FRC Posts. *J Dent Res.* 84, IADR Abstr. 0667

- 149. Shillingburg HT, Kessler JC (1982)** Restauration von wurzelbehandelten Zähnen. Quintessenz Verlag Berlin, Chicago, Rio de Janeiro, Tokio. S. 13-44
- 150. 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
- 151. Signore A, Kaitsas V, Barone M, Benedicenti S, Frazzigaro G (2003)** Repetitorium Adhäsive Zementierung faserverstärkter Wurzelstifte. Teamwork Interdisziplinäre Zahnheilkunde–6. Jahrgang, 3: 256-69
- 152. Simon MHP, Paffrath J (1995)** Neue Perspektiven zur vollkeramischen Stabilisierung und zum Aufbau devitaler Zähne. Quintessenz 46: 1-17
- 153. Sirimai S, Riis DN, Morgano SM (1999)** An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post and core systems. J Prosthet Dent 81: 262-269
- 154. Smith CT, Schumann N (1997)** Restauration of endodontically treated teeth: A guide for the restorative dentist. Quintessence Int 28: 457-62
- 155. Soltesz U (1998)** Polymerisationsschrumpfung einiger neuerer Komposit-Füllungswerkstoffe. Zahnärztliche Mitteilung 88: 1404-6
- 156. Soltesz U (1999)** Polymerisationsschrumpfung von "Definite" – Korrekturwerte. Zahnärztliche Mitteilungen 89: 58-9
- 157. Sorensen JA, Engelmann MJ (1990)** Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 64: 419-24
- 158. Sorensen JA, Engelmann MJ (1990)** Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. J Prosthet Dent 64: 419-24
- 159. Sorensen JA, Martinoff JT (1984)** Clinically significant factors in dowel design. J Prosthet Dent 52: 28-35
- 160. Städler P, Wimmershoff M, Shookoi H, Wernisch J (1995)** Kraftübertragung von vorgefertigten Wurzelkanalstiften. Schweiz Monatsschr Zahnmed 105: 1418-24
- 161. Stiefenhofer A, Hackhofer Th (1994)** Biomechanische Untersuchung von Stiftaufbauten mit Hilfe von Finite-Elemente-Analyse. Dtsch Zahnärztl Z 49: 711-5
- 162. Stockton LW (1999)** Factors affecting retention of post systems. A literature review. J Prosthet Dent 81: 380-5
- 163. Sturdevard JR (1995)** The art and science of operative dentistry (3rd ed), Mosby Publishing, St. Louis



- 164. Technical data sheet (2002)** Espertise RelyX Unicem. 3M Espe AG Seefeld
- 165. Tjan AHL, Tjan AH, Greive JH (1987)** Effects of various cementation methods on the retention of prefabricated posts. *J Prosthet Dent* 58: 309-13
- 166. Torbjörner A, Karlsson S, Ödmann PA (1995)** Survival rate and failure characteristics for two posts designs. *J Prosthet Dent* 73: 439-44
- 167. Trabert KC, Caput AA, Abou-Rass M (1978)** Tooth fracture – a comparison of endodontic and restorative treatments. *J Endodontics* 4: 341-5
- 168. Trope M, Maltz DO, Tronstad L (1985)** Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol* 1: 108-11
- 169. Utter JD, Wong BH, Miller BH (1997)** The effect of cementing procedures on retention of prefabricated metal posts. *JADA* 128: 1123-7
- 170. 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
- 171. Vallittu PK, Kurunmäki H (2002)** Bond strength of fibre-reinforced composite to the metal surface. *J Oral Rehabil* 30 (9): 887-92
- 172. Van Meerbeek B, Inokoshi S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G (1992)** Morphological aspects of the resin-dentin interdiffusion zone with different dentin adhesive systems. *J Dent Res* 71: 1530-1540
- 173. Van Meerbeek B, Peumans M, Verschueren M, Gladys S, Braem M, Lambrechts P, Vanherle G (1994)** Clinical status of ten dentin adhesive systems. *J Dent Res* 73: 1690-702
- 174. Vano M, Goracci C, Monticelli F, Tognini F, Gabrielle M, Tay FR, Ferrari M (2006)** The adhesion between fibre posts and composites resin cores: the evaluation of microtensile bond strength following various surface chemical treatments to posts. *International Endodontic J* 39: 31-9
- 175. Vasut O (2008)** Vergleich der Scherfestigkeiten verschiedener Wurzelstift-Aufbauten. Med Diss Hamburg
- 176. 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
- 177. Walter R, Miguez PA, Pereira PNR (2003)** Bond Strengths of Resin Luting Materials to Crown and Root Dentin. IADR Göteborg, Schweden, #1463

- 178. Weine FS, Wax AH, Wenckus CS (1991)** Retrospective study of tapered, smooth post systems in place for 10 years or more. J Endodont 17: 293-7
- 179. Welk A (2001)** Ästhetische Frontzahnrestauration mit dem konfektionierten Zirkonoxidstiftsystem CeraPost. ZMK 17:704-7
- 180. Wilson AD (1990)** Resin-modified glass-ionomer cements. Int J Prosthodont 3:425-29
- 181. Wood WW (1983)** Retention of posts in teeth with nonvital pulps. JProsthet Dent 49: 504-6
- 182. Wrbas KT, Kampe MT, Schirrmeister JF, Altenburger MJ, Hellwig E (2006)** Retention glasfaserverstärkter Wurzelkanalstifte in Abhängigkeit vom Befestigungskomposit. Schweiz Monatsschr Zahnmed 116/1: 18-24
- 183. Yoshida Y, van Meerbeck B, Nakayama Y, Snauwaert J, Hellmanns L, Lambrechts P, Vanherte G (2000)** Evidence of chemical bonding at biomaterial-hard tissue interfaces. J Dent Res 79: 709-14
- 184. Zumstein TA, Strub JR (1982)** Die Haftung von drei Befestigungszementen bei verschiedenen Oberflächenrauigkeit des Dentins. Dtsch Zahnärztl. Z 37: 16

## 10 Danksagung

---

Herrn Prof. Dr. I. Nergiz gilt mein besonderer Dank für die Anregung zu diesem Thema, die sehr gute Betreuung, für das Engagement und seinen stets wohlwollenden Rat zu den Untersuchungen.

Frau Dagmar Claussen (Dipl.Fotografin) danke ich für die Bearbeitung der mikroskopischen Bilder.

Herrn Frank Fischer (Chemisch-technischer Assistent) danke ich ebenfalls für die freundliche Unterstützung während der Promotion.

## 11 Curriculum vitae

---

### Persönliche Daten

Familienname: Caldas Gamboa Pinto  
Vorname: Esmeralda Dulce  
Geburtsdatum: 03. Dezember 1979  
Geburtsort: Reinbek / Deutschland  
Familienstand: ledig  
Staatsangehörigkeit: portugiesisch

### Schulischer Werdegang

1985 – 1989 Jan-Valkenburg Grundschule - Hamburg  
1986 – 1995 Parallele Teilnahme am Portugiesischunterricht  
in den Fächern „Portugiesische Sprache und Kultur“  
1989 – 1998 Gymnasium Klosterschule - Hamburg

### Beruflicher Werdegang

1999 – 2005 Studium der Zahnmedizin  
am Universitätsklinikum Hamburg - Eppendorf  
2005 – 2007 Vorbereitungsassistentin in der Praxis Dr. Borgmann  
2007 – 2008 Entlastungsassistentin in der Praxis Dr. Borgmann  
seit 2008 Zahnärztin in der Praxis Dr. Schütte

## 12 Erklärung

---

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig 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 (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe und 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 15.01.2009