



**Wissenschaftliche Publikationen
und klinische Evaluationen
zu quarzfaserverstärkten Wurzelstiften**

Das in diesem Handbuch enthaltene Material ist Ergebnis der Arbeit des Lehrgangs „Dottorato in Biomateriali Odontostomatologici“ (Doktoratslehrgang in Biomaterialien in der Odontostomatologie) der Universität Siena.

Es wurde realisiert mit freundlicher Unterstützung von:

Alvaro Curii
Andrea Fabianelli
Marco Ferrari
Andrea Gesi
Cecilia Goracci
Simone Grandini
Francesca Monticelli
Federica Papacchini
Ornella Raffaelli
Marco Simonetti
Roberto Sorrentino
Franklin Tay
Alessandro Vichi
Fernando Zarone

Das Kapitel über vorkonditionierte Faserstifte wurde mit Unterstützung von Professor Rudolf Marx, RWTH Aachen und Professor Daniel Edelhoff, LMU München geschrieben.

1. Einleitung	4
1.1. Funktionen eines Wurzelkanalstiftes	4
1.2. Klassifizierung der Stifte	4
1.3. Die Geschichte des Faserstifts	5
1.4. Indikation	6
2. Eigenschaften des DT Faserstifts	7
2.1. Zusammensetzung	7
2.2. Fasern	7-8
2.3. Matrix	9
2.4. Die externe Oberfläche des Stifts	9
2.5. Röntgenopazität	9
2.6. Qualitätskontrolle	9
3. Das Double Taper Design (DT)	10
4. Mechanische Eigenschaften und Ermüdungsresistenz: In-vitro Analyse	11-13
5. In-vivo-Test und Clinical Trial	14
6. Befestigungssystem	15
6.1. Empfohlene Adhäsivsysteme	15
6.2. Adhäsion Stift-Wurzelkanal	16
6.3. Beurteilung der abdichtenden Wirkung und Adhäsivmechanismus	16-17
6.4. Beurteilung unter dem REM der Anpassung Stift-Zement	17
6.5. Adhäsion zwischen Stift und Stumpfaufbaumaterial	18
6.6. Konditionierung des Stiftes	18
7. Vorkonditionierte Faserstifte: SL Beschichtung	19
7.1. Beschichtung und Konservierung des Aktivierungszustands	19
7.2. Verbundstabilität der Beschichtung unter simulierten klinischen Bedingungen	20
7.3. Auszugskraft für verschiedene Befestigungskomposite	21
7.4. Schichtdicke	21
8. Klinischer Fall (Vorgehen step by step): DT Light®Post	22-23
9. Klinische Prozedur bei DT Light®Post, DT White®Post und DT Light®SL	24
10. Fragen und Antworten	25-26
11. Literaturverzeichnis	27

Wissenswertes über glasfaserverstärkte Wurzelstifte wurde zusammen mit der Universität Siena, Italien und dem RWTH Aachen geschrieben.

Diese Broschüre ist ein Update der klinischen Evaluierung und wissenschaftlichen Literatur über Wurzelstifte.

1. Einleitung

1.1. Funktionen eines Wurzelkanalstiftes

Die wissenschaftliche Forschung hat mittlerweile den Standpunkt, welchem zufolge ein Wurzelkanalstift den verbliebenen Teil eines endodontisch behandelten Zahnteils verstärken könne, aufgegeben. Es ist allgemein bekannt und weitgehend bewiesen, dass die Hauptfunktion eines Wurzelkanalstiftes darin besteht, die Retention zwischen Restaurationsmaterial und Rest-Zahnstruktur zu schaffen. Die Verwendung eines Stiftes darf jedenfalls nicht zu einem erhöhten Frakturrisiko der Wurzel führen, sondern soll aufgrund seiner Fähigkeit, Belastungen einheitlich entlang des Wurzelkanals zu verteilen, die Konzentration von Belastungen in Bereichen mit erhöhter Fragilität verhindern.

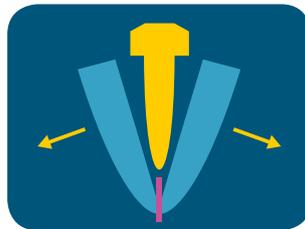
1.2. Klassifizierung der Stifte

Gemäß einer Klassifizierung nach Dallari (Lit. 1) werden die Stifte aufgrund der verschiedenen Vorgehensweisen bei der Rekonstruktion unterschieden:

- A) Metallstifte mit Selbstretention**
- B) Metallstifte mit passiver Retention**
- C) Metallfreie Stifte mit passiver Retention**

A) Der ersten Gruppe gehören Stifte an, die einen engen Kontakt mit der Wand des endodontisch präparierten Wurzelkanals entwickeln und selbst für ihre Retention sorgen: zu diesen gehören mit Zinkoxidphosphat befestigte Metall-Stiftkernaufbauten und Systeme mit selbstschneidendem Gewinde sowie verschiedene handelsübliche Wurzelschraubentypen (Abbildung 1).

Abbildung 1
Risiko von Wurzelfraktur bei
Metallstiften mit Selbstretention



B) Zu den Metallstiften mit passiver Retention gehören Metallstifte und Stiftkernaufbauten, die mit von der Forschungsgruppe von Nathanson (Lit. 2) vorgeschlagenen Adhäsivtechniken befestigt werden. Diese Techniken eliminieren den direkten Kontakt zwischen Stift und Wurzelwand, indem ein Zwischenraum geschaffen wird, der vollständig mit Komposit-Befestigungsmaterial gefüllt wird.

C) Die dritte Gruppe umfasst nicht-metallische Wurzelkanalstiftsysteme wie Keramikstifte und faserverstärkte Stifte mit passiver Retention.

Die Effizienz der verschiedenen Wurzelkanalstiftsysteme wurde in zahlreichen Studien untersucht. In einigen wurde bewiesen, dass bei mit selbstretentiven Metallstiften restaurierten Zähnen der übermäßige Kontakt zwischen Stift und Wand Ursache von Längsfrakturen der Wurzel sein kann.

Sorensen und Martinoff (Lit. 3) haben in ihrer retrospektiven Studie 1237 endodontisch behandelte Zähne mit einer Liegedauer von 1 bis 25 Jahren untersucht. Von 420 mit gegossenen Stiftkernaufbauten restaurierten Zähnen kam es bei 36 zu Zwischenfällen aufgrund von Retentionsverlust, Wurzelfraktur oder -perforation.

In einer von Isidor (Lit. 4) publizierten Studie wird aufgezeigt, dass es bei bovinen Zähnen mit Stiften aus Compositpost® (RTD), die mit bis zu 1 Million Zyklen von 250 N belastet wurden, zu keinerlei Wurzelfrakturen kam. Die Titanstifte Coltène ParaPost und die Stiftkernaufbauten haben hingegen jeweils nach 600.000 und 100.000 Zyklen eine Wurzelfraktur verursacht.

Beleuchtet man die vorhandene Literatur, so wird die Anwendung von Stiften auf dem Gebiet der Stiftkernaufbauten und der vorgefertigten Stifte mit passiver Retention bevorzugt. Dies geschieht aufgrund der Tatsache, dass das Befestigungskomposit zwischen Stift und Wand in der Lage ist, von der Krone auf die Wurzel übertragene Belastungen zu absorbieren und zu eliminieren.

Bis Ende der 80er Jahre hatte der Zahnarzt bei der Auswahl des zu verwendenden Stifttyps lediglich die Möglichkeit, zwischen vorgefertigten Metallstiften und gegossenen Stiftkernaufbauten zu wählen. Zu Beginn der 90er Jahre wurden die Anwendungsmöglichkeiten dank der neuen Technologien erweitert – mit Einführung der Keramikstifte einerseits und der Faserstifte andererseits.

VDW hat dieser neuen technologischen Entwicklung eine hohe Priorität gegeben und bietet eine Auswahl neuer Quarzfaserstifte wie DT White®, DT Light® und DT Light®SL an.

DT Light®Post wurde mehrmals hintereinander als bestes Produkt von The Dental Advisor, CRA und REALITY anerkannt:



2004-2007



2005-2008

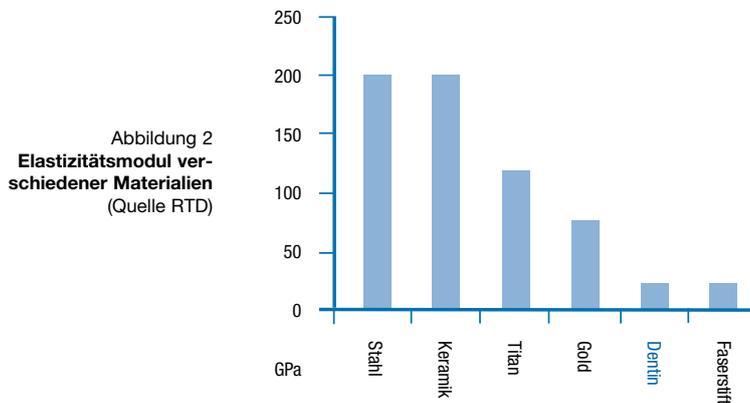


1.3. Die Geschichte des Faserstifts

Die Geschichte des Wurzelkanalfaserstifts beginnt dank Lovell im Jahre 1983. Seine Entwicklung ist jedoch Duret-Reyraud zu verdanken, die 1988 das System Compositpost® erfunden und entwickelt haben. Hierbei werden Karbonfasern in eine Matrix aus Epoxydharz eingelassen.

Duret und seine Mitarbeiter haben den großen Vorteil erkannt, der sich aus der Zusammenfügung von Materialien mit gleichen physikalisch-mechanischen Eigenschaften ergab. Durch die Schaffung einer Einheit Zahn-Zement-Stift-Restaurationsmaterial werden die von der Prothese ausgehenden funktionellen Belastungen analog wie beim gesunden Zahn absorbiert.

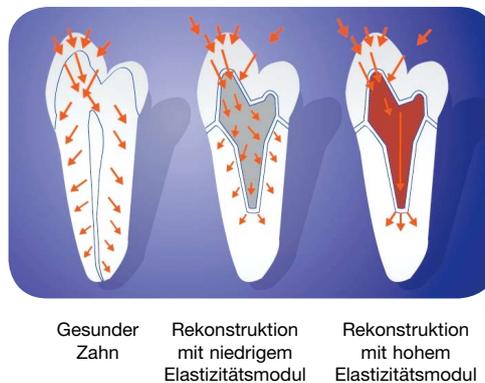
Dank seines anisotropen Verhaltens, welches in der Fähigkeit liegt, die physikalischen Eigenschaften je nach den unterschiedlichen Belastungsrichtungen zu verändern, weist der Faserstift ein Elastizitätsmodul auf, welches, bei den gefährlicheren Querbeltungen eines endodontisch behandelten, rekonstruierten Zahns, dem des Dentins (Abbildung 2) sehr nahe kommt.



Dies ermöglicht in Kombination mit einem Befestigungskomposit auf BisGMA-Basis und mit einem vergleichbaren Elastizitätsmodul die Schaffung einer homogenen Struktur, welche in der Lage ist, die durch Kaubewegungen entstandenen Belastungen zu absorbieren und besser zu verteilen.

Im Gegensatz dazu begünstigt die Verwendung von Materialien mit einem hohen Elastizitätsmodul bei der Rekonstruktion das Risiko einer Wurzelfraktur, da sich die Belastungen aufgrund der hohen Festigkeit hauptsächlich im apikalen Bereich und entlang der Zahnwände konzentrieren. (Abbildung 3)

Abbildung 3
Belastungsverteilung bei einem gesunden Zahn und bei mit Stiften unterschiedlicher Elastizitäten versorgten Zähnen
(Quelle Duret, 1991; Asmussen et al, 1999)



Ein weiteres Argument zugunsten der Verwendung von Faserstiften stellt zudem die Gefahr der Korrosion eines vorgefertigten Metallstifts und des damit einhergehenden Misserfolgs der Restauration dar. (Abbildung 4)

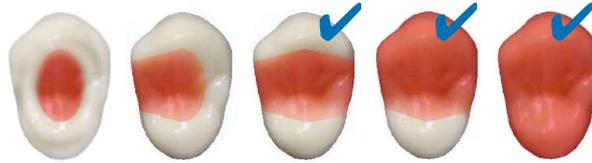
Abbildung 4
Foto eines korrodierten Stifts
(Quelle Prof. Pier Nicola Mason)



1.4. Indikation

Die nachfolgende Studie zeigt, dass ein Wurzelstift indiziert ist, wenn mehr als eine Dentinwand fehlt (Abbildung 5).

Abbildung 5
Indikationen



Auswirkung der Stifte und des Stumpfaufbaus auf die Frakturfestigkeit endodontisch behandelter und mit verschiedenen Techniken restaurierter Prämolaren. (Lit. 5)

Ziel: Einfluss bei der Rekonstruktion des Stumpfes bei Verwendung eines Stiftsystems als auch die Beurteilung der verbliebenen Zahnwände auf die Frakturfestigkeit der endodontisch behandelten Prämolaren im Kiefer.

Material und Methode: 90 menschliche extrahierte Zähne, endodontisch behandelt. Verschiedene Kavitäten wurden präpariert, wobei unterschiedliche klinische Situationen simuliert und unterschiedliche Restaurationsmethoden angewandt wurden. Es wurde die statische Frakturresistenz untersucht, um die Last, welche die Fraktur herbeiführt, und den Versagensmodus jedes Zahnes zu prüfen. Bei der Kontrollgruppe (gesunde Prämolaren) wurde der endodontische Zugang zur Pulpa mit X-flow™ und Esthet-X® (Dentsply) gefüllt. Die DT Light® Stifte wurden silanisiert und nach dem Aufbringen des Adhäsivs Prime&Bond® NT/X-flow™ mit Calibra™ zementiert. Bei allen Proben wurden der Zugang zur Präparation, die Kavität und der Stumpfaufbau mit dem Komposit X-flow™ und dem Restaurationsmaterial Esthet-X® versorgt.

Ergebnisse zur Frakturresistenz von Zähnen

Wände	Stift	Mittelwert	N	Standardabweichung
0 Wände	Kein Stift	856	10	112
	Stift	649	10	163
1 Wand	Kein Stift	488	10	153
	Stift	573	10	169
2 Wände	Kein Stift	422	10	138
	Stift	513	10	121
3 Wände	Kein Stift	416	10	122
	Stift	422	10	103
4 Wände	Kein Stift	502	10	152
	Stift	502	10	152
Insgesamt	Kein Stift	537	50	210
	Stift	539	40	160

Tabelle 1 Ergebnisse Mittelwert in N

Schlussfolgerungen:

- Die Verwendung eines Stifts in Kombination mit einem Aufbaumaterial ermöglicht eine Restauration endodontisch behandelter Prämolaren, bei der biomechanische Eigenschaften erzielt werden können, die denen eines intakten Prämolaren nahe sind.
- Die Anzahl der verbliebenen Zahnwände hat einen Einfluss auf die mechanische Widerstandskraft.
- Bei Proben mit gleicher Anzahl von Wänden wurden die höchsten Frakturbelastungen bei mit Faserstiften restaurierten Zähnen verzeichnet.
- Bei den mit Stiften versorgten Proben wurden revidierbare Frakturen beobachtet. Wenngleich die Proben der Gruppe mit keiner Wand, welche ohne Stift war, eine höhere Frakturfestigkeit als die der Gruppe mit Stift gezeigt haben, erlitten die rekonstruierten Prämolaren ohne Stift irreparable Wurzelfrakturen, während die mit Faserstiften restaurierten Zähne nur von partiellen, reparablen Frakturen der Krone betroffen waren.

2. Eigenschaften des DT Faserstifts

2.1. Zusammensetzung

Fasern: Quarz zu 64 Vol. - % und 70-80 Gew. - %
Durchmesser 12 Mikron
vorgespannt

Matrix: Epoxidharz

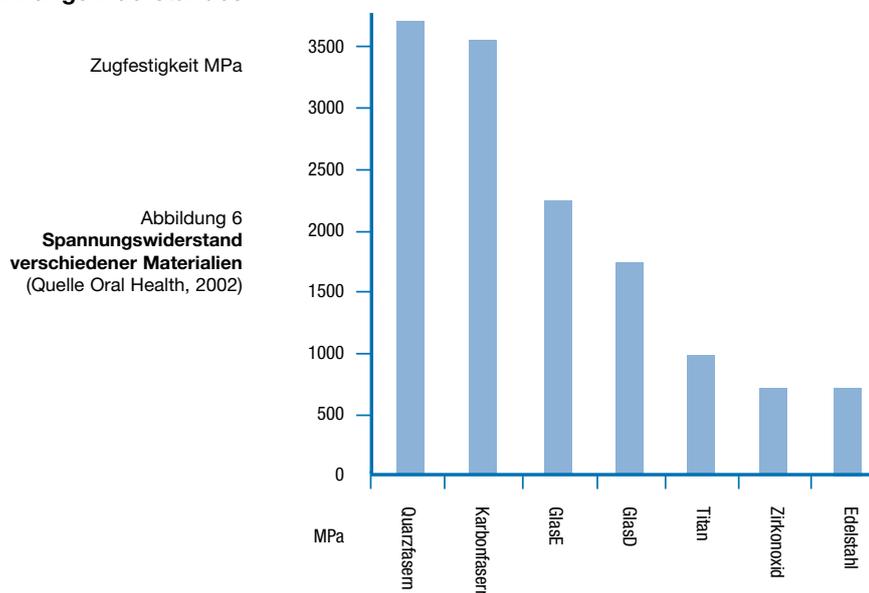
Verbundstoff: Silan

2.2. Fasern

Die Fasern stellen die anorganische Komponente des Stifts dar und sind zugleich tragende Struktur desselben. Die Kompositmaterialien Faser/ Harz, zu denen auch die Faserstifte zählen, weisen ihren höchsten Widerstand gegen Zugspannung auf, wenn die Belastung allein von den Fasern getragen wird; aus diesem Grund ist der Fasertyp von sehr großer Bedeutung (Lit. 6).

Die DT Stifte sind aus Quarzfasern, die sich durch einen hohen Spannungswiderstand und ein angemessenes Elastizitätsmodul (E-Modul) auszeichnen, während Glasfasern weniger resistent sind und ein höheres E-Modul aufweisen. Vergleicht man die Zugfestigkeitswerte der verschiedenen Fasern mit denen von Metallen und Keramik, erweisen sich die Quarzfasern als die widerstandsfähigsten (Abbildung 6).

Vergleich des Spannungswiderstandes



Die Unterschiedlichkeiten und die Eigenschaften der verschiedenen Stiftsysteme hängen auch von anderen Parametern ab. Dazu gehören u.a. Durchmesser oder Dichte der Fasern, Verbindung zwischen Faser und Harzmatrix, Fehlen von Blasen oder Hohlräumen innerhalb des Stifts sowie die externe Oberfläche des Stifts. All diese Parameter können unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) leicht untersucht werden.

Strukturelle Eigenschaften verschiedener Stifte

Stifttyp	Durchmesser des Stifts (mm)	Durchmesser der Fasern (Mikron)	Dichte der Fasern (Anzahl der Fasern pro mm ²)	Belegte Oberfläche pro mm ² der Stiftoberfläche (%)
Easy Post (Krug)	1,6	12	29	34,8
Parapost Fiber White	1,5	6	18	10,8
Fibrekor	1,5	18	28	50,4
Ghimas White	1,8	12	30	36,0
DT Light®Post	2,0	12	32	38,4
FRC Postec	2,0	12	25	30,0
Luscent Anchors	1,7	15	29	43,5
Snow Post	1,6	7	36	25,2

Tabelle 2 Vergleich von 8 Stiftgruppen (Quelle S. Grandini et al (Lit. 7))

Da jegliche Ausrichtung der Fasern, die nicht der Längsachse des Stiffs entspricht, sich als Übertragung von Belastungen auf die Matrix auswirkt, so wie das bei den meisten handelsüblichen Stiften der Fall ist, verlaufen die Fasern der DT Stifte parallel zur Längsachse des Stiffs.

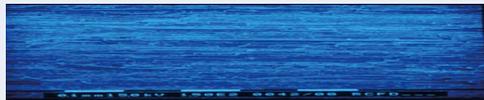
Zudem verwendet der Hersteller der DT Stifte (RTD) ein Gerät, das es ermöglicht, die Fasern vorzuspannen, d. h. die Fasern in Spannung zu halten, während die Harzmatrix in die Fasern eingebracht wird.

Abbildung 7
Fotografie des Vorspannungsgeräts
(Quelle RTD)



Vorspannprozess der Fasern

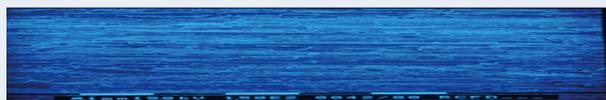
Gespannte Fasern



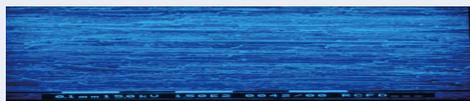
Ausgerichtete Fasern



Zusatz der Harzmatrix und Polymerisation



Entspannung



Fasern, die entlang der Achse in eine Richtung vorgespannt und ausgerichtet sind, verleihen dem Stift die Fähigkeit, gleichzeitig beträchtliche Belastungen zu absorbieren (Abbildung 8):

- Spannung/Zug (tensile) ▲
- Schub (compression) ▼
- Druck (shearing) ►

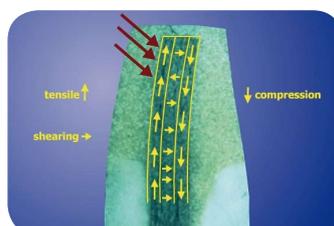


Abbildung 8
Verteilung der Belastungen
(Quelle Duret)

2.3. Matrix

Die Matrix besteht aus Epoxidharz, das dazu dient, die Fasern miteinander zu verbinden. Es besitzt die Eigenschaft, sich über einfache freie Radikale mit dem BisGMA-Harz zu verbinden und damit den Halt zwischen Stift und adhäsivem Befestigungssystem zu begünstigen.

2.4. Die externe Oberfläche des Stifts

Die externe Oberfläche der DT-Stifte weist eine tiefe Mikrorauheit von 5-15 Mikron auf, die eine hervorragende mikromechanische Retention ermöglicht (Abbildung 9).

Damit wird das Risiko eines Stiftverlustes oder eines Debondings minimiert und der Wurzelkanal wird optimal koronal versiegelt. Abbildung 10 zeigt die Schnittstelle Stift-Zement-Dentin.

Abbildung 9
REM-Bild der externen
Oberfläche des Stifts

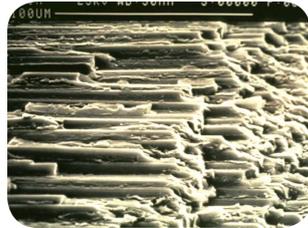
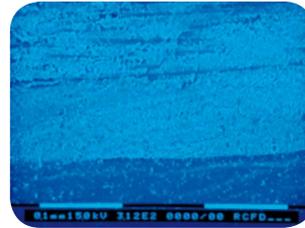


Abbildung 10
Schnittstelle
Stift-Zement-Dentin



2.5. Röntgenopazität

Die DT Light®, DT White® und DT Light®SL Stifte sind röntgenopak und daher bei Röntgenaufnahmen leicht zu erkennen. Laut der ästhetischen Studie der CRA Gruppe im Jahr 2004 beträgt die Röntgenopazität von DT Light®Post 200% Al (Abbildung 11).

Abbildung 11a
Röntgenaufnahme DT Light®Post
(CRA Studie, 2004)

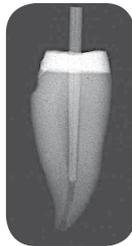
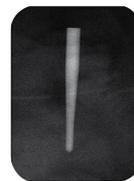


Abbildung 11b
Röntgenaufnahme DT Light®Post
(Quelle RTD)



2.6. Qualitätskontrolle

Auch die von den verschiedenen Herstellern angewandten Produktionstechniken, sowie die Qualitätskontrollen haben einen bedeutenden Einfluss auf die mechanischen Eigenschaften und damit höchstwahrscheinlich auch auf den klinischen Erfolg der Stifte. Um eine Produktion konstanter und hoher Qualität auf dem Markt sicherzustellen, hat RTD einen Produktionsprozess entwickelt, bei dem integrierte Geräte zum Einsatz kommen. Diese umfassen nicht weniger als 6 getrennte Produktionsphasen, sind synchronisiert und laufen im Dauerbetrieb. (Abbildungen 12 und 13)

Abbildung 12 und 13
Kontrolle der Biegefestigkeit
bei jeder einzelnen
Produktionsauflage
(Quelle RTD)



3. Das Double Taper Design (DT)

1990 waren verschiedene Professoren der Endodontie und Prothetik der Universität Montreal der Meinung, dass es an der Zeit sei, einen Stift zu entwickeln, der sich an die Form des Wurzelkanals anpasst, anstatt, wie es so häufig geschieht, den Kanal dem Stift anzupassen. Ergebnis dieser Idee waren die DT-Stifte mit zweifacher Konizität. Um die korrekte anatomische Form zu ermitteln, hat man 967 Kanäle extrahierter Zähne analysiert, die mit den verschiedensten Techniken der Wurzelkanalpräparation endodontisch behandelt worden waren. Hunderte von Messungen und Berechnungen wurden durchgeführt, um Durchmesser und Konizität jedes Kanals jedes einzelnen Zahns zu optimieren. Diese breit angelegte radiologische Untersuchung hat allgemein eine zweifache Konizität aufgezeigt: ein geringerer Durchmesser im apikalen Drittel und ein größerer im koronalen Bereich (Abbildung 14).

Abbildung 14
Röntgenbild
(Quelle Prof. Boudrias)



Abbildung 15
Übereinstimmung
zwischen DT und den
NiTi Instrumenten



Abbildung 16



Abbildung 17

Auf den Bildern unter Abbildung 15-17 ist zu erkennen, wie gut die DT Light®Post mit der von den Ni-Ti-Instrumenten geschaffenen Konizität übereinstimmen.

Außerdem biegt sich bei gleichem Elastizitätsmodul ein dünner Stift immer bei geringeren Belastungen als ein Stift größeren Durchmessers. Der Durchmesser der DT Stifte, welcher auf Wurzelhöhe relativ dünn ist, ermöglicht eine dem Zahngewebe adäquate Biegung, während dort wo eine größere Festigkeit vonnöten ist, nämlich am Wurzelaustritt und im Inneren des Aufbaus, ihr Durchmesser größer wird (Lit. 6).

Schließlich schlagen die Autoren einer von Scotti u. Baldassara (Lit. 8) veröffentlichten Studie vor, dass bei den klinischen Fällen, bei welchen das gesamte koronale Dentin verloren gegangen ist, Stifte mit einem notfalls größeren Durchmesser in der Lage sind, eine bessere Widerstandsfähigkeit gegen die Dislozierung des Stumpfes zu gewährleisten und somit das Bruchrisiko der Restauration zu verringern.

Die DT Light®Post und DT Light®SL sind in 4 Größen erhältlich (Abb. 18). Die DT White®Post sind in 3 Größen erhältlich (Abb. 19).

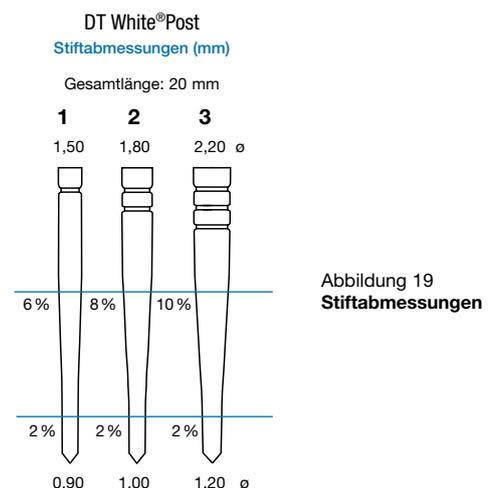
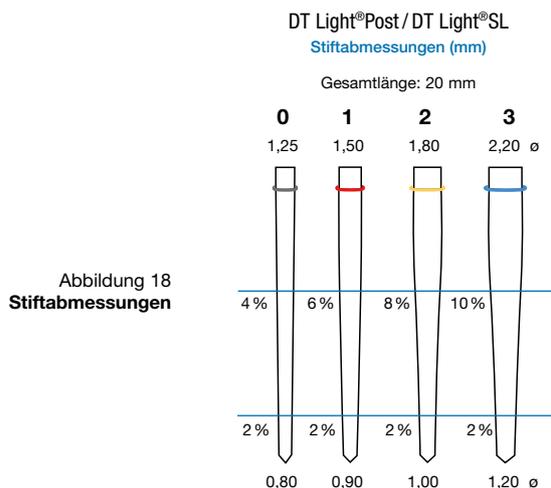
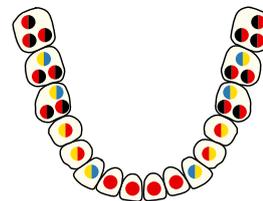
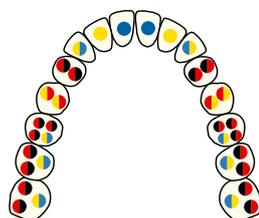


Abbildung 20
Anpassung der Stiftgröße zur
Anatomie des Kanals
Die Farbkodierung entspricht
den Farbringen der Stifte.



4. Mechanische Eigenschaften & Ermüdungsresistenz: In-vitro Analyse

Wie bereits erwähnt, ermöglichen die Betrachtungen unter dem Rasterelektronenmikroskop (REM) eine Voruntersuchung des Stifts durch eine Analyse des Anteils Fasern/Harz, der Anzahl und des Durchmessers der Fasern sowie der globalen Unversehrtheit des Stiftes. Die folgenden Bilder (Abbildungen 21 und 22) zeigen Ausschnitte der DT Stifte, wobei die Dichte, die homogene Verteilung der Fasern und das Fehlen von Defekten in ihrer Struktur zu erkennen sind.

Abbildung 21
Ansicht unter REM
Querschnitt und Längs-
schnitt eines DT-Stiftes

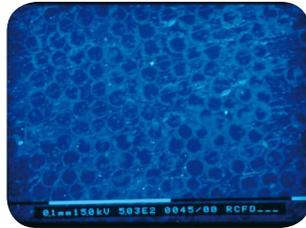
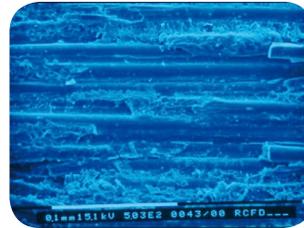


Abbildung 22



Ein recht signifikanter Test unter den durchgeführten Versuchen ist der Dreipunktbiegetest (three-point-bending test), der es ermöglicht, die Biegefestigkeit der Stifte und die Modalitäten, bei denen es zur Fraktur kommt, zu untersuchen.

Zur Durchführung dieses Tests wird der Probekörper auf zwei Fixpunkte gelegt und an einem dritten Punkt, der äquidistant zu den beiden ersten liegt, wird eine Last angebracht, die sich senkrecht zur Längsachse des Probekörpers mit einer festgelegten Geschwindigkeit herabbewegt, bis es zur Fraktur des Probekörpers kommt. Die Werte werden normalerweise in GPa ausgedrückt und eventuell in MPa umgewandelt.

Physikalische Eigenschaften

Produkt	Fasern	Biegemodul (GPa)	Zugfestigkeit (MPa)	Biegefestigkeit (MPa)	Elastizitätsmodul (GPa)
DT Light®Post	Quarz	46	2050	1600	15
Stift A	Glas	13.5	1200	960	26.5
Stift B	Glas	29.2	1200	990	29.2

Tabelle 3 Eigenschaften von handelsüblichen Stiften (Quelle RTD)

Ermüdung

Der Ermüdungstest kann mehr als jeder andere Test zuverlässige Prognosen über die Dauerhaftigkeit der Restauration liefern. Ermüdung gilt als einer der Hauptgründe für das Nachgeben von Strukturen in der restaurativen Zahnmedizin. Es ist erwiesen, dass es sehr viel leichter aufgrund wiederholter, leichter Belastungen zur Fraktur der Restauration kommt als aufgrund einer einzigen, wenngleich auch stärkeren Belastung.

Der Ermüdungstest liefert uns Informationen über den Ermüdungswiderstand der Stifte, indem diese zyklischen Belastungen unterzogen werden, bei denen die normalen okklusalen Funktionen und Kaubewegungen simuliert werden.

Der Test erfolgt mit Hilfe eines Geräts (three-point-bending machine) (Abbildungen 23 und 24), bei dem die permanenten auf den Stift ausgeübten Druckbelastungen sehr viel schwächer sein können, als solche, die eine Fraktur provozieren. Ein Zähler misst die Anzahl der Belastungszyklen, denen die Stifte unterzogen werden und stoppt, wenn der Probekörper bricht.

Abbildung 23
Bild des Drei-
punktbiege-
versuchs-Geräts

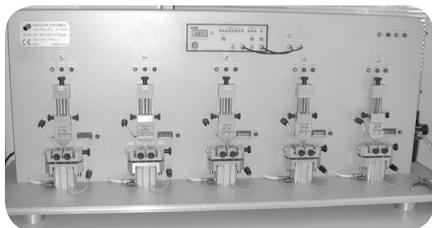


Abbildung 24
Detailaufnahme

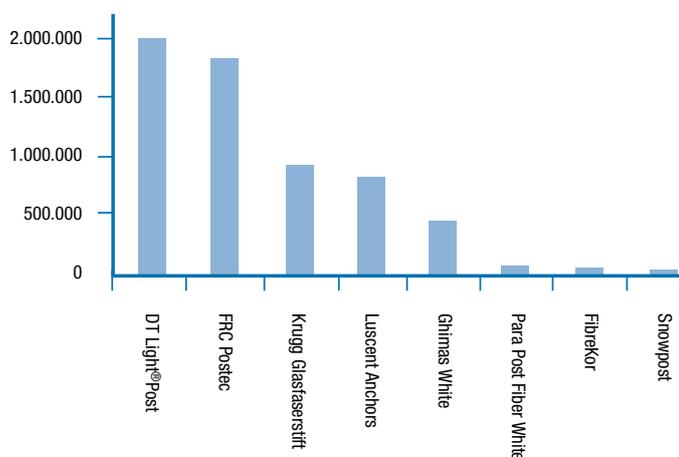
In einer von Grandini et al (Lit. 7) veröffentlichten Ermüdungsstudie ist mit Hilfe der three-point-bending machine die Ermüdungsfestigkeit 8 verschiedener Stifte verglichen worden.

Die verwendete Frequenz lag bei 3 Hz und es wurden 10 Probekörper pro Gruppe untersucht. In Abbildung 25 ist die Durchschnittszahl von Zyklen dargestellt, der jeder Stifttyp standhielt, ehe eine Fraktur erfolgte. Das Gerät war so geeicht worden, dass 2.000.000 Zyklen durchgeführt werden sollten, die circa vier Jahren okklusaler Kontakte und physiologischer Kaubewegungen entsprechen.

Beim Ermüdungstest haben sich statistisch signifikante Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen ergeben. Die Stifte DT Light®Post und FRC Postec (Ivoclar-Vivadent) erwiesen sich als signifikant besser und hielten den angewendeten Belastungszyklen besser Stand als die anderen Gruppen. Keiner der Probekörper von DT Light®Post war nach 2.000.000 Zyklen gebrochen.

Frakturresistenz

Abbildung 25
Durchschnittszahl der Zyklen,
der jeder Stifttyp standhielt, ehe
eine Fraktur erfolgte



Die mikroskopische/strukturelle Untersuchung der Stifte verdeutlicht den bestehenden Zusammenhang zwischen Ermüdungsfestigkeit und Dichte der Fasern, deren Durchmesser sowie Oberfläche des Stifts. (Abbildungen 26 und 27).

REM Aufnahmen mit DT Wurzelstiften

Abbildung 26
Die Morphologie des DT-Stifts weist eine hervorragende Dichte der Fasern, Unversehrtheit der Matrix und das Fehlen innerer Defekte auf

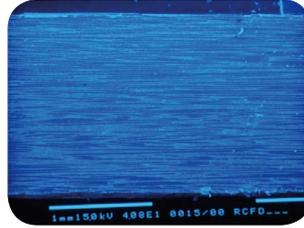
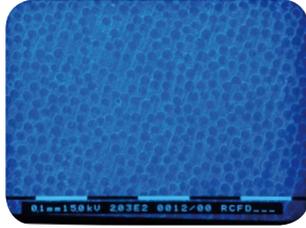


Abbildung 27

REM Aufnahmen mit anderen getesteten Wurzelstiften

Abbildung 28
Präsenz von Blasen, Hohlräumen im Inneren und unregelmäßiger Außenfläche

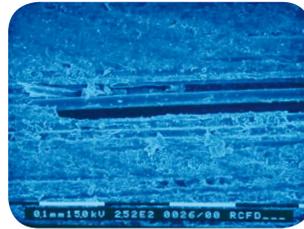
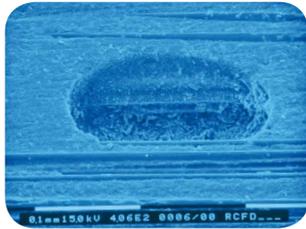


Abbildung 29

Abbildung 30
Geringe Faserdichte und Produktionsfehler führen zu einer unregelmäßigen Außenfläche zu Ungunsten der anderen getesteten Stifte

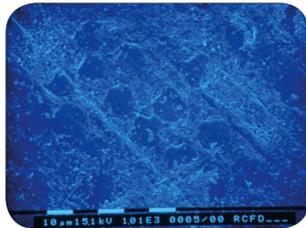


Abbildung 31
Einige Stifte nach der Fraktur infolge des Belastungstests

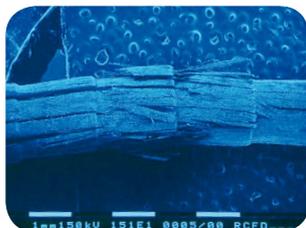
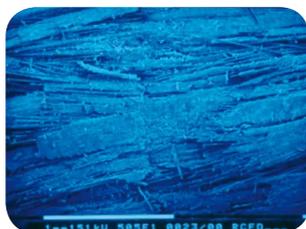


Abbildung 32

Abbildung 33
Einige Stifte nach der Fraktur infolge des Belastungstests



5. In-vivo-Test und Clinical Trial

Während In-vitro-Tests einen ersten Schritt bei der Erprobung eines neuen Materials oder einer neuen Technik darstellen, da sie Prognosen bezüglich des klinischen Verhaltens im Laufe der Zeit ermöglichen, sind klinische In-vivo-Tests Studien, welche die Sicherheit geben, dass die neuen Technologien effizient sind.

In einer klinischen retrospektiven Studie über 4 Jahre hat Ferrari (Lit. 10) 200 Patienten untersucht; 100 von ihnen (Gruppe 1) waren mit einer Rekonstruktion mit Faserstiften (Composipost®, Aestheti Post®, Aestheti Post Plus, Vorgänger von den DT Post, Hersteller RTD) versorgt worden. Die anderen 100 (Gruppe 2) hatten eine Restauration mit gegossenen Stiftkernaufbauten erhalten, welche mit indirekter Methode hergestellt worden waren. Alle Patienten waren mit einer Metall-Keramik-Krone versorgt. Die Kontrolluntersuchungen der Patienten erfolgten je nach deren individuellen Bedürfnissen nach 6 Monaten, 1, 2, 4 Jahren. Bei den Kontrolluntersuchungen wurden Röntgenaufnahmen gemacht.

Als Parameter galten folgende Kriterien: Restauration in situ, keine Abzementierung des Stifts, keine Stifffraktur oder Wurzelfraktur. Bei Gruppe 1 gab es 95 Erfolge, 3 Patienten kamen nicht zur Folgeuntersuchung und 2 Patienten wiesen Misserfolge in Form endodontischer Komplikationen auf.

Bei Gruppe 2 gab es 84 Erfolge, 9 Wurzelfrakturen, 3 periapikale endodontische Läsionen, 2 Abzementierungen des Stifts und 2 Patienten waren nicht zur Folgeuntersuchung erschienen.

Die Unterschiede zwischen den beiden Gruppen waren statistisch signifikant.

Mit Hilfe dieser Studie ließ sich auch feststellen, dass die Misserfolge bei Stiftkernaufbauten irreparabel sind während bei Faserstiften die Möglichkeit einer Nachbesserung besteht.

Malferrari et al (Lit. 11) haben eine prospektive Studie über 30 Monate bezüglich der Anwendung von Quarzstiften Aestheti-Plus (RTD, gleiche Zusammensetzung wie DT White®, lediglich anderes Design) publiziert.

180 endodontisch behandelte Zähne sind an 132 Patienten von 13 verschiedenen Praktikern restauriert worden. Nach 30 Monaten waren 3 Misserfolge zu verzeichnen: Der erste, nach 2 Wochen eingetretene Misserfolg war eine kohäsive Fraktur des für den Stumpfaufbau verwendeten Komposits. Die weiteren beiden Misserfolge waren Adhäsivverluste, die zur Abzementierung des Komplexes Stiff-Zement-Stumpf von der Dentinwand des Wurzelkanals führten.

Alle drei Misserfolge traten bei der Entfernung des Provisoriums auf und hatten keine Stifffraktur oder Wurzelfraktur zur Folge. **In allen drei Fällen konnte die Restauration erneuert werden.**

Testergebnisse gesetzter Karbon- und Quarzfaserstifte an internationalen Universitäten

Tabelle 4

Universität	Fälle	Stifffrakturen	Wurzelfrakturen
Paris VII, Frankreich	400	0	0
Nice, Frankreich	137	1	0
Toulouse, Frankreich	150	0	0
Montreal, Canada	320	2	0
Modena, Italien	470	0	0
Siena, Italien	2450	0	0
Padua, Italien	450	0	0
Karolinska, Schweden	236	0	0
Gesamt	4643	3	0

Klinische Studie von DT Light®Post in Verbindung mit Prime&Bond® NT/X-flow™ und Calibra™: Prospektivstudie über 2 Jahre

Es wurden Prämolaren des Oberkiefers von 40 Patienten, die eine endodontische Behandlung benötigten, ausgewählt. Nach der Präparation des Kanals mithilfe der Kanalbohrer wurden die Stifte DT Light®Post mit Durchmesser 1,0/1,2 eingebracht und mit Prime&Bond® NT/X-flow™ und Calibra™ zementiert. Der Stumpf wurde mit dem flüssigen Komposit X-flow™ aufgebaut, die Restaurationen mit einer Keramikkrone abgeschlossen. **Nach 12 Monaten waren alle Stifte im Einsatz, ohne Retentions- oder Frakturprobleme.** Keinerlei Risse in der Keramik (Micro-cracks).

6. Befestigungssystem

Metallische und keramische Stifte werden zementiert, ihre Retention beruht auf Friktion. Faserstifte werden dagegen adhäsiv befestigt, ihre Retention beruht auf Adhäsion.

Wie gut der Faserstift befestigt wird, hängt von vielen Faktoren ab:

- Zeitraum zwischen Wurzelkanalbehandlung und Versorgung mit Faserstift: je geringer der Zeitraum, desto besser wird die Haftkraft mit dem Dentin.
- Kombination der verschiedenen Adhäsivprodukte: Haftvermittler, Zement und Aufbaumaterial müssen gut zusammenpassen.
- Konditionieren der Stiftoberfläche: der Stift sollte zumindest mit Haftvermittler beschichtet werden. Das Silanisieren erhöht die Haftkraft zusätzlich.
- Homogenität der Zementschicht: diese muss homogen sein, Hohlräume sollten vermieden werden.
- Qualität des Faserstifts: die Oberfläche des Stifts und sein Polymerisationsgrad beeinflussen die Haftkraft.
- All in One Adhäsivprodukte: selbstätzende Primer können verwendet werden, wenn das Produkt minimal aggressiv zum Dentin ist.

6.1. Empfohlene Adhäsivsysteme

VDW empfiehlt folgende Produkte in Kombination mit DT Light®Post, DT Light®SL und DT White®Post:
Das Konditionieren entfällt mit DT Light®SL.

Konditionieren des Stiftes

Silan + Haftkraftvermittler	✓	Beide Prozeduren sind möglich. Die Haftkraft ist in beiden Fällen hoch.
Haftkraftvermittler	✓	

Ätzen des Kanals

Ätzel	✓	
-------	---	--

Haftkraftvermittler

selbsthärtend	✓	Nicht ausschließlich lichthärtend. Die nachgenannten Adhäsivprodukte sind meistens lichthärtend und müssen mit einem Katalysator dualhärtend eingesetzt werden.
dualhärtend	✓	
nur lichthärtend	✗	

z.B. Dentsply: Prime&Bond® NT/core-X™ flow - Ivoclar Vivadent: Syntac, Excite DSC, Adhese - Kuraray: Clearfil - 3M Espe: Scotchbond 1 - Heraeus Kulzer: Gluma Comfort Bond - Bisco: Allbond 2, One Step, One Step Plus

Selbstätzender Primer: keine Daten vorhanden.

Zement

selbsthärtend	✓	Nicht ausschließlich lichthärtend. VDW empfiehlt Kompositzemente.
dualhärtend	✓	
nur lichthärtend	✗	

z.B. Dentsply: Calibra - Ivoclar Vivadent: Variolink, Multilink (Automix) - Kuraray: Panavia - 3M Espe: Rely X ARC - Heraeus Kulzer: 2 Bond 2 - Bisco: High X, Duo Link, C&B Luting Cement

Aufbaumaterial

selbsthärtend	✓	VDW empfiehlt Kompositmaterialien. Schicht nach Schicht aushärten lassen.
dualhärtend	✓	
nur lichthärtend	✓	

6.2. Adhäsion Stift-Wurzelkanal

Die Ergebnisse des Push-out-Tests gelten zusammen mit dem Pull-Out als die zuverlässigsten Indikatoren für die Adhäsivkräfte zwischen Stift und Wurzelkanal.

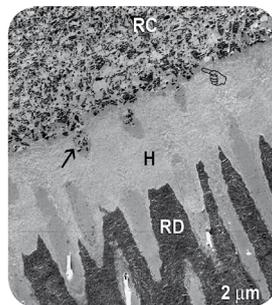
Die Wurzel mit dem zementierten Stift wird zunächst in 5 oder 6 Scheiben à 1 mm Dicke geschnitten, dann wird auf der apikalen Seite der Scheibe mit einem Gerät, das mit einem zylindrischen Kolben von 1 mm Durchmesser ausgerüstet ist, eine Drucklast angebracht.

Der Kolben wird so positioniert, dass die Last nur mit dem Stift in Kontakt kommt, sodass eine Schubspannung entlang der Klebefuge entsteht. Die Belastungskräfte werden in apikaler-koronaler Richtung ausgeübt, sodass der Stift zum breiteren Bereich der Wurzelschicht geschoben wird. Die Belastung erfolgt mit einer Geschwindigkeit von 0,5 mm/Min. bis zur Extrusion des Stiftsegments aus dem Wurzelscheibchen.

Der Push-out-Wert des Verbundes DT Light®Post - Calibra™ zum intraradikulären Dentin liegt bei 9 MPa.

Zur morphologischen Beurteilung der Adhäsivflächen wurden Untersuchungen mit dem Transmissionselektronenmikroskop (TEM) durchgeführt. Die in der Abbildung 34 veranschaulichte Ansicht unter dem TEM zeigt die vollständige Auflösung des smear-layers und die Präsenz einer hybriden Schicht von 8-10 Mikron.

Abbildung 34
Ansicht unter TEM der Adhäsivfläche
Wurzeldentin - Zement



6.3. Beurteilung der abdichtenden Wirkung und Adhäsivmechanismus des empfohlenen Befestigungssystems am Wurzeldentin

Zur Beurteilung der abdichtenden Wirkung und des Adhäsivmechanismus des empfohlenen Befestigungssystems (hier DT Light®Post – Prime&Bond® NT und Calibra™) am Wurzeldentin wurden ein Mikroinfiltrationstest und Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop (REM) durchgeführt, mit deren Hilfe die Fähigkeit des Materials, einen Bereich der gegenseitigen Durchdringung Komposit-Dentin (RDIZ) und die resin tags mit seitlichen Verästelungen zu bilden, geprüft wurden.

15 Frontzähne, die aufgrund parodontaler Probleme gezogen worden waren, wurden endodontisch behandelt, für die Anbringung der Stifte präpariert und mit dem System DT Light®Post – Prime&Bond® NT und Calibra™ versorgt.

Nachdem sie eine Woche lang in Wasser bei Zimmertemperatur gelagert waren, wurden 10 Probekörper für die Beurteilung der Mikroinfiltration und die restlichen für eine rasterelektronenmikroskopische Untersuchung ausgewählt.

Jeder Probekörper erhielt eine bestimmte Punktezahl für die Mikroinfiltration, wobei folgende Parameter angewandt wurden:

- 0 Punkte für das vollständige Fehlen von Infiltrationen an der Schnittstelle zwischen apikaler Guttapercha und Zement.
- 1, 2, 3 und 4 Punkte wenn sich die Infiltration über jeweils weniger als 0,5 mm, 0,5-1 mm, 1-2 mm und mehr als 2 mm ausweitete.
- Der ermittelte Mittelwert des Mikroinfiltrationsgrades zeigte, dass der Farbstoff nicht über 0,5-1 mm hinaus durchdrungen war.

Bei den Ansichten unter dem REM konnte festgestellt werden, dass Prime&Bond® NT und Calibra™ einen sehr hohen RDIZ-Anteil erreicht haben und dass die resin tags und die seitlichen Verästelungen auf allen Ebenen der Wurzel präsent waren und tief in die Dentintubuli eingedrungen waren (Abbildungen 35, 36).

Abbildung 35
Ansicht unter REM der
Adhäsion Prime&Bond® NT
am radikulären Dentin

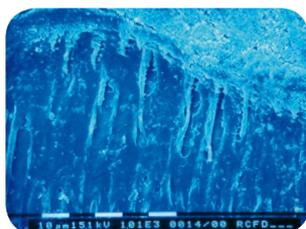
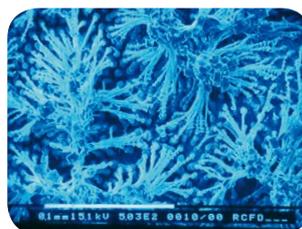


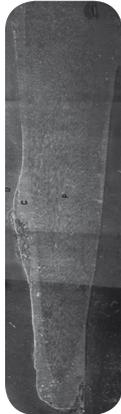
Abbildung 36



Bilder unter dem Rasterelektronenmikroskop

Bei der Befestigung eines Faserstifts sind verschiedene Zahnschichten beteiligt: Alle werden notwendigerweise mit der gleichen Adhäsivtechnik behandelt und alle Verbundflächen sollten einen hohen Adhäsionsgrad zueinander haben.

Abbildung 37
Ansicht unter REM der mit
Calibra™ befestigten Stifte



Adhäsive Schnittstelle in den Kanälen

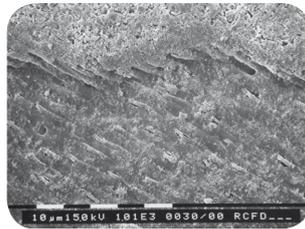


Abbildung 38
Zement/Dentin

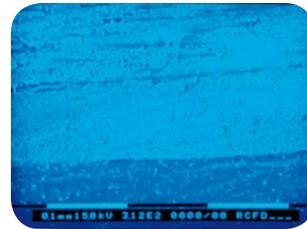


Abbildung 39
Stift/Zement

Adhäsive Schnittstelle in der Höhe der Zahnschicht



Abbildung 40
koronales Dentin



Abbildung 41
radikuläres Dentin

Abbildung 42
Adhäsion von Prime&Bond® NT
am koronalen und radikulären Dentin:
evidente Bildung der hybriden
Schicht und resin tags

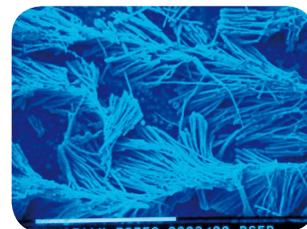
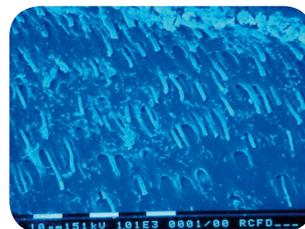
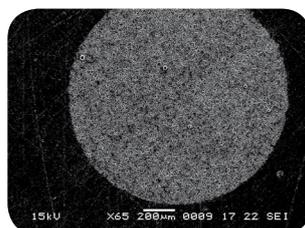


Abbildung 43

6.4. Beurteilung unter dem REM der Anpassung Stift-Zement

5 Stifte des Typs DT Light®Post Nr. 2 mit 1,8mm Durchmesser wurden silanisiert, 60 Sekunden nach der Applikation des Silans wurde der koronale Teil mit einem flowable Komposit (X-flow™) rekonstruiert. Die Proben wurden auf die Präsenz von Blasen oder Hohlräumen im Inneren des Aufbaus und an der Schnittstelle zwischen Stiftoberfläche und Aufbaumaterial untersucht. Die Präsenz von Hohlräumen und Blasen im Inneren des Materials und die Präsenz eines Spalts an der Schnittstelle wurden mit dem REM untersucht. Das Bild zeigt eine hervorragende Verbundstelle zwischen X-flow™ und dem Faserstift.

Abbildung 44
Adhäsive Verbundstelle
zwischen X-flow™ und Faserstift



6.5. Adhäsion zwischen Stift und Stumpfaufbaumaterial

Der Mikrozugtest ermöglicht die Beurteilung des Adhäsionsgrades, der zwischen dem Stift und dem für den Stumpfaufbau verwendeten Material erreicht wird. Es wurde die Microtensile bond strength zwischen dem DT Light®Post-Stift in Verbindung mit dem flowable Komposit X-flow™ und dem Aufbaumaterial Ceram-X™ untersucht.

Hierbei wurden silanisierte Stifte mit 1,6 mm Durchmesser für das Stumpfaufbauverfahren senkrecht auf ein Glasplättchen positioniert und mit einem Tropfen Klebewachs befestigt. Dann wurde eine zylindrische Plastikmatrize mit einem Durchmesser von 10 mm um den Stift gelegt, sodass der Stift exakt in der Mitte positioniert war. Die Höhe der Matrize ging nur bis zum zylindrischen Teil des Stifts. Anschließend wurde das Komposit vorsichtig in 1-2mm-Schichten auf den Stift aufgebracht, welche jeweils 20 Sekunden mit einer Halogenlampe lichtpolimerisiert wurden. Das Material wurde immer direkt von der oberen offenen Seite der Matrize aus und entlang des Stiftes bestrahlt. Nachdem die Matrize vollständig aufgefüllt war, wurde der Zylinder von dem Glasplättchen entfernt und für weitere 20 Sekunden eine Polymerisation durchgeführt. Dann wurde die Plastikmatrize aufgeschnitten und der um den Stift herum gebildete Kompositzylinder freigelegt. Es wurden Schnitte gemacht, um Sektionen mit uniformer Dicke zu erhalten, in deren Zentrum sich der Stift befand, wobei an allen Seiten das Stumpfaufbaumaterial lag. Die Schnitte wurden so auf ein Gerät montiert, dass Zugkräfte auf die beiden gegenüberliegenden Schnittstellen des Stifts-Stumpfs ausgeübt wurden. Jede Probe wurde so lange belastet, bis eine der beiden Schnittstellen brach.

In einem Microtensile-Test hat X-flow™ bessere Werte erzielt (siehe Tabelle 5). Dies kann an der hohen Benetzbarkeit des Materials, welches so besser an der Oberfläche des Stifts haftet, liegen.

Testergebnisse

Material	Microtensile (MPa)
DT Light® + X-flow™	8,65
DT Light® + Ceram-X™	6,38

Tabelle 5 Microtensile-Werte (MPa)

6.6. Konditionierung des Stiftes

Um den Einfluss des Silans auf die Adhäsion des Stumpfaufbaumaterials an den Stift zu ermitteln, wurde ein Microtensile-Test durchgeführt, bei dem 20 DT Light®Post mit 1,8mm Durchmesser verwendet wurden. Bei der Hälfte der Stifte wurde die Oberfläche 60 Sekunden lang mit einem silanischen Wirkstoff (Calibra®) behandelt.

Anschließend erfolgte der Stumpfaufbau. Das Experiment wurde in folgende Gruppen aufgeteilt:

Gruppe 1: DT Light®Post und X-flow™

Gruppe 2: DT Light®Post, silanisiert und X-flow™

Gruppe 3: DT Light®Post und Ceram-X™

Gruppe 4: DT Light®Post, silanisiert und Ceram-X™

Das Experiment erfolgte mittels bereits beschriebenen Microtensile-Test.

Durch Anätzen und Anwendung von Silan wird die Haftstärke der Komposite an der Stiftoberfläche signifikant verbessert (siehe Tab. 6).

Ergebnisse des Haftstärkentests der Komposite

Material	Anzahl	Mittelwert	Standardabweichung
DT – PBNT – X-flow™	13	20,47	2,40
DT – PBNT – X-flow™ ohne Silan	15	15,32	3,20
DT – PBNT – Ceram-X™	19	14,26	3,18
DT – PBNT – Ceram-X™ ohne Silan	16	12,38	3,29

Tabelle 6 Ergebnisse in MPa

7. Vorkonditionierte Faserstifte: DT Light®SL

Dieser Teil wurde mit Unterstützung von Professor Rudolf Marx, RWTH Aachen und Professor Daniel Edelhoff, LMU München realisiert.

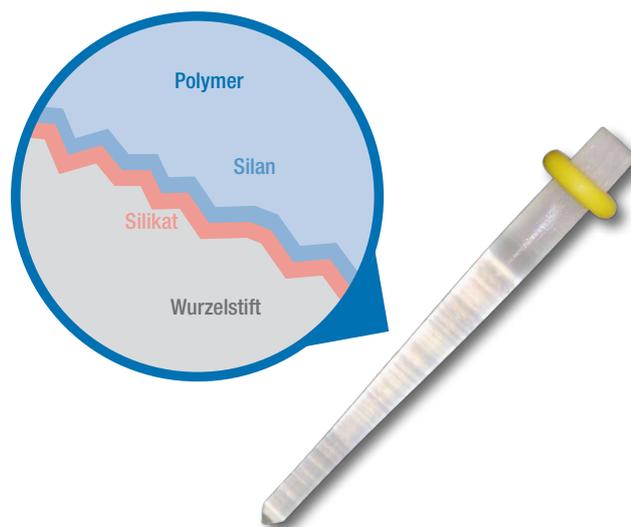
Zur adhäsiven Eingliederung eines Faserstiftes sollte nicht nur der Wurzelkanal sondern auch die Oberfläche des Stiftes konditioniert werden. Diese Konditionierung erfolgt bislang am Stuhl, was den flüssigen Behandlungsablauf verzögert und das Risiko von Anwendungsfehlern in sich birgt. Der Stift kann jedoch mit modernen Beschichtungstechnologien auch industriell vorkonditioniert werden. DT Light®SL wurde gemeinsam mit der RWTH Aachen (Medizinische Fakultät) entwickelt; die Konditionierung des Stiftes durch den Zahnarzt entfällt um eine hohe Adhäsion zu erreichen.

7.1. Beschichtung und Konservierung des Aktivierungszustands

DT Light®SL ist ein DT Light®Post mit einer industriell beschichteten Oberfläche. Eine Beschichtung aus Silan und Silikat wird in einem PVD-Prozess auf den Stift gebracht.

Um diese Aktivierung praxisingerecht konservieren zu können, wird eine Schutzschicht aus MMA aufgebracht, die die Passgenauigkeit des Stiftes nicht in Frage stellt, und die nach der Polymerisation chemisch und mechanisch widerstandsfähig ist, z.B. auch gegen Speichel und Blut, und der Voraussetzung genügt, mit den gängigen Befestigungskompositen auf BisGMA- und UDMA-Basis kompatibel zu sein und deshalb einpolymerisiert zu werden. Dank dieser Schutzschicht kann eine Monate oder Jahre dauernde Zeitspanne zwischen der Fertigung des Stiftes und der Anwendung am Stuhl überbrückt werden. Nach der Einpolymerisation bilden Befestigungskomposit und diese Schutzschicht chemisch eine Einheit.

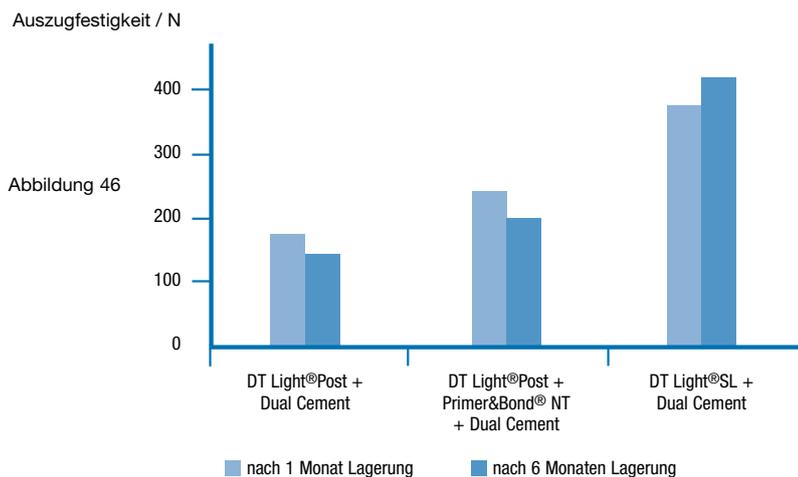
Abbildung 45
Beschreibung der Beschichtung



7.2. Verbundstabilität der Beschichtung unter simulierten klinischen Bedingungen (Lit. 13)

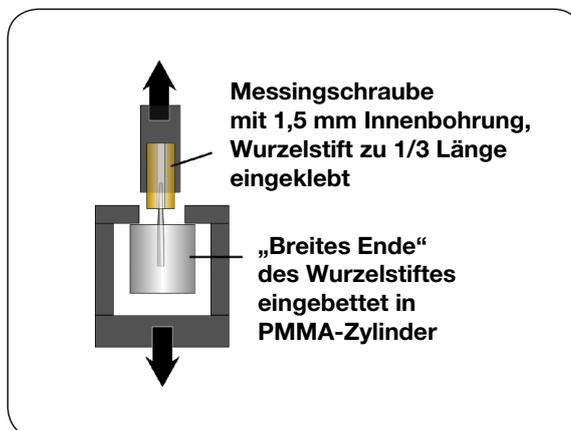
Zur Verifizierung der dauerhaften mechanischen Stabilität insbesondere unter simulierten Mundbedingungen wurde die Auszugskraft nach bis zu 180tägiger Lagerung in physiologischer Kochsalzlösung bei 37°C im Vergleich zu den Werten ohne diese Belastung gemessen. Unbeschichtete DT Light®Post, beschichtete DT Light®Post nach Herstellerangaben und DT Light®SL wurden verglichen. Alle Stifte hatten die Grösse 2. Mit der bisher schon üblichen Beschichtung nach Herstellerangaben wird eine 35%ige Erhöhung der Auszugskraft und eine moderate Stabilisierung in hydrolytischer (also feucht-warmer) Umgebung gegenüber dem unbeschichteten Zustand erreicht; die PVD-Beschichtung bewirkt eine weitere Steigerung um mindestens 50 % und eine deutliche Stabilisierung in hydrolytischer Umgebung.

Test zur Auszugsfestigkeit



Auszugstest

Abbildung 47



7.3. Auszugskraft für verschiedene Befestigungskomposite (Lit. 13)

Ziel ist es zu prüfen, inwieweit die PVD-Beschichtung, konserviert durch die Schutzschicht, die Auszugskraft unabhängig von der Art des verwendeten Befestigungskomposits macht. Der Anwender wäre damit in der Auswahl des Befestigungskomposits, das am besten seinen Erfahrungen, Gewohnheiten und individuellen Ansprüchen genügt, nicht eingeschränkt. Material und Methode sind gleich zu der im Punkt 7.2. beschriebenen Untersuchung.

Test zur Auszugskraft

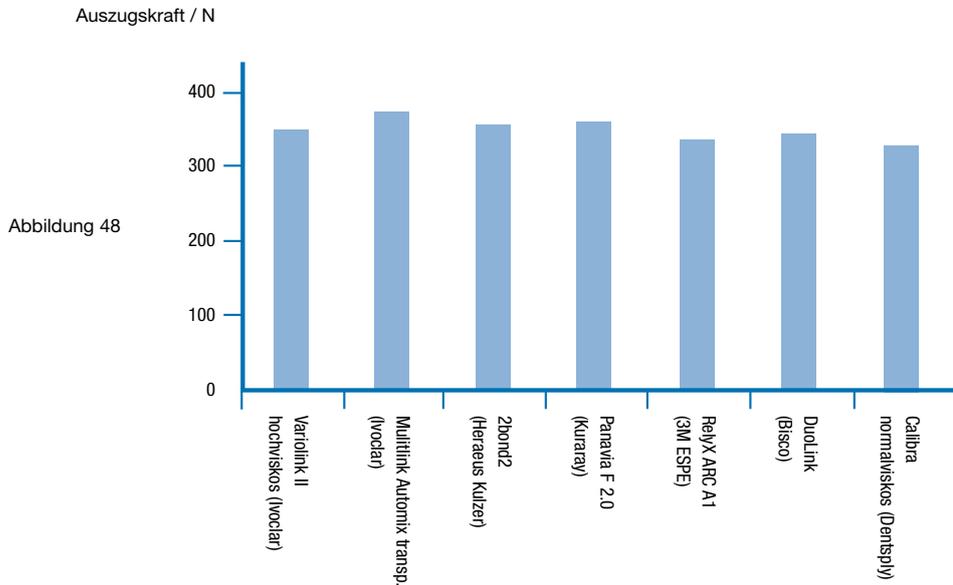
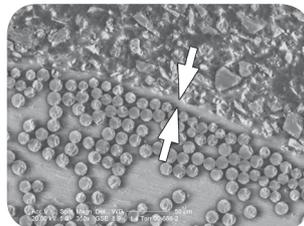


Abbildung 48 zeigt die Ergebnisse des Auszugstests von DT Light®SL für eine Anzahl von gängigen Befestigungskomposits. Deutlich ist zu sehen, dass die Anwendung verschiedener Zemente keinen signifikanten Einfluss auf die Adhäsion hat.

7.4. Schichtdicke

Die Beschichtung hat eine Dicke von $10 \pm 5 \mu\text{m}$ (Abb. 49), ist sehr gleichmäßig reproduzierbar und stellt die Passgenauigkeit nicht infrage, da sie im Toleranzbereich liegt, der für den Durchmesser der Stifte ermittelt wurde ($20 \pm 5 \mu\text{m}$). Dies ist im Gegensatz zur Haftvermittler-Schicht für DT Light®Post, die – weil vor dem Einsetzen schon lichtgehärtet – bei nicht sachgerechtem ungleichmäßigem Auftrag die Passgenauigkeit beeinträchtigen kann.

Abbildung 49
REM der Schnittstelle zwischen Stift und Zement. Runde Schnittflächen: den Stift verstärkende Glasfasern eingebettet in die Epoxidharzmatrix. Der Zement ist für den besseren Kontrast zur Beschichtung grobkörnig gefüllt



8. Klinischer Fall (Vorgehen step by step)



Bild 1
Ausgangssituation



Bild 7
Gründliches Abspritzen des Ätzmittels mithilfe einer Spritze mit endodontischer Nadel



Bild 2
Entfernung der provisorischen Restauration und Öffnung der Kavität



Bild 8
Auswaschen des Wurzelkanals

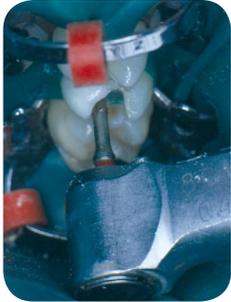


Bild 3
Präparation des Wurzelkanals mit Wurzelkanalbohrer



Bild 9
Nach dem Auswaschen wird der Kanal mit einer Papierspitze getrocknet, ohne dabei das Dentin zu dehydrieren



Bild 4
Einprobe des Stifts im Kanal



Bild 10
Auftragen von zwei Schichten Adhäsiv (Prime&Bond® NT/core-X™ flow + Self Cure Activator) und 20 Sekunden lang einwirken lassen. Es wird empfohlen, dabei Compositbrush zu verwenden, mit dem das Adhäsiv entlang des gesamten Kanals aufgetragen werden kann

Auftragen von nur einer angemischten Adhäsivschicht auf den Stift und 10-20 Sekunden Lichtpolymerisation



Bild 5
Einprobe des gekürzten Stifts im Kanal

Der Stift sollte nicht mithilfe von Zangen gekürzt werden. Normalerweise erfolgt die Kürzung des Stifts nach der Einprobe vor dem Einzementieren, und in diesem Falle können Diamantschleifer und Carborund-Scheiben verwendet werden. Wenn hingegen die Kürzung nach der Zementierung erfolgt, empfiehlt es sich, die Größe des Stifts mithilfe eines Diamantschleifers zu reduzieren.



Bild 11
Entfernen der Überschüsse mit Papierspitze



Bild 6
Anätzen mit 35%-iger Phosphorsäure in Gelform, 15 Sekunden, mit einer dünnen Nadel, um das Ätzmittel entlang des gesamten Kanals anzubringen



Bild 12
Lichtpolymerisation des Adhäsivs, 20 Sekunden



Bild 13
Einführen von Zement in das Kanal-
innere



Bild 19
Rekonstruierter Zahn vor
prothetischer Präparation



Bild 14
Rekonstruktion des Zahnes vor der
prothetischen Präparation



Bild 20
Ansicht, vestibulär



Bild 15
Entfernen des Kofferdamms



Bild 21
Präparation des Stumpfes



Bild 16
Röntgenbild der Ausgangssituation



Bild 22
Endresultat, okklusal



Bild 17
Röntgenbild der endodontischen
Behandlung



Bild 23
Endresultat, vestibulär

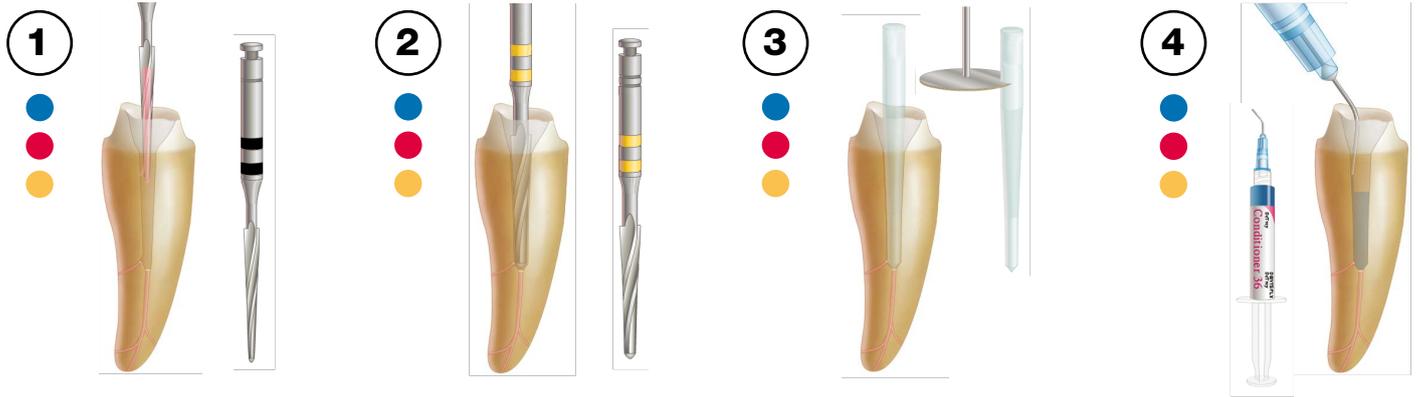


Bild 18
Röntgenbild nach Stiftinsertion



Bild 24
Röntgenbild des abgeschlossenen
Falles

9. Klinische Prozedur bei DT Light[®], DT White[®] und DT Light[®]SL

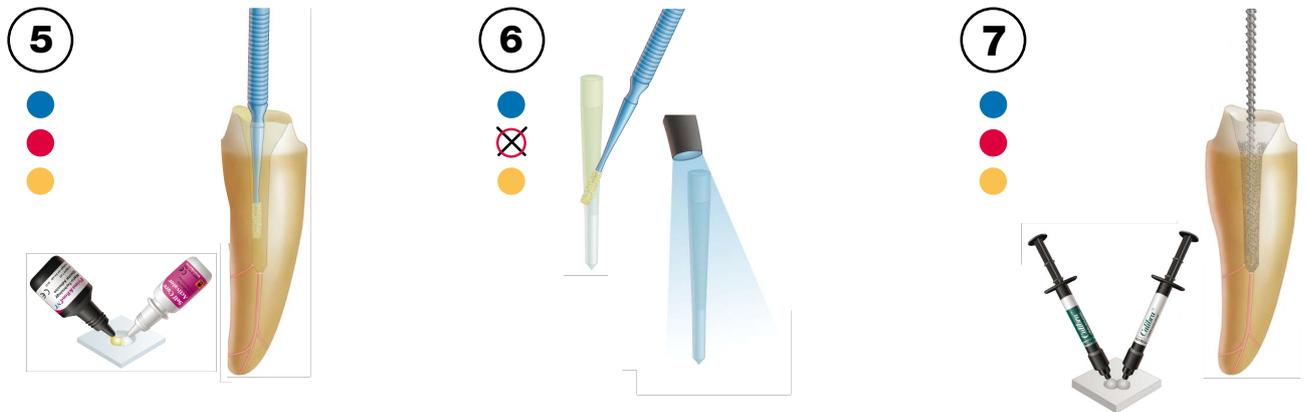


Vorbohren mit DT Universal Drill.

Wurzelkanal mit DT Finishing Drill erweitern. Bei der Größe 0 entfällt dieser Schritt.

Den farbigen Ring entfernen. Stiftanpassung prüfen. Den Stift mit einer Diamantscheibe kürzen. Den Stift mit Alkohol reinigen.

15 Sek. ätzen. 10 Sek. spülen. Mit Papierspitzen trocknen. Kanalwände leicht feucht belassen.



Den dual- oder selbsthärtenden Primer vorbereiten. 2 Schichten im Kanal auftragen. 20 Sek. benetzen. Überschüsse entfernen. 5 Sek. verblasen.

Die Oberfläche des Stiftes mit Silan und Primer benetzen. Mit Luft trocknen. 10-20 Sek. lichthärten. **DT Light[®]SL:** Diesen Schritt bitte nicht anwenden.

Selbst- oder dualhärtenden Zement anmischen, in den Kanal einbringen. Bei **DT White[®]Post** nur selbsthärtenden Zement verwenden.



Stift platzieren und überschüssigen Zement entfernen. **DT Light[®]Post** und **DT Light[®]SL** 40 bis 60 Sek. lichthärten. **DT White[®]Post** aushärten lassen.

Zwei Schichten des Primers auftragen. 20 Sek. abwarten. Überschüsse entfernen. 30 Sek. lichthärten. **DT Light[®]SL:** Nicht erforderlich, wenn Dentin koronal mit Primer beschichtet und Stift um mind. 5 mm gekürzt wurde.

Aufbau erstellen.

10. Fragen und Antworten

Wie tief soll ein Faserstift im Inneren des Wurzelkanals zementiert sein?

Man geht davon aus, dass der Stift nicht mehr als 2-3 mm apikal zur Knochengrenze gesetzt werden muss, wenn mindestens 2 mm koronalen Dentins erhalten bleiben.

Darstellung 1



Wieviel restliches koronales Dentin sichert eine gute Haftung am Stift?

Es sind mindestens 2 mm koronalen Dentins vonnöten, um dem Stift Stabilität zu verleihen.

Darstellung 2



Welche Faktoren müssen bei der Entscheidung, ob man einen Stift in einen endodontisch behandelten Zahn zementieren soll, berücksichtigt werden?

Die zu berücksichtigenden Faktoren sind: Qualität der endodontischen Behandlung, Intaktheit der Zahnhöcker und Kronenwände, Position des Elements und der Okklusion, Notwendigkeit der Abdeckung des Elements mit einer prothetischen Krone, Behandlungsplan, Charakteristiken und Erwartungen des Patienten.

Wenn der Behandlungsplan eine prothetische Abdeckung des endodontisch behandelten Elements vorsieht, sollte man dann einen Stift setzen oder kann man es vermeiden?

In diesem Fall ist es häufig vorzuziehen, den Stift zu setzen, um einen regulären, intakten prothetischen Stumpf zu erhalten.

Darstellung 3



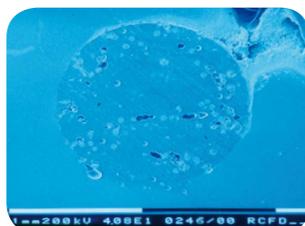
Darstellung 4



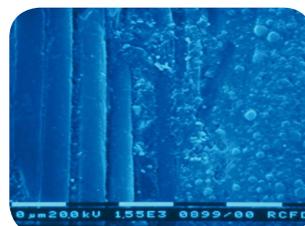
Welches Kompositmaterial kann für den Stumpfaufbau um einen Faserstift herum verwendet werden?

Einige morphologische Gegebenheiten empfehlen die Verwendung von sog. flowables Materialien, andere Hafttests am Stift empfehlen die von Microhybridkompositen. Klinische Daten liefern für beide Materialtypen positive Werte. So ist derzeit die Präferenz des behandelnden Arztes entscheidend, wobei die Rekonstruktion immer mit Inkrementtechnik erfolgen muss und dabei das Material selbst an die koronale Oberfläche des Stiftes und die Restzahnschubstanz adaptiert werden muss. X-flow™ zeigt unter dem REM eine hervorragende Adaptation an die Stiftoberfläche und keinerlei Auftreten von Blasen in der Stumpfmasse (Darstellung 5-6).

Darstellung 5



Darstellung 6



Welcher klinische Misserfolg kann bei der Verwendung von Faserstiften auftreten?

Der klinische Misserfolg, von dem am häufigsten berichtet wird, ist die Abzementierung des Stifts, die sehr häufig beim Entfernen des Provisoriums erfolgt. In der Tat werden Abzementierungen vom Stift nur bei Fällen von herausnehmbarem Zahnersatz verzeichnet.

Darstellung 7



Welche Gegenmaßnahmen kann man gegen eine Abzementierung ergreifen?

Durch die erneute Einzementierung des gleichen Stifts, wenn es möglich war, ihn intakt von der Krone zu entfernen (Neueinzementierung des Stifts) oder die Einzementierung eines neuen Stifts, nachdem der Restzement vorsichtig von den radikulären Wänden mithilfe eines breiten Kanalbohrers entfernt worden ist, wobei dann die Phasen der Adhäsivtechnik wieder durchlaufen werden müssen.

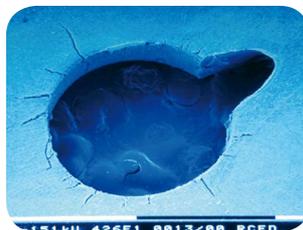
Darstellung 8



Wo liegt der Schwachpunkt des Systems Zahn-Stift-Zement?

Die Abzementierung erfolgt gewöhnlich an der Schnittstelle zwischen Dentin und Adhäsiv-Zement: Dies ist der schwache Bereich des Systems.

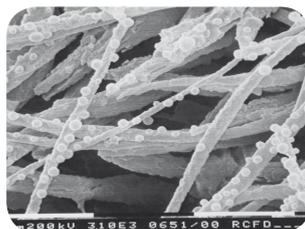
Darstellung 9



Kann man das Adhäsiv, den Zement und den Stift anbringen und dann nur eine Polymerisation durch den transluzenten Stift durchführen?

Auch wenn es sich dabei um eine faszinierende Vorgehensweise handelt, wurde festgestellt, dass im mittleren und apikalen Drittel des Wurzelkanals das übertragene Licht nicht mehr in der Lage ist, eine Polymerisation zu bewirken und dazu tendiert, nicht polymerisierte Kompositmonomere in sphäroidaler Form und manchmal weitgehende Bereiche nicht polymerisierten Komposits zurückzulassen. Daher empfiehlt es sich, immer zunächst das Adhäsiv zu polymerisieren und nach Anbringung des Stifts auch den dual härtenden Zement separat zu polymerisieren.

Darstellung 10



Darstellung 11



11. Literaturverzeichnis

- 1 Dallari A, Rovatti L *Il sistema Composipost perni endocanalari di terza generazione (Übers.: Das Composipost-System. Wurzelkanalstifte der dritten Generation)*. Martina Bologna, 1999
- 2 Nathanson D, Moin K *Metal-reinforced anterior tooth replacement using acid-etch-composite resin technique*. J Prosthet Dent, 1980, 43: 408-412
- 3 Sorensen JA, Martinoff JT *Clinically significant factors in dowel design*. J Prosthet Dent, 1984, 52: 28-34
- 4 Isidor F, Oldman P, Brondum K *Intermittent loading of teeth restores using prefabricated carbon fiber posts*. Int J Prosthodont, 1996, 9: 131-136
- 5 Sorrentino R, Monticelli F, Goracci C, Zarone F, Tay FR, Garcia-Godoy F, Ferrari M *Effect of post-retained composite restorations on the fracture resistance of endodontically-treated teeth*. American Journal of Dentistry, 2007, 20: 269-274
- 6 Scotti R, Ferrari M *Perni in fibra (Übers.: Faserstifte)*. Masson Milano, 2003
- 7 Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M *Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three point and bending test and SEM evaluation*. Dental Materials, 2005, 21: 75-82
- 8 Baldissara P, Scotti R *Atti Simposio Intern. odontoiatria adesiva e ricostruttiva (Übers.: Unterlagen Internationales Symposium adhäsive und rekonstruktive Zahnmedizin)*. 2003, 7: 11-16
- 9 Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Boracchini A, Ferrari M *Valutazione della resistenza alla fatica di alcuni tipi di perni in fibra mediante esecuzione del test „three bending“ (Übers.: Untersuchung der Ermüdungsfestigkeit einiger Faserstifttypen durch „three bending“-Test)*. Il Dentista Moderno, 2004, 3: 3-7
- 10 Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F *Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cores*. Am J Dent, 2000, 13: 15b-18b
- 11 Malferrari S, Monaco C, Scotti R *Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts*. Int J Prosthodont, 2003, 16: 49-44
- 12 Grandini S *Basic and clinical aspects of selection and application of fiber posts*. PhD Thesis, 2004
- 13 Marx R, Edelhoff D, Weber M, Spiekermann H *PVD Beschichtung für verbesserte Retention glasfaserverstärkter Wurzelkanalstifte*. Schweiz Monatsschr. Zahnmed., 2006, 116: 992-999

DT Light®Post wurde mehrmals hintereinander als bestes Produkt von The Dental Advisor, CRA und REALITY anerkannt:



2004-2007



2005-2008



Für mehr Information über das DT Post System:

VDW GmbH • Postfach 830954 • 81709 München
Tel. 089 627 34-0 • Fax 089 627 34-195
info@vdw-dental.com • www.vdw-dental.com

Hersteller: RTD • 3 rue Louis Neel • 38120 St Egrève • Frankreich