

M. Dimitrouli<sup>1</sup>, W. Geurtsen<sup>1</sup>, A-K. Lührs<sup>1</sup>

# Faserverstärkte Wurzelkanalstifte: Systeme und Verarbeitung – eine Übersicht



M. Dimitrouli

*Fiber reinforced posts: systems and processing – an overview*

**Einleitung:** Endodontisch behandelte Zähne sollten nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung möglichst zeitnah definitiv versorgt werden. Die Kompositfüllung stellt dabei eine Versorgungsmöglichkeit dar. In vielen Fällen ist jedoch zusätzlich die Insertion eines Stiftes mit Stumpfaufbau erforderlich.

**Material und Methode:** In der vorliegenden Literaturübersicht wurden die kontroversen Meinungen vieler Autoren über die Verwendung von faserverstärkten Stiften, ihre adhäsive Befestigung und die Notwendigkeit der Stiftvorbehandlung dargestellt.

**Ergebnisse und Schlussfolgerung:** Der Zahnhartsubstanzdefekt und die Zahnlokalisierung sind entscheidende Faktoren für die definitive Restauration von wurzelkanalbehandelten Zähnen. Jahrelang waren gegossene Stiftaufbauten der Mittel der Wahl für die Versorgung nach Abschluss der Wurzelkanalbehandlung. Die mit metallischen Stiftaufbauten assoziierten Nachteile wie z. B. die Gefahr von Wurzelfrakturen, Korrosionsvorgänge und Einbußen im Bereich der Ästhetik haben dazu geführt, dass faserverstärkte Stifte inzwischen bei der Versorgung von devitalen Zähnen bevorzugt eingesetzt werden. Voraussetzung für die Verwendung von faserverstärkten Stiften ist deren adhäsive Befestigung. Die Angaben über eine erforderliche Stiftvorbehandlung mit verschiedenen Techniken, wie z. B. Anrauen der Stiftoberfläche, die Applikation von Silanen oder die Kombination der zwei letzten Vorbehandlungen sind in der Literatur widersprüchlich beschrieben.

(Dtsch Zahnärztl Z 2011, 65: 175–184)

*Schlüsselwörter: faserverstärkte Stifte, Befestigungskomposit, adhäsives Zementieren, selbstadhäsive Zemente, Stiftvorbehandlung*

**Introduction:** Endodontically treated teeth should be restored as soon as possible after the root canal treatment. The composite restoration is one of the most common restoration types of root canal treated teeth. In many cases, the application of a post insertion combined with a build-up is necessary.

**Material and methods:** This review article presents an overview about the use of fiber-reinforced posts, their adhesive cementation and the different pretreatments prior to cementation.

**Results and conclusion:** The amount of lost tooth tissues, and the defect's localization are decisive factors for the restoration of endodontically treated teeth. The disadvantages of metallic posts such as the risk of root fracture, corrosion and esthetic disadvantages have caused that today fiber reinforced non-metallic posts are preferred for the restoration of nonvital teeth. These fiber-reinforced posts, however, need to be adhesively cemented. Recommendations concerning the pre-treatment of the posts' surfaces with different techniques i. e. roughening, application of silanes or the combination of both techniques are not consistent.

*Keywords: fiber reinforced posts, resin cement, adhesive cementation, selfadhesive resins systems, post pre-treatment*

<sup>1</sup> Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde, Medizinische Hochschule Hannover

Peer-reviewed article: eingereicht: 20.03.2010, revidierte Fassung akzeptiert: 30.08.2010

DOI 10.3238/dzz.2011.0175

## 1 Stiftsysteme und -Materialien

### 1.1 Metallische Stiftsysteme

Über viele Jahrzehnte wurden vorgefertigte (direkte) oder laborgefertigte (indirekte) metallische Stifte für den Aufbau von endodontisch behandelten Zähnen verwendet. Die direkten metallischen Stifte unterscheiden sich nach ihrer Form: *passive Stifte* erhalten ihre Retention überwiegend durch die Friktion konischer oder zylindrischer Flächen, *aktive Stifte* besitzen ein Schraubgewinde [169], welches ein hohes Maß an Retention gewährleistet [83, 165].

Mit der Weiterentwicklung der restaurativen Zahnheilkunde und der Etablierung von neuen Materialien wurden gegossene Stiftaufbauten zum Mittel der Wahl für die Versorgung wurzelkanalbehandelter Zähne [99, 156]. Deren Verwendung nimmt aber zusehends ab, da für ihre Anfertigung zwei Sitzungen mit zwischenzeitlichem provisorischem Verschluss notwendig sind und Laborkosten anfallen [156].

Die heutzutage am meisten verwendeten Stiftsysteme sind direkte Systeme, die in Abhängigkeit vom Material und vom Design in verschiedene Gruppen eingeteilt werden können. Die direkten Stiftsysteme haben den Vorteil, dass der Zahnarzt sie innerhalb einer Sitzung beim Patienten einsetzen kann, ohne dass zusätzliche Laborarbeiten erforderlich sind [155, 169].

### 1.2 Stiftmaterial

Das Material für Wurzelkanalstifte sollte neben einer biologischen Verträglichkeit eine hohe Bruchfestigkeit und Passgenauigkeit aufweisen sowie einfach zu verarbeiten sein. Diese Voraussetzungen werden durch die Verwendung ausgewählter Metall-Legierungen (Titan, Gold-Platin, Gold-Iridium) sowie bestimmter metallfreier Materialien (Keramik, faserverstärkte Komposite) erfüllt.

Mit metallischen Stiftaufbauten sind verschiedene Nachteile wie z. B. die Gefahr von Wurzelfrakturen, Korrosionsvorgänge und Einbußen im Bereich der Ästhetik verbunden [56, 82, 143]. Diese beobachteten Komplikationen führten zu einer Reihe von Verbesserungen der Stiftsysteme, welche die heutigen funktionellen und ästhetischen An-

forderungen besser erfüllen [99]. Moderne metallfreie Stiftsysteme bestehen entweder aus hochfester Keramik (Zirkoniumdioxid-Keramik) oder aus Kompositmaterialien, die als Matrix ein Epoxidharz aufweisen, das entweder durch Karbon- oder durch Glasfasern verstärkt ist [44, 169].

### 1.3 Faserverstärkte Stiftsysteme

Ende der neunziger Jahre wurden Glasfaserstifte entwickelt und auf den Markt gebracht [18]. Sie ermöglichen durch ihre adhäsive Befestigung im Wurzelkanal und den adhäsiven Verbund mit dem Stumpfaufbau die Rekonstruktion avitaler Zähne bei Erhalt von möglichst viel Restzahnhartsubstanz [181, 182].

Glasfaserstifte bestehen zu 65 Gew. % aus Glasfasern, die in einen Faserverbundwerkstoff (Komposit- oder Epoxydharzmatrix, etwa 35 Gew %) eingebettet sind [50, 96, 98] und unterschiedliche Zusammensetzungen haben können. Die Hauptbestandteile sind Siliziumoxid (ca. 50–60 %) sowie Kalzium-, Bor-, Natrium- und Aluminiumoxid. Während die Fasern für die mechanischen Eigenschaften wie Elastizität und Frakturfestigkeit verantwortlich sind, wird vermutet, dass die Matrix einen chemischen Verbund mit Monomeren und Komonomeren der meisten adhäsiven Befestigungskomposite eingehen kann [15, 50, 105]. Weiterhin variieren die Eigenschaften der Glasfaserstifte in Abhängigkeit vom Durchmesser der einzelnen Fasern, ihrer Dichte sowie der Qualität der Adhäsion zwischen den Fasern und der Kompositmatrix, die durch ein Silan erreicht werden kann [65]. So lassen sich Druck-, Biege-, und Zugfestigkeit der Stifte anhand der verwendeten Glasfasern und deren Volumenanteil verändern [81, 144]. Andere Faktoren, die auch die mechanischen Eigenschaften von Glasfaserstiften beeinflussen können, sind neben der Anzahl und der Länge der eingebetteten Glasfasern die Faserorientierung und der Typ der Kompositmatrix [31]. Zwischen den strukturellen Charakteristika von Glasfaserstiften und ihrer Biegebruchfestigkeit besteht eine signifikante Korrelation. Glasfaserstifte mit einem niedrigeren Faser-Matrix-Verhältnis besitzen eine niedrigere Biegebruchfestigkeit als Stifte mit einem höheren Faseranteil [157]. Eine weitere Untersuchung be-

schäftigte sich mit dem Einfluss der strukturellen Charakteristika von Glasfaserstiften auf ihre Ermüdungsresistenz. Es konnte nachgewiesen werden, dass keine signifikante Korrelation zwischen der Ermüdungsresistenz der Glasfaserstifte und ihrer strukturellen Integrität besteht [65, 66]. Zähne, die mit Glasfaserstiften versorgt wurden, die eine ähnliche Zusammensetzung in Bezug auf das Verhältnis Fasern zu Matrix hatten, wiesen die gleiche Frakturresistenz auf [95]. Stifte mit einem niedrigeren Faseranteil besitzen eine höhere Transluzenz bzw. eine höhere Lichtleitfähigkeit [88, 105, 176]. Dieser Faktor könnte das unterschiedliche Verhalten von Glasfaserstiften nach dem adhäsiven Zementieren erklären. Es konnte nachgewiesen werden, dass die Zusammenfassung von faserverstärkten Stiften ihre Push-out Kräfte beeinflussen kann [90]. Quarzfaserverstärkte Stifte (DT Light Post) besaßen höhere Verbundkräfte als Glasfaserstifte (Luscent Anchor). Andere Untersuchungen konnten jedoch keinen Einfluss der Stifzusammensetzung auf ihre Verbundkräfte mit Wurzelkanalentin nachweisen [91, 139]. Infolgedessen ist es möglich, dass die unterschiedliche Zusammensetzung der Stiftsysteme deren klinisches Verhalten beeinflussen kann, wobei zur abschließenden Beurteilung, besonders in Bezug auf das adhäsive Zementieren, weitere Studien erforderlich sind.

Als Alternative zu konventionellen vorgefertigten Glasfaserstiften können individuelle Glasfaserstifte (z. B. everStick post, Sticktech, Turku, Finland) angesehen werden. Diese Stifte bestehen aus präimpregnierten Glasfasern, die in eine Matrix aus Monomer-Polymer-Gel eingebettet sind [1, 12]. Der Stift wird in weicher Form in den Wurzelkanal eingebracht und anschließend durch Lichtpolymerisation ausgehärtet [1, 12]. Auf diese Weise kann das weiche Stiftmaterial besser, insbesondere bei weitemlumigen oder ovalen Kanälen, an die natürliche Morphologie des Wurzelkanals anpassen werden, als es bei vorgefertigten faserverstärkten Stiften der Fall ist [12]. Durch einen entstehenden sog. Interpenetrating-Polymer-Network-Verbund kann nach der Lichtpolymerisation ein Verbund zwischen Glasfaserstift und Befestigungskomposit etabliert werden. Auf diese Weise bildet sich ein „Monoblock“ aus Glasfaserstift-Befestigungskomposit-

- Adhäsives Befestigen bewirkt Stabilisierung der Zahnhartsubstanz
- Prothetische Versorgungsmöglichkeit stark erweiterter Wurzelkanäle
- Geringere Wahrscheinlichkeit von Wurzelfrakturen
- Alternativangebot für „Metallphobiker“
- Negative, metallbedingte Effekte wie Korrosionsprodukte in der Gingiva, auf der Wurzeloberfläche, Schattierungen, Opazitätseffekte ausgeschlossen
- Metallfreie Versorgungen ermöglichen eine störungsfreie MRT-Aufnahme
- Erleichterte Stiftentfernung
- Adhäsive Stabilisierung von Wurzelfragmenten nach vertikaler Fraktur
- E-Modul der Stifte ähnlich der umgebenden Zahnhartsubstanz (Dentin)

**Tabelle 1** Vorteile von Glasfaserstiften.

**Table 1** Advantages of fiber reinforced posts.

- Signifikant geringere, aber klinisch akzeptable Belastbarkeit gegenüber metallischen Stiftversorgungen
- Z. Zt. noch unzureichende Röntgenopazität einiger Systeme
- Wenige wissenschaftliche Daten zum Adhäsivverbund im Wurzelkanal
- Einfluss der Vorgeschichte des Zahnes auf das Behandlungsergebnis nicht sicher prognostizierbar
- Wenige klinische Langzeitstudien zur Überlebenswahrscheinlichkeit faserverstärkter Stiftsysteme

**Tabelle 2** Nachteile von Glasfaserstiften.

**Table 2** Disadvantages of fiber reinforced posts.

(Tab. 1 und 2: M Dimitrouli)

Zahnhartsubstanz, dem ein hoher Widerstand bedingt durch die hohen Verbundkräfte zugeschrieben wird [19]. Neben der Individualisierbarkeit ist ein weiterer Vorteil dieser individuellen Glasfaserstifte, dass sie in gekrümmten und gebogenen Wurzelkanälen verwendet werden können, in denen die konventionellen vorgefertigten Glasfaserstifte schwer oder nicht anwendbar sind [162]. *Abo El-Ela et al.* [1] haben die Frakturresistenz eines individualisierbaren Glasfaserstiftsystems (everStick), eines konventionellen glasfaserverstärkten (ParaPost Fiber White), eines quartzfaserverstärkten (Light Post) und eines metallischen Stiftsystems (ParaPost) verglichen. Die faserverstärkten Stifte wurden mittels Befestigungskomposit in Kombination mit einem selbstätzenden Adhäsivsystem eingesetzt, für die Zementierung des metallischen Stiftes wurde Glasionomerzement verwendet. Die individualisierbaren Stifte besaßen eine höhere Frakturresistenz als die anderen faserverstärkten Stifte und der metallische Stift. Gleiche Ergebnisse konnten auch *Lassila et al.* [93] beim Vergleich von vorgefertig-

ten Glasfaserstiften (Snowpost, Carbo-post, Parapost Fiber White, C-Post, Glas-six, Carbonite) mit dem individualisierbaren System (everStick) nachweisen. Im Gegensatz zu den Ergebnissen der In-vitro-Studien konnte im Rahmen einer klinischen Untersuchung gezeigt werden, dass Zähne, die mit dem vorgefertigten DT Light Stift restauriert wurden, eine höhere Überlebensrate (90,9 %) aufwiesen als Zähne, die mit dem everStick System (76,7 %) restauriert wurden [30]. *Al-Tayyan et al.* [12] konnten zeigen, dass die axialen Widerstandskräfte zwischen einem vorgefertigten (DT Light,  $151 \pm 44$  N) und einem individualisierbaren (everStick,  $166 \pm 49$  N) Glasfaserstiftsystem keine statistischen Unterschiede aufwiesen.

#### 1.4. Vor- und Nachteile von Glasfaserstiften

In der Literatur wurden mehrfach die Vorteile von glasfaserverstärkten Stiftsystemen, wie deren mechanische Eigenschaften, ihre Revidierbarkeit sowie das verringerte Risiko einer Reinfektion

durch die „chairside“-Behandlung beschrieben [18, 156]. Darüber hinaus können Sie durch ihre nichtmetallische Zusammensetzung und ihre hohe Transluzenz die ästhetischen Anforderungen an eine nichtmetallische Restauration besser erfüllen. Metall-korrosive Verfärbungen von Wurzel und Gingiva sowie der „Durchscheineffekt“ bei der Verwendung vollkeramischer Kronen treten nicht mehr auf [44, 118, 119]. Des Weiteren wurde *in vitro* festgestellt, dass die Verwendung von faserverstärkten Stiftsystemen im Vergleich zu metallischen Stiften oder Stiftsystemen aus hochfester Keramik zu weniger Wurzelfrakturen führt [82, 87, 129, 138, 158].

Viele In-vitro-Studien verglichen die Frakturresistenz von Stiftsystemen mit Hilfe von „cycling loading“, welches als adäquates Verfahren für das Übertragen von *in vivo* auftretenden Kräften auf die In-vitro-Situation gilt [156]. In der Studie von *GU & Kern* [67] wurden Glasfaserstifte mit metallischen Stiften verglichen. Zähne, die Glasfaserstifte hatten, zeigten eine höhere Frakturresistenz. *Kivanc & Görgül* [87] prüften metallische Stifte, Glasfaser- und Keramikstifte auf ihre Frakturresistenz. Glasfaserstifte besaßen eine höhere Frakturresistenz als die anderen Gruppen, wobei sich für metallische Stifte die niedrigste Frakturresistenz ergab. Zu gleichen Ergebnissen kamen *Giovanni et al.* [58] und *Newmann et al.* [126]. Zähne, die mit Glasfaserstiften restauriert wurden, zeigten Wurzelfrakturen im zervikalen oder im mittleren Wurzel Drittel. Im Falle einer solchen Fraktur besteht die Möglichkeit, die Zähne zu restaurieren. Im Gegensatz dazu wurden für metallische Stiftsysteme zumeist Frakturen im apikalen Wurzelanteil nachgewiesen, was die erneute Restauration der Zähne erschwerte.

Der Vorteil von Glasfaserstiften, weniger Wurzelfrakturen zu verursachen, wird dadurch begründet, dass sie einen Elastizitätsmodul (40 GPa) haben, der dem von Dentin (20 GPa) ähnelt [37, 44, 54, 99, 119, 142]. Dadurch haben sie die Fähigkeit, Spannungen, die entlang der Wurzel konzentriert werden, entweder zu absorbieren oder besser im Zahn zu verteilen. Auf diese Weise kann die Wahrscheinlichkeit von Wurzelfrakturen reduziert werden [54, 58, 82, 87].

Im Gegensatz zu den oben genannten Ergebnissen konnten *Akkayan & Gülmez* [4] nachweisen, dass Zähne mit

quarzfaserverstärkten Stiften gegenüber Titan- und glasfaserverstärkten Stiften die höchste Versagensrate aufwiesen. *Ottl et al.* [133] haben die höchste Bruchlast für Zähne mit karbonfaserverstärkten Stiften, gefolgt von Edelmetall- und Keramikstiften, nachgewiesen. Im Kontrast dazu fanden *Raygot et al.* [147] keinen Unterschied zwischen individualisierten Gold-, Edelmetall- und karbonfaserverstärkten Stiften. Die Vor- und Nachteile von Glasfaserstiften zeigen die Tabellen 1 und 2 [118].

Im Gegensatz zu metallischen Stiften gibt es für nichtmetallische Stiftsysteme wenige retrospektive Studien bezüglich ihrer Überlebensrate. *Fredrikson et al.* [53] haben die Überlebensrate von karbonverstärkten Stiften nach durchschnittlich 32 Monaten (Zeitraum von 27 bis 41 Monaten) untersucht. Innerhalb dieses Zeitraumes konnten weder Stiftverluste, Stiftfrakturen noch Wurzelfrakturen mit dem Stiftsystem nachgewiesen werden. Die Ergebnisse dieser Studie stimmen mit einer Untersuchung von *Ferrari et al.* [49] überein. Verschiedene faserverstärkte Stiftsysteme besaßen in einem Zeitraum von bis zu 6 Jahren eine Überlebensrate von 95 %. Eine weitere Studie der gleichen Autoren hat das klinische Behandlungsergebnis von karbonfaserverstärkten und gegossenen Stiften nach 4 Jahren evaluiert [48]. Die karbonverstärkten Stifte besaßen nach vier Jahren eine höhere Überlebensrate (95 %) als die gegossenen Stifte (84 %). Eine weitere Untersuchung beschäftigte sich mit der Überlebensrate von Glasfaser- und Metallstiften im Zeitraum von bis zu 36 Monaten. Innerhalb dieses Zeitraumes konnten für keines der beiden Stiftsysteme Misserfolge nachgewiesen werden [123]. Um die Langzeitstabilität nichtmetallischer Stiftsysteme jedoch abschließend zu bewerten, sind noch weitere klinische Studien erforderlich.

Als ein Nachteil ist die hohe Röntgentransparenz zu nennen [118, 119]. Im Vergleich zu Wurzelkanalstiften aus Metall zeigen Glasfaserstifte nur einen schwach ausgeprägten Röntgenkontrast [169], nur der Befestigungszement ist je nach Schichtstärke zu erkennen [118]. Der Nachteil der fehlenden Röntgenopazität wurde bei der Neuentwicklung einiger Stiftsysteme (z. B. FRC Postec Plus, Ivoclar Vivadent, Schaan, Lichtenstein) durch einen erhöhten Fülleranteil

beseitigt, so dass bei diesen eine ausreichende Sichtbarkeit im Röntgenbild erreicht wird [20].

Zu den Nachteilen von Glasfaserstiften kann auch ein möglicher Festigkeitsverlust nach Wasseraufnahme gezählt werden. Die Permeabilität des Dentins, der hydrophile Charakter und der in den Dentintubuli vorhandene Dentinliquor könnte das Auftreten von hydrolytischen Effekten an der Grenzfläche Stift-Wurzeldentin verursachen [32, 34, 103]. Die Wasseraufnahme von den Glasfaserstiften kann zur Bildung von Spalten innerhalb der Kompositmatrix des Stiftes führen. Auf diese Weise wird der Verbund des Stiftes mit dem Befestigungskomposit beeinflusst, die Grenzschicht Stift-Befestigungskomposit wird breiter. Dieses kann zur Lockerung des Stiftes und schlussendlich zu seinem Verlust führen. Außerdem kann die Wasseraufnahme zur Abnahme der Frakturresistenz führen [174]. In Stiften, die in Wasser gelagert wurden, konnten Hohlräume zwischen den Fasern und der Kompositmatrix nachgewiesen werden [174].

### 1.5. Stiftdesign

Die heute verwendenden faserverstärkten Stifte gehören zu den passiven Stiftsystemen und zwar sind sie zylindrisch, konisch und zylindrisch-konisch aufgebaut. Zylindrische Stifte bieten eine bessere Retention als konische [125, 152, 167]. Ein weiterer Unterschied zwischen zylindrischen und konischen Stiftsystemen ist der unterschiedliche Zahnhartsubstanzverlust bei der Stiftbohrung. Die Insertion eines zylindrischen Stiftes bedeutet einen größeren Zahnhartsubstanzverlust, wobei bei der Anwendung von konischen Stiften weniger Dentin entfernt werden muss, da die Wurzelkanäle nach der Aufbereitung eine konische Form besitzen [144, 156]. Bei Verwendung konischer Stifte kann eine gute Passung bei gleichzeitig geringerer Schädigung der Zahnwurzel erreicht werden [144, 156, 165].

Zylindrisch-konische Stifte sollen die Vorteile der rein zylindrischen bzw. konischen Stifte vereinen und ähneln zudem der anatomischen Form des Wurzelkanals. Mit dieser Stiftform kann sowohl die Wurzelanatomie beachtet und so die Perforationsgefahr minimiert werden, als auch eine gute Retention der

endgültigen Restauration erreicht werden [144, 156, 165].

Zum Einfluss des Stiftdesigns auf die Retention von faserverstärkten Stiften gibt es bis heute nur wenige Daten. *Teixeira et al.* [167] prüften die Retention eines doppelt-konischen Quarzfaserstiftes (D.T.Light-Post), eines konischen Glasfaserstiftes (FibreKleer Tapered Post) und zweier zylindrischer Glasfaserstifte (FibreKleer Parallel Post, FibreKor). Es wurde nachgewiesen, dass alle zylindrischen Stifte eine bessere Retention als der konische Stift hatten. *Aksornmuang et al.* [8] untersuchten die Verbundkräfte eines zylindrischen (FibreKor) und dreier konischer Glasfaserstifte (DT Light, Snowlight, CG Post), wobei der zylindrische Stift die höchsten Verbundkräfte mit Wurzelkanaldentin besaß. *Naumann et al.* [121] zeigten jedoch, dass zylindrische Stifte eine dreimal höhere Versagensrate aufweisen als konische Glasfaserstifte. Zu gleichen Ergebnissen kamen auch *Grandini et al.* [66]. In dieser Studie wurde die mechanische Belastbarkeit der Stifte geprüft. Im Ermüdungstest zeigten konische Glasfaserstifte (GC Fiber Post, FRC Postec und DT Light Post) bessere Ergebnisse als zylindrische Stifte (Para Post Fiber White, FibreKor).

*Borer et al.* [26] berichtet, dass es keine unterschiedliche Retention von zylindrischen und konischen Stiften gibt, wenn sie mit einem Befestigungskomposit befestigt werden. Nach *Patyk et al.* [136] kann die geometrische Form von Glasfaserstiften nur den Grad der Aushärtung des Befestigungskomposits beeinflussen, wodurch indirekt die Verbundkräfte des Stiftes beeinflusst werden könnten. *Goracci et al.* [63] haben gezeigt, dass der Widerstand adhäsiv zementierter Glasfaserstifte in großem Maße auf Gleitreibungskräfte zurückzuführen ist. Laut *Nisann et al.* [128] und *Paul & Schärer* [137] tritt der Einfluss der Stiftkonfiguration (Stiftdurchmesser, Konizität) aber bei der adhäsiven Verankerung von faserverstärkten Stiften in den Hintergrund.

## 2 Allgemeine Indikationen und Auswahlkriterien für die Anwendung eines Stiftes

Der Verlust von Hartschubstanz während der endodontischen Behandlung bzw. die Präparation der Zugangskavität, die

Entfernung des Kavumdaches und die Aufbereitung der Wurzelkanäle führen zur Schwächung der Zähne und der verbliebenen Zahnhartsubstanz [44]. Deswegen sollten endodontisch behandelte Zähne nach Abschluss der Behandlung möglichst rasch definitiv versorgt werden. Die Kompositfüllung zählt zu den häufigeren Versorgungen von endodontisch behandelten Zähnen [72]. In vielen Fällen ist jedoch zusätzlich die Insertion eines Stiftes mit Stumpfaufbau erforderlich [165]. Weiterhin soll der Stift einen guten Verbund mit dem Aufbau eingehen und Kaukräfte, die auf den Zahn treffen, abfangen, um mögliche Wurzelfrakturen zu verhindern [19, 44, 169].

Zur Restauration tief zerstörter endodontisch behandelter Zähne ist jedoch nicht immer die Verwendung eines Stiftes nötig. Für die Entscheidungsfindung werden verschiedene Konzepte vorgeschlagen, die von dem Zahnhartsubstanzdefekt und der Zahnlokalisation abhängig sind [18, 44, 72, 156].

### 2.1 Hartsubstanzdefekt als indikationsbestimmende Größe

Bezugnehmend auf den Hartsubstanzdefekt wurden in der Literatur verschiedene Vorgehensweisen beschrieben. Weisen endodontisch behandelte Zähne nur eine zentrale Zugangskavität bei ansonsten intakten zirkulären Kronenwänden auf, ist ein direkter adhäsiver Aufbau aus Komposit als definitive Versorgung möglich [43, 44]. Laut Stellungnahme der DGZMK [43] können proximale Defekte bei stabilen gegenüberliegenden Dentinwänden adhäsiv mit Komposit restauriert werden. Wurzelkanalbehandelte Zähne mit kombinierten approximalen und zentralen Defekten und einer fraglichen Schichtdicke der bleibenden Dentinwände werden am besten mit einer Teil- oder Vollkrone restauriert. Auch endodontisch behandelte Seitenzähne mit approximalen Defekten, die bis in die Trepanationsöffnung hineinreichen und die Kontinuität der Krone unterbrechen, können bei ausreichenden Schichtdicken der gegenüberliegenden Kavitätenwände mit Komposit aufgebaut werden [43].

Anschließend können sie, je nach Defektgröße, mit einer intrakoronalen Restauration bzw. einem Inlay, einer höckerfassenden Restauration in Form eines Overlays, einer Teilkrone oder auch

einer Vollkrone versorgt werden [43, 44]. Dabei ist zu berücksichtigen, dass intrakoronale Restaurationen eine ungünstige Spannungsverteilung auslösen, wenn sie konventionell befestigt werden [43, 44, 89]. Deshalb sollten solche Versorgungen idealerweise adhäsiv zementiert werden.

Beim starken Substanzverlust der klinischen Krone sollten zur Schaffung einer zuverlässigen Retention für den Aufbau adhäsiv oder nicht adhäsiv verarbeitete Stiftaufbauten zum Einsatz kommen [38, 43].

### 2.2 Zahnlokalisation als indikationsbestimmender Faktor

Neben der verbliebenen Restzahnhartsubstanz ist die Zahnlokalisation ein weiterer Faktor, der die definitive Versorgung eines endodontisch behandelten Zahnes beeinflussen kann. Frontzähne mit einem minimalen Zahnhartsubstanzdefekt bedingt durch die Präparation der Zugangskavität können konservativ mit einer Kompositfüllung restauriert werden [17, 74, 161]. In dem Fall, dass ein wurzelkanalbehandelter Zahn im Frontzahnbereich mit einer Krone versorgt werden muss, kann die Verwendung eines Stiftes indiziert sein [35, 156]. Der so vorbehandelte Zahn kann auftretenden Kräften besser widerstehen [35, 156]. Weiterhin ist eine mindestens 1–2 mm hohe Dentinwand („Ferrule Effect“ = „Hülseffekt“) nötig, die eine Resistenz des wurzelkanalbehandelten Zahnes gegenüber horizontal und lateral wirkenden Belastungen und Scherkräften gewährleistet [72, 106, 156, 163] und die langfristige Prognose der definitiven Versorgung [29, 106, 122] und die Frakturresistenz der wurzelkanalbehandelten Zähne ohne Rücksicht auf den Stiftyp *in vitro* erhöht [5]. Auch Zähne mit einem „Ferrule Effect“ von 1 mm besitzen eine höhere Frakturresistenz als Zähne ohne „Ferrule Effect“ [163]. Andere Autoren haben keine unterschiedliche Frakturresistenz von Zähnen mit und ohne 2 mm höhere Dentinwand gefunden, wenn die Zähne mit adhäsiv zementierten Stiften versorgt wurden [11]. Zähne ohne „Ferrule Effect“ konnten jedoch nach einer Fraktur nicht erneut restauriert werden.

Bei der Rekonstruktion von Prämolaren ist die Insertion eines Stiftes häufiger erforderlich als bei Molaren, da bei

ersteren eine kleinere Pulpakammer und weniger Zahnhartsubstanz für die Retention eines Aufbaus zur Verfügung steht [35, 156]. Die definitive Versorgung muss ausreichend Resistenz gegen lateral wirkende Kräfte aufweisen, die im Prämolarenbereich häufig auftreten [156]. Entscheidende Faktoren bezüglich der Notwendigkeit einer Stiftinsertion sind also die verbliebene Zahnhartsubstanz und funktionelle Faktoren [156].

Bei Molaren sollten die Höcker überkuppelt werden, was in den meisten Fällen keine Stiftinsertion erfordert [156]. Mit Ausnahme von stark extendierten koronalen Defekten bieten die Reste des Pulpakavums und die Wurzelkanäle bei Molaren eine ausreichende Retention für einen adhäsiven Aufbau [84]. Auf Molaren wirken primär vertikale Kräfte. Der Stift sollte in den größten und geradesten Kanal inseriert werden, wobei hier idealerweise der palatinale Kanal in Oberkiefermolaren und der distale Kanal in Unterkiefermolaren gewählt werden sollte [35, 156].

### 2.3 Indikationen und Auswahlkriterien für faserverstärkte Stifte

Für die Auswahl eines metallischen oder nichtmetallischen Stiftsystems können unterschiedliche funktionelle, mechanische und ästhetische Faktoren eine Rolle spielen. Bei genügender supragingivaler Dentinverankerung kann ein nichtmetallischer Stift eingesetzt werden [47, 127]. Durch die adhäsive Befestigung von faserverstärkten Stiften und durch die supragingivale vertikale Dentindimension von 1,5–2 mm kann eine adäquate Retention der definitiven Versorgung gesichert werden [5, 127, 190]. Eine ausreichende Resistenz gegen die auf die Restauration einwirkenden Belastungen ist dadurch gewährleistet, ohne dass der Wurzelkanal unter Zahnhartsubstanzverlust für die Insertion eines gegossenen Stiftes präpariert werden muss. Die Anatomie der Wurzel ist ein anderer Einflussfaktor im Rahmen der Entscheidungsfindung bei der Auswahl eines geeigneten Stiftsystems. Bei gebogenen, schmalen und kurzen Wurzeln oder bei engen Wurzelkanälen kann eine extensive Stiftpräparation die Wurzel schwächen [29, 58, 92], so dass bei solchen Zähnen die Insertion eines faserverstärkten Stiftsystems bevorzugt wer-

den sollte. Für die adhäsive Verankerung von nichtmetallischen Stiften genügt eine relativ kurze Stiftlänge von 3 bis 6 mm im Wurzelkanal, um eine ausreichende Retention des Aufbaus zu erzielen [72, 120, 150]. Bei diesen kurzen Stiftlängen ist jedoch eine mindestens 1,5 bis 2 mm tiefe Ringfassung („ferrule design“) der Kronenpräparation in gesunder Hartsubstanz anzustreben, um das Risiko eines Misserfolges zu reduzieren [72, 120, 150].

Für die Insertion eines metallischen Stiftes muss im Vergleich zu glasfaserverstärkten Stiften mehr Dentin entfernt werden, da die Stiftlänge 2/3 der Wurzellänge entsprechen sollte, damit eine adäquate Retention des Stiftes in der Wurzel gewährleistet werden kann [59, 154, 160]. Durch dieses Vorgehen wird eine große Kontaktfläche des Stiftes zum Wurzeldentin erreicht, dessen Befestigung durch Glasionomer- oder Zink-Phosphatzement weitestgehend auf einer mechanischen Verbindung zum Dentin basiert. Je mehr Kontakt der Stift mit dem Wurzeldentin hat, desto höher ist die Retention des Stiftes im Wurzelkanal. Eine kürzere Stiftlänge wie bei faserverstärkten Stiften gewährleistet nur eine ungenügende Retention des Aufbaus, da kurze metallische Stifte leichter verloren gehen können [76, 117, 153]. McLaren et al. [102] haben die Frakturresistenz von wurzelkanalbehandelten Zähnen geprüft, die mit metallischen und zwei faserverstärkten Stiften unterschiedlicher Länge (5 mm und 10 mm) versorgt wurden. Zähne, die mit 5 mm langen metallischen Stiften versorgt wurden, besaßen eine niedrigere Frakturresistenz als die Gruppen mit faserverstärkten Stiften. Giovanni et al. [58] fanden ähnliche Ergebnisse beim Vergleich von metallischen Stiften und Glasfaserstiften unterschiedlicher Länge (6 mm, 8 mm und 10 mm). Zähne, die mit metallischen Stiften mit einer Länge von 10 mm versorgt wurden, besaßen eine niedrigere Frakturresistenz als solche mit Glasfaserstiften gleicher Länge. In der Gruppe der metallischen Stifte gab es keine Unterschiede bezüglich der Stiftlänge. Glasfaserstifte mit einer Länge von 6 mm zeigten jedoch signifikant niedrigere Werte als längere Stifte. [28]. Metallische Stifte führen insgesamt häufiger zu Wurzelfrakturen als Glasfaserstifte ähnlicher Länge. Darüber hinaus ist die Stiftpräparation invasiver, bei

kurzer Stiftlänge ist daher die Verwendung von faserverstärkten Stiften zu bevorzugen.

Ein weiterer Aspekt ist, dass die oben erwähnte Ringfassung entscheidend für die Retention eines Aufbaus ist als die Stiftlänge [78, 127]. Ein kurzer Stift minimiert zudem die Gefahr einer Wurzelperforation [2, 72, 128, 156]. Ein anderer entscheidender Vorteil von faserverstärkten Stiften ist ihr Elastizitätsmodul. Faserverstärkte Stifte weisen ein Elastizitätsmodul (40 GPa) auf, der dem des Dentins (20 GPa) ähnlich ist [6, 131, 138]. Dadurch können die Spannungen, die entlang der Wurzel auftreten, entweder absorbiert oder besser am Zahn verteilt und das Risiko von Wurzelfrakturen reduziert werden [54, 58, 82, 87]. Weiterhin sind nichtmetallische Stifte eine alternative Lösung für „Metallphobiker“ und für Patienten mit Nickel-Allergie [35, 118]. Letztendlich spielen auch die geplante Versorgung sowie ästhetische Ansprüche eine Rolle bei der Auswahl des Stiftsystems [35, 112, 175], z. B. durch die Art definitiven Krone [47]. Eine metallische Krone mit Verblendung erlaubt dem Behandler jeden Stifftyp zu benutzen [54], während bei einer vollkeramischen Krone aufgrund der Transluzenz ein metallischer Stift durchscheinen würde. In diesem Fall ist die Verwendung nichtmetallischer Systeme vorteilhaft. Bei einer Neuversorgung, vor allem im Frontzahnbereich sind somit negative metallbedingte Effekte wie Korrosionsprodukte in der Gingiva und auf der Wurzeloberfläche, Schattierungen und Opazitätseffekte ausgeschlossen [112, 118].

### 3 Adhäsive Befestigung von faserverstärkten bzw. Glasfaserstiften

Unabhängig von dem verwendeten Stiftsystem ist heutzutage ein Trend zur adhäsiven Befestigung erkennbar [169]. Glasfaserstifte sollten adhäsiv mit Befestigungskomposit im Wurzelkanal befestigt werden [169].

Die Verwendung von Befestigungskomposit für die Befestigung von faserverstärkten Stiften scheint vorteilhaft gegenüber konventionellen Zementen (Glasionomer-, Zink-Phosphatzement) zu sein. Die hohe Resistenz gegenüber den auftretenden Belastungen [69, 124,

156], die große Retention des Stiftes [71, 156] und die dichte Adhäsion des Stiftes/Komposites an der Kanalwand [97, 148, 149] sind wichtige Vorteile der Befestigungskomposite. Weiterhin sind zu nennen die hohen Verbundkräfte der Befestigungskomposite am Dentin [35, 134, 184] und die erhöhte Frakturresistenz von Zähnen mit adhäsiv zementierten Stiften [35, 48, 106, 131].

#### 3.1 Einteilung der Adhäsivsysteme/ Befestigungskomposite

Die Anwendung der Adhäsivtechnik im Wurzelkanal stellt erhöhte Anforderungen an die verwendeten Befestigungsmaterialien und den Behandler. Die Schwierigkeit der Feuchtigkeitskontrolle, die Anwesenheit einer Schmierschicht und der Mangel an direkter Einsicht in den Wurzelkanal erschweren die Anwendung der Adhäsivtechnik im Wurzelkanal [32, 34, 108, 168]. Außerdem besitzt Dentin im Vergleich zum Schmelz eine tubuläre Mikrostruktur und besteht zu einem größeren Anteil aus organischen Substanzen, was einen zuverlässigen und suffizienten adhäsiven Verbund erschwert [32, 34, 79, 178]. Komposit und Dentin sind unterschiedlich stark hydrophil [25, 46, 70]. Das Dentin weist aufgrund des Dentinliquors einen hydrophilen Charakter auf, das Komposit hingegen ist hydrophob [25]. Um eine Verbindung zwischen der Zahnhartsubstanz und dem Komposit herzustellen, ist die Verwendung von Adhäsivsystemen zwingend notwendig [45, 70, 73].

Die Dentinadhäsion basiert sowohl auf mikromechanischer als auch auf chemischer Verbindung zum Dentin [40, 75, 116, 189]. Die mikromechanische Verankerung wird durch eine Hybridisierung des Kollagenetzwerkes erreicht [9, 40, 101, 164], der chemische Haftmechanismus beruht auf der Wechselwirkung zwischen spezifischen Monomeren des Adhäsivsystems und dem Kalzium im Hydroxylapatit [55, 116, 188]. Spezifische Monomere für diese Bindung sind z. B. 10-Methakrylat-Dihydrogenphosphat (MPD) [55, 164, 188]. Aufgrund ihrer Interaktion mit der Schmierschicht können die Dentinadhäsive wie folgt eingeteilt werden: Smear-Layer-modifizierend (Self Etch), teilweise (Selective Etch) oder vollständige Entfernung („Etch & Rinse“) der Schmierschicht [79, 104]. Zudem gibt es

mittlerweile selbstadhäsive Befestigungskomposite [77, 104, 141, 168]. Diese im Jahr 2002 auf den Markt gebrachten Materialien haben den Vorteil, dass bei deren Anwendung keine adhäsive Vorbehandlung der Zahnhartsubstanz notwendig ist [94, 113]. Man hat jedoch festgestellt, dass bei Anwendung selbstadhäsiver Befestigungskomposite eine dünnere Hybridschicht und eine geringere Anzahl von „Resin tags“ als bei „Etch & Rinse“ Adhäsivsystemen entstehen, so dass ihre Wechselwirkung mit dem Dentin lediglich oberflächlich ist [57, 159, 185]. *Sirimai* et al. [159] konnten nachweisen, dass die Applikation von RelyX Unicem nicht zur Bildung einer Hybridschicht und Resin Tags sowie keiner deutlichen Demineralisation führte [9, 40, 61, 64, 115]. In Bezug auf die Verbundkräfte konnten allerdings *Bitter* et al. [24] die höchsten Werte für einen selbstadhäsiven Befestigungskomposit im Vergleich zu einem Befestigungskomposit mit selbstkonditionierendem Adhäsivsystem und drei „Etch & Rinse“-Systemen nachweisen, wobei eine oberflächliche Hybridisierung des Dentins für das selbstadhäsive System festgestellt wurde. Zur genauen Einschätzung selbstadhäsiver Befestigungskomposite sind folglich noch mehr Studien notwendig.

### 3.2 Die adhäsive Befestigung von faserverstärkten Stiften am Wurzelkanalentin

In der Literatur gibt es konträre Meinungen zur Befestigung von faserverstärkten Stiften sowohl mit konventionellen „Etch & Rinse“ als auch mit selbststützenden Adhäsivsystemen sowie mit selbstadhäsiven Befestigungskomposit [21, 22, 23, 41, 42, 60, 62, 85, 146, 168, 170, 177, 179, 180, 189]. In den meisten Studien wurden sogenannte Ausstoßversuche („Push-out-Versuche“) oder Auszugversuche („Pull-out-Versuche“) durchgeführt, um so die Haftung der Stifte am Dentin des Wurzelkanals zu bestimmen. Zudem wurde häufig die Ausprägung der Hybridschicht aus Adhäsiv und Dentin analysiert. In Abhängigkeit vom Versuchsdesign und den evaluierten Materialkombinationen bzw. deren Verarbeitung lässt sich eine breite Variation hinsichtlich der Verbundfestigkeit feststellen, die von etwa 5 bis zu knapp 22 MPa schwankt.

Insgesamt zeigen diese Studien, dass die Anwendung eines „Etch & Rinse“ Adhäsivsystems in Kombination mit einem Befestigungskomposit für die Befestigung von faserverstärkten Stiften empfehlenswert ist. Durch die separate Konditionierung des Dentins können die Schmierschicht vom Wurzelkanalentin und die „Smearplugs“ aus den Dentintubuli entfernt werden [27, 62, 140]. Dadurch lässt sich eine bessere mikromechanische Retention und damit höhere Verbundkräfte für die zu befestigenden faserverstärkten Stifte erreichen [27, 62, 140]. Demgegenüber wurde in vielen *In-vitro*-Studien niedrige Push-out-Kräfte für die selbststützenden Adhäsivsysteme beschrieben, wenn sie für die adhäsive Befestigung von Faserstiften benutzt wurden [62, 170]. Hinsichtlich der selbstadhäsiven Befestigungskomposite für die Befestigung von Faserstiften sind wie bereits erwähnt weitere Studien zum Haftmechanismus und ihrer Wechselwirkung mit der Schmierschicht des Wurzelkanalentin erforderlich.

## 4 Verbund zwischen Befestigungskomposit und Stift

Neben der Haftung des Befestigungskomposites am Wurzelentin sollte zusätzlich der chemische Verbund zwischen dem Befestigungsmaterial und dem Wurzelstift berücksichtigt werden. Der Verbund eines Stiftes mit einem Befestigungskomposit basiert auf einer chemischen Interaktion zwischen der Stiftoberfläche und dem Befestigungskomposit [113]. In der Regel hängt dieser Verbund vom Material des Stiftes, von der Stiftvorbehandlung und vom Typ des Befestigungskomposit ab [151].

### 4.1 Vorbereitung bzw. Vorbehandlung der Stifte

In der Literatur werden die Notwendigkeit einer Vorbehandlung der Stiftoberfläche und ihr Einfluss auf den adhäsiven Verbund ebenfalls kontrovers diskutiert.

In Bezug auf die Vorbehandlungsmöglichkeiten eines Stiftes unterscheidet man zwischen drei Gruppen [114, 150, 151]:

1. Applikation von Primern (Alloy Primer, Metalprimer II, Silan), die zu ei-

nem chemischen Verbund zwischen dem Komposit und dem Stift führen sollen [166, 186].

2. Anrauen der Stiftoberfläche (Sandstrahlen und Ätzen) [107, 130].

3. Kombinierte chemische und mikromechanische Vorbehandlung, bei der entweder die beiden oben genannten Methoden oder ein einzelnes System (Co-Jet) benutzt werden.

Die Verbindung zwischen Komposit und faserverstärkten Stiften ist primär niedrig, aufgrund des geringen chemischen Verbundes zwischen den methacrylatbasierten Kompositen und der Matrix von faserverstärkten Stiften [98, 110]. Die Verwendung von Silanen mit dem Ziel, die Verbindung von Komposit zu den faserverstärkten Stiften zu erhöhen, wird zudem kontrovers betrachtet [140].

Die Silanisierung und/oder die Applikation eines Adhäsivs sind diejenigen Verfahren, die bislang am besten untersucht sind [113]. Als Silan bezeichnet man ein vorhydrolysiertes monofunktionales  $\gamma$ -Methacryloxypropyl-Tri-methoxysilan ( $\gamma$ -MPS), das in einer Ethanol-Wasser-Lösung verdünnt wird und einen pH-Wert zwischen 4 und 5 besitzt [140]. Die Silanisierung von faserverstärkten Stiften kann die Fasern vor Beschädigungen schützen und die Benetzbarkeit der Faseroberfläche modifizieren [61, 80]. Außerdem kann eine Silanisierung der Glasfaser während des Herstellungsprozesses die Verbindung zwischen den Fasern und der Matrix verbessern und die chemische Resistenz der Matrix-Fasern-Grenzfläche besonders gegenüber Wasser erhöhen [61, 80, 135]. Zusätzlich können Silane dazu beitragen, Spannungen zu absorbieren oder zu verringern, die an der Grenzfläche Befestigungskomposit/Stift wegen der unterschiedlichen thermischen Expansionskoeffizienten auftreten können [135].

Der Haftmechanismus des Silans wird durch verschiedene Theorien erklärt [61]. Heutzutage wird im Allgemeinen die reversible hydrolytische Theorie favorisiert, obwohl einige Konzepte noch auf der „alten chemischen“ Verbindungstheorie basieren [61]. Diese Theorie beinhaltet, dass die Verbindung zwischen dem Silan und dem Substrat reversibel unterbrochen wird und bei Gegenwart von Wasser neu erstellt werden kann [135]. Dadurch wird eine

Stressverminderung ermöglicht, ohne dass ein Verlust an Adhäsion entsteht [135].

In der Studie von *Albaladejo* et al. [10] wurde der Einfluss der Stiftsilanisierung auf die Verbundkräfte zwischen faserverstärkten Stiften und fließfähigem Komposit geprüft. Die Hälfte der faserverstärkten Stifte wurde mit Silan (Monobond-S) vorbehandelt. Die Ergebnisse zeigten, dass die Silanisierung eine Erhöhung der Verbundkräfte bewirkt. Ähnliche Ergebnisse wurden auch von *Monticelli* et al. [109] beschrieben. In einer anderen Studie der Autoren [112] wurde eine Erhöhung der Verbundkräfte zwischen Komposit und Quarzfaserstiften nachgewiesen, wenn ein Silan in Kombination mit einem selbstätzenden Adhäsiv für die Befestigung der Stifte verwendet wurde. *Aksornmuang* et al. [7] stellten fest, dass die Applikation von Silan zu den höchsten Verbundkräften bei quarzfaserverstärkten Stiften führte. *Goracci* et al. [61] wiesen eine Verbesserung der Verbundkräfte zwischen silanisier-ten Glasfaserstiften (FRC Postec und DT Light) und Aufbauten aus fließfähigem Komposit nach. Diese Ergebnisse beruhen auf der Fähigkeit des Silans, eine chemische Verbindung mit den OH-Gruppen eines Substrates wie z. B. glas- oder quarzfaserverstärkten Stiften zu bilden, was zu einer erhöhten Benetzbarkeit der Oberfläche führt [61, 111, 113].

In einer weiteren Untersuchung hat die Silanisierung jedoch keine Erhöhung der Verbundkräfte zwischen Glasfaserstiften und sechs verschiedenen Adhäsivsystemen/Befestigungskomposit (Clearfil Core/New Bond, Multilink/Multilink Primer A&B, Panavia F/ED Primer, PermaFlo DC/PermaFlo DC Primers A&B, Variolink II/Excite DSC, RelyX) bewirkt [23], und zwar unabhängig von der Art des Befestigungskomposits („Etch & Rinse“ vs. selbstätzend vs. selbstadhäsiv). Ähnliches stellten *Ferrari* et al. [51] nach der Applikation von Silan auf methacrylatbasierte quarzfaserverstärkte Stifte fest, die mit verschiedenen Adhäsivsystemen befestigt wurden. Auch *Perdigao* et al. [140] konnten nach Silanisierung von quarzfaserverstärkten Stiften keine Erhöhung der Verbundkräfte nachweisen. Das Fehlen einer echten chemischen Verbindung zwischen den funktionellen Gruppen des Silans und der Epoxidharzmatrix, welche im Gegensatz zum Faseran-

teil nicht-silikat-basiert ist, kann eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse sein [6, 33, 113, 150]. Folglich können die Verbundkräfte zwischen epoxiharz-basierten faserverstärkten Stiften und methacrylatbasierten Kompositen nicht durch die Silanisierung verbessert werden [113]. *Sahafi* et al. [150] wiesen nach, dass die Applikation von Silan die Verbundkräfte von Glasfaserstiften nicht erhöht, wenn zwei Befestigungskomposite mit selbstätzenden Adhäsivsystemen angewendet wurden. Auch *Balbosh & Kern* [16] sowie *Wrbas* et al. [183] konnten zeigen, dass die Silanisierung von Glasfaserstiften keinen Einfluss auf ihre Verbundkräfte hat. Die beiden Autoren haben Befestigungskomposite in Kombination mit selbstkonditionierenden Adhäsivsystemen *Balbosh & Kern* [16] (Panavia F), *Wrbas* et al. [183] (Clearfil Core, MultiCore)] für die Befestigung der Stifte verwendet.

*Sahafi* et al. [151] haben die folgenden Vorbehandlungen der Stiftoberfläche von Glasfaser- und Keramikstiften untersucht:

1. Sandstrahlen oder Ätzen mit Flusssäure
2. Applikation von Alloy Primer, Metalprimer II oder Silan
3. kombinierte Vorbehandlung aus 1. und 2. oder die Anwendung vom Cojet System.

Es wurde nachgewiesen, dass weder die Silanisierung noch die anderen Vorbehandlungen die Verbundkräfte zwischen zwei Befestigungskomposite (ParaPost Cement und Panavia F) und Glasfaserstifte beeinflussen. Auch *Vano* et al. [173] wiesen nach, dass die Silanisierung der Glasfaserstifte ohne eine vorherige Modifizierung ihrer Oberfläche (z. B. mit Flusssäure oder Wasserstoffperoxid) die Verbundkräfte zwischen Komposit und glasfaserverstärkten Stift nicht erhöhen konnte.

Wie schon erwähnt wurde, besitzt die Matrix von faserverstärkten Stiften keine funktionellen Gruppen, die für eine Reaktion mit den Silanmolekülen verfügbar sind [61]. Daher wurde die Entfernung der oberen Matrixschicht des Stiftes durch eine chemische Vorbehandlung wie z. B. die Konditionierung empfohlen. Durch dieses Vorgehen können Fasern exponiert werden und anschließend mit den Silanmolekülen und mit dem Befestigungskomposit reagieren [6, 50, 111]. Die Räume, die so zwischen den Fasern entstehen, können mit Komposit infiltriert werden, was zusätzlich eine bessere mikromechanische Retention gewährleisten kann [111].

Durch die Konditionierung von Keramik mit Flusssäure kann die Oberfläche für eine mikromechanische Verblockung mit einem Befestigungskomposit vorbehandelt werden [99]. Dieses Vorgehen wurde in letzter Zeit auch für Glasfaserstifte vorgeschlagen [39, 151, 171]. Der Effekt der Säure ist zeitabhängig und wird von der Stiftzusammensetzung beeinflusst (Matrixtyp und/oder Fasern) [113, 114].

Es gibt viele Studien, die sich mit der Konditionierung von faserverstärkten Stiften mit verschiedenen Säuren beschäftigen. In der Studie von *Monticelli* et al. [111] wurden Glasfaserstifte mit Wasserstoffperoxid, Natriumperoxid und Kaliumpermanganat konditioniert. Als Kontroll-Gruppe dienten Stifte, die nur mit einem Silan vorbehandelt wurden. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die Konditionierung einen großen Einfluss auf die Verbundkräfte der Glasfaserstifte hatte, wobei Kaliumpermanganat den größten Effekt besaß. *Monticelli* et al. [110] haben vor der Anwendung eines fließfähigen Komposits quarzfaserverstärkte Stifte mit Wasserstoffperoxid (24 %ig für 10 Min. oder 10 %ig für 20 Min.) vorbehandelt und anschließend silanisiert. Durch die Vorbehandlungen kam es zu einer Erhöhung der mikromechanischen Verbundkräfte. *Yenisey & Kulunk* [187] haben glas- und quarzfaserverstärkte Stifte auf drei verschiedene Arten vorbehandelt: Silanisierung (Monobond S), Vorbehandlung mit Wasserstoffperoxid und mit Methylenchlorid. Die höchsten Verbundkräfte wurden für Wasserstoffperoxid nachgewiesen. *Vano* et al. [173] haben den Einfluss von Wasserstoffperoxid und Flusssäure mit und ohne Silanisierung auf die Verbundkräfte zwischen faserverstärkten Stiften und verschiedenen Komposite untersucht. Die Autoren haben festgestellt, dass die Vorbehandlung der Stifte mit Wasserstoffperoxid mit oder ohne anschließende Silanisierung die höchsten Messwerte ergeben hat.

Die Stiftkonditionierung kann aber zur Beschädigung von Glasfaserstiften führen und ihre Oberflächenintegrität zerstören [111], wobei Flusssäure einen hohen korrosiven Effekt auf die Matrix des Stiftes ausübt [3, 132]. Diese Ergebnisse wurden auch von *Vano* et al. [173] bestätigt, wenn Flusssäure für die Konditionierung von methacrylatbasierten faserverstärkten Stiften verwendet wur-

de. Trotz der Verbesserung der Verbundkräfte wurden jedoch Defekte der Stiftoberfläche festgestellt, die von Mikrorissen bis zu Infraktionen der Fasern reichen [173]. Die exponierten Fasern wurden nicht beschädigt, wenn die Stifte mit Wasserstoffperoxid vorbehandelt wurden. Außerdem kann die Stiftkonditionierung mit Flusssäure die Verbundkräfte zwischen dem Komposit und der geätzten Oberfläche beeinträchtigen [33]. Diese ist einerseits auf die Schädigung der Fasern, die aufgrund der Korrosivität der Flusssäure entstehen, zurückzuführen [33]. Andererseits können auf der Oberfläche verbliebene Säurereste einen negativen Einfluss auf die Infiltration und den Verbund des Befestigungskomposits zum Stift haben [13]. Schlussfolgernd ist es nicht möglich, eine generelle Empfehlung für die Anwendung von Flusssäure für die Stiftkonditionierung zu geben [114].

Eine weitere Möglichkeit der Vorbehandlung bietet das „Sandstrahlen“ mit Siliziumoxidpartikeln, beispielsweise mit dem Cojet System (3M ESPE Seefeld, Germany). Durch Sandstrahlen und damit Aufrauen wird die Oberfläche vergrößert [86, 100, 113, 150].

Beim Cojet System erfolgen das Anrauen der Oberfläche und die Silikatisierung mit silikatmodifizierten Aluminiumoxidpartikeln [36, 113]. Beim Anstrahlen der Oberfläche und Auftreffen der Partikeln entsteht, bedingt durch die Umwandlung der Bewegungsenergie in einen lokalen Hitzespot, eine Silikatschicht, die mit der Oberfläche durch „Verschweißung“ verbunden ist [52, 113]. Dieser Prozess ist als „Tribochemische Haftung“ bekannt [68]. Anschließend erfolgt die Silanisierung der vorbehandelten Oberfläche, wobei eine chemische mit einer mikromechanischen Retention kombiniert wird [99]. Diese Technik vereint also die Vorteile der chemischen (Silanisierung) und der mechanischen (Sandstrahlen) Vorbehandlung faserverstärkter Stifte.

Valandro et al. [171] konnten nach Vorbehandlung mit dem Cojet-System höhere Verbundkräfte zwischen quarzfaserverstärkten Stiften und Befestigungskomposit im Vergleich zur Stiftkonditionierung mittels Phosphor- oder Flusssäure nachweisen. Die Stifte aller Gruppen in dieser Studie wurden silanisiert. Eine weitere Studie der gleichen Autoren zeigte keinen Einfluss des Co-Jet-Systems auf

die Verbundkräfte von karbon- und quarzfaserverstärkten Stiften [172]. Die Verbundkräfte von zwei Befestigungskompositen (Panavia F/ED Primer und ParaPost Cement) mit einem selbstkonditionierenden Adhäsivsystem zu metallischen, Glasfaser- und Keramikstiften wurden von *Sahafi* et al. [150] untersucht. Die Stiftoberflächen wurden mechanisch (Sandstrahlen mit Aluminiumoxidpartikeln/Konditionierung mit Flusssäure), chemisch (Applikation von Primer/Adhäsiv) und durch eine Kombination von zwei Methoden vorbehandelt, Sandstrahlen/Konditionierung gefolgt von der Primer-Applikation oder Anwendung des Co-Jet-System. Das Sandstrahlen und das Co-Jet-System waren die effektivsten Stiftvorbehandlungen. *Radovic* et al. [145] haben in ihrer Untersuchung die Hälfte der Glasfaserstifte mit Aluminiumoxidpartikeln sandgestrahlt. Anschließend wurden drei „chairside“-Vorbehandlungen durchgeführt: Applikation vom Silan (Monobond S), Applikation vom Adhäsiv (Unifil Core self-etching bond) und keine Vorbehandlung. Sandstrahlen konnte die Verbundkräfte von faserverstärkten Stiften erhöhen, und zwar unabhängig davon, ob Silan oder ein selbstätzendes Adhäsiv appliziert wurde. Die höchsten Verbundkräfte wurden für die Gruppe der sandgestrahlten Stifte ohne Silanisierung ermittelt. Die Applikation von Silan hatte unabhängig vom Sandstrahlen keinen signifikanten Einfluss auf die Verbundkräfte.

Trotz der ausreichenden Verbundkräfte ist diese Art der Vorbehandlung sehr aggressiv, da sie die Form und die Passung des faserverstärkten Stiftes im Kanal verändern kann [23, 150, 151]. Die Silanisierung hatte keinen Einfluss auf die Verbundkräfte der Stiftsysteme, die mit Silan oder Cojet vorbehandelt wurden. Das Sandstrahlen der Stiftoberfläche mit dem Co-Jet-System hat die Verbundkräfte des untersuchten Befestigungskomposits mit dem selbstätzenden Adhäsivsystem (PermaFlo DC/PermaFlo DC Primers A&B) und selbstadhäsiven Befestigungskomposit (RelyX Unicem) zwar erhöht, die SEM-Analyse zeigt aber zerstörte Fasern auf der Stiftoberfläche, was als Nachteil für diese Art der Stiftvorbehandlung gewertet werden kann. *Balbosh & Kern* [16] behandelten Glasfaserstifte mit vier verschiedenen Methoden: Reinigung mit Alkohol, Reinigung mit Alkohol und Vorbehand-

lung mit ED-Primer, Sandstrahlen, Sandstrahlen und Vorbehandlung mit ED-Primer. Die Stifte wurden mit dem Befestigungskomposit Panavia F zementiert. Das Sandstrahlen der Stiftoberfläche führte zu einer Erhöhung der Stiftrretention, da die Oberflächenvergrößerung in einer verbesserten mechanischen Verblockung mit Befestigungskomposit resultiert. Ohne Sandstrahlen war die Stiftoberfläche glatt, so dass keine mikromechanische Verblockung zustande kam. Im Gegensatz zu den bereits diskutierten Arbeiten veränderte das Sandstrahlen die Stiftform allerdings nicht makroskopisch. Ähnliche Ergebnisse fanden auch *Asmussen* et al. [15].

In der oben zitierten Literatur konnten die Autoren Schäden der Stiftoberfläche durch die Vorbehandlung in vitro feststellen. Es gibt jedoch bisher keine klinische Studie, die einen Nachweis über mögliche Konsequenzen erbracht hat. Weitere klinische Studien sind also zur Risikoabschätzung erforderlich. Da zusammengefasst die Vorbehandlung der Stiftoberfläche ein sehr techniksensitiver Schritt ist, könnte die Verwendung von Stiften, die bereits vom Hersteller vorsilanisiert wurden (z. B. DT Light SL, VDW, München), dies wesentlich vereinfachen [113].

## 5 Schlussfolgerungen

- Die Verwendung eines Stiftes ist nicht immer für die Restauration endodontisch behandelter Zähne notwendig. Das Ausmaß des Zahnhartsubstanzverlustes und die Lokalisation des Zahns sind wesentliche indikationsbestimmende Faktoren.
- Zylindrisch-konische Stifte bieten die beste Retention bei reduziertem Hartsubstanzverlust.
- Die allermeisten Studien zeigen, dass die adhäsive Befestigung von Glasfaserstiften gegenüber der konventionellen, nichtadhäsiven Befestigung bevorzugt werden sollte.
- Konventionelle „Etch & Rinse“-Adhäsivsysteme führen zu höheren Verbundkräften als selbstätzende Systeme und selbstadhäsive Befestigungskomposite. Aus diesem Grund sind Befestigungskomposite in Kombination mit Mehrschritt „Etch & Rinse“-Systemen für die adhäsive Befestigung von faserverstärkten Stiften zu empfehlen.

– Nicht immer führt die Vorbehandlung der Stiftoberfläche zu höheren Verbundkräften. Sandstrahlen und die Anwendung vom Co-Jet-System sind bisher die effektivsten Methoden, eine mögliche Schädigung der Stiftintegrität könnte jedoch die Folge dieser Vorbehandlung sein. 

**Interessenkonflikte:** Die Autorin/der Autor erklärt, dass kein Interessenkonflikt im Sinne der Richtlinien des International Committee of Medical Journal Editors besteht.

#### Korrespondenzadressen

Dr. Mariza Dimitrouli  
Dr. A.-K. Lührs  
Klinik für Zahnerhaltung,  
Parodontologie und  
Präventive Zahnheilkunde  
Medizinische Hochschule Hannover  
Carl Neuberg-Str. 1  
30625 Hannover

## Literatur

1. Abo El-Ela OA, Atta OA, El-Mowafy O: Fracture resistance of anterior teeth restored with a novel nonmetallic post. *J Can Dent Assoc* 74, 441 (2008)
2. Adanir N, Belli S: Evaluation of different posts lengths effect on fracture resistance of a glass fiber post system. *Eur J Dent* 2, 23–28 (2008)
3. Addison O, Fleming GJ: The influence of cement lute, thermocycling and surface preparation on the strength of a porcelain laminate veneering material. *Dent Mater* 20, 286–292 (2004)
4. Akkayan B, Gülmez T: Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems. *J Prosthet Dent* 87, 431–437 (2002)
5. Akkayan B: An in vitro study evaluating the effect of ferrule length on fracture resistance of endodontically treated teeth restored with fiber-reinforced and zirconia dowel systems. *J Prosthet Dent* 92, 155–162 (2004)
6. Aksornmuang J, Foxton RM, Nakajima M, Tagami J: Microtensile bond strength of a dual-cure resin core material to glass and quartz fibre posts. *J Dent* 32, 443–450 (2004)
7. Aksornmuang J, Nakajima M, Foxton RM, Tagami J: Regional bond strength of a dual-cure resin core material to translucent quartz fiber post. *Am J Dent* 19, 51–55 (2006)
8. Aksornmuang J, Nakajima M, Foxton RM, Panyayong W, Tagami J: Regional bond strengths and failure analysis of fiber posts bonded to root canal dentin. *Oper Dent* 33, 636–643 (2008)
9. Al-Asaf K, Chakmakchi M, Palaghias G, Karanika-Kouma A, Eliades G: Interfacial characteristics of adhesive luting resins and composites with dentine. *Dent Mater* 23, 829–839 (2007)
10. Albaladejo A, Osorio R, Papacchini F, Goracci C, Toledano M, Ferrari MJ: Post silanization improves bond strength of translucent posts to flowable composite resins. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 82, 320–324 (2007)
11. Al-Hazaimeh N, Gutteridge DL: An in vitro study into the effect of the ferrule preparation on the fracture resistance of crowned teeth incorporating pre-fabricated post and composite core restorations. *Int Endod J* 34, 40–46 (2001)
12. Al-Tayyan MH, Watts DC, Kurer HG, Qualtrough AJ: Is a „flexible“ glass fiber-bundle dowel system as retentive as a „rigid“ quartz fiber dowel system? *J Prosthodont* 17, 532–537 (2008)
13. Asmussen E: Bonding of resin cements to AllCeram. *Tandlaege Bladet* 18, 982–985 (1997)
14. Asmussen E, Peutzfeldt A, Heimann T: Stiffness, elastic limit and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent* 27, 275–278 (1999)
15. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A: Bonding of resin cements to post materials: influence of surface energy characteristics. *J Adhes Dent* 7, 231–234 (2005)
16. Balbosh A, Kern M: Effect of surface treatment on retention of glass-fiber endodontic posts. *J Prosthet Dent* 95, 218–223 (2006)
17. Baratieri LN, De Andrada MA, Arcari GM, Ritter AV: Influence of post placement in the fracture resistance of endodontically treated incisors veneered with direct composite. *J Prosthet Dent* 84, 180–184 (2000)
18. Bateman G, Ricketts DN, Saunders WP: Fibre-based post systems: a review. *Br Dent J* 195, 43–48 (2003)
19. Bell A, Lassila L, Kangasniemi I, Vallittu PK: Bonding of fibre-reinforced composite post to root canal dentin. *J Dent* 33, 533–539 (2005)
20. Bitter K, Kielbassa AM: Dentinadhäsive im Wurzelkanal. *Quintessenz* 56, 1045–1052 (2005)
21. Bitter K, Priehn K, Martus P, Kielbassa AM: In vitro evaluation of push-out bond strengths of various luting agents to tooth-colored posts. *J Prosthet Dent* 95, 302–310 (2006a)
22. Bitter K, Meyer-Lueckel H, Priehn K, Kanjuparambil JP, Neumann K, Kielbassa AM: Effects of luting agent and thermocycling on bond strengths to root canal dentine. *Int Endod J* 39, 809–818 (2006b)
23. Bitter K, Meyer-Lueckel H, Priehn K, Martus P, Kielbassa AM: Bond strengths of resin cements to fiber reinforced composite posts. *Am J Dent* 19, 138–142 (2006c)
24. Bitter K, Paris S, Pfuertner C, Neumann K, Kielbassa AM: Morphological and bond strength evaluation of different resin cements to root dentin. *Eur J Oral Sci* 117, 326–333 (2009)
25. Blunck U, Haller B: Klassifikation von Bondingsystemen. *Quintessenz* 50, 1021–1033 (1999)
26. Borer RE, Britto LR, Haddix JE: Effect of dowel length on the retention of 2 different prefabricated posts. *Quintessenz Int* 38, 164–168 (2007)
27. Boschian PL, Cavelli G, Bertani P, Gagliani M: Adhesive post-endodontic restorations with fiber posts: push-out tests and SEM-observations. *Dent Mater* 18, 596–602 (2002)
28. Braga NMA, Paulino SMP, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Vansan LP: Removal resistance of glass-fiber and metallic cast posts with different lengths. *J Oral Sci* 48, 15–20 (2006)
29. Büttel L, Krastl G, Lorch H, Naumann M, Zitzmann NU, Weiger R: Influence of post fit and post length on fracture resistance. *Int Endod J* 42, 47–53 (2009)
30. Cagidiaco MC, García-Godoy F, Vichi A, Grandini S, Goracci C, Ferrari M: Placement of fiber prefabricated or custom made posts affects the 3-year survival of endodontically treated premolars. *Am J Dent* 1, 179–184 (2008)
31. Callister WD: Materials science and engineering: an introduction. Composites. 3<sup>rd</sup> ed., Wiley, New York 1997, p. 513–541
32. Carvahlo RM, Mendca JS, Santiago SL et al.: Effects of HEMA/solvent combinations on bond strength to dentin. *J Dent Res* 82, 597–601 (2003)
33. Cesar PE, Faara PMM, Caldart RM, Jager RG, Ribeiro FC: Tensile bond strength of composite repairs on Artglass using different surface treatments. *Am J Dent* 14, 373–377 (2001)

## Literatur Übersicht Dimitrouli DZZ 03/2011

34. Chaves P, Giannini M, Ambrosano GM: Influence of smear layer pretreatments on bond strength to dentin. *J Adhes Dent* 4, 191–196 (2002)
35. Cheung W: A review of the management of endodontically treated teeth: Post, core and the final restoration. *J Am Dent Assoc* 136, 611–619 (2005)
36. Cobb DS, Vargas MA, Fridrich TA, Bouschlicher MR: Metal surface treatment: Characterization and effect on composite-to-metal bond strength. *Oper Dent* 25, 427–433 (2000)
37. Cormier CJ, Burns DR, Moon P: In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic and conventional post systems at various stages of restoration. *J Prosthet* 10, 26–36 (2001)
38. Creugers NHJ, Mentik AGB, Kayser AF: An analysis of durability data on post and core restorations. *J Dent* 21, 281–284 (1993)
39. D'Arcangelo C, D'Amario M, Proserpi GD, Cinelli M, Gianommi M, Caputi S: Effect of surface treatments on tensile bond strength and on morphology of quartz-fiber posts. *J Endod* 33, 264–267 (2007)
40. De Munck J, Vargas MA, Van Landuyt K, Hikita K, Lambrechts P, Van Meerbeek B: Bonding of auto-adhesive luting material to enamel and dentin. *Dent Mater* 20, 963–271 (2004)
41. De Durão Mauricio PJ, González-López S, Aguilar-Mendoza JA, Félix S, González-Rodríguez MP: Comparison of regional bond strength in root thirds among fiber-reinforced posts luted with different cements. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 83, 364–372 (2007)
42. Dimitrouli M, Günay H, Geurtsen W, Lührs AK: Push-out strength of fiber posts depending on the type of root canal filling and resin cement. *Clin Oral Investig*. Epub ahead of print (2010)
43. Edelhoff D, Heidemann D, Kern M, Weigl P: Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ: Aufbau endodontisch behandelter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 58, 199–201 (2003)
44. Edelhoff D, Spiekermann H, Yildirim M: Neue Konzepte und Materialien für den Aufbau endodontisch behandelter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 5, 56–62 (2005)
45. Eichner K, Kappert H: Zahnärztliche Werkstoffkunde und ihre Verarbeitung. Thieme Verlag, Stuttgart 2000
46. Ernst CP, Willershausen B: Eine aktuelle Standortbestimmung zahnärztlicher Füllungskomposite. *Zahnärztl Mitt* 7, 30–40 (2003)
47. Fernandes AS, Shetty S, Coutinho I: Factors determining post selection: A literature review. *J Prosthet Dent* 90, 556–562 (2003)
48. Ferrari M, Vichi A, Garcia-Godoy F: Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores. *Am J Dent* 13, 15B–18B (2000)
49. Ferrari M, Vichi A, Mannocci F, Mason PN: Retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent* 13, 9B–13B (2000b)
50. Ferrari M, Scotti R: Fiber post-characteristics and clinical applications. *Mason, Milano* 15–51 (2004)
51. Ferrari M, Goracci C, Sadek FT, Monticelli F, Tay FR: An investigation of the interfacial strengths of methacrylate resin-based glass fiber post-core build-ups. *J Adhes Dent* 8, 239–245 (2006)
52. Frankenberger R, Krämer N, Sinde J: Repair strength of etched vs silica-coated metal-ceramic and all-ceramic restorations. *Oper Dent* 25, 209–215 (2000)
53. Fredriksson M, Astback J, Pamenius M, Arvidson K: A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts. *J Prosthet Dent* 80, 151–157 (1998)
54. Freedman GA: Esthetic posts-and-core treatment. *Dent Clin North Am* 45, 103–116 (2001)
55. Fukegawa D, Hayakawa S, Yoshida Y, Suzuki K, Osaka A, Van Meerbeek B: Chemical interaction of phosphoric acid ester with Hydroxyapatite. *J Dent Res* 85, 941–944 (2006)
56. Galhano GA, Valandro LF, de Melo RM, Scotti R, Bottino MA: Evaluation of the flexural strength of carbon fiber-, quartz fiber-, and glass fiber-based posts. *J Endod* 31, 209–211 (2005)
57. Gerth HU, Dammashcke T, Zuchner H, Schafer E: Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and B-Fix composites – a comparative study. *Dent Mater* 22, 934–941 (2006)
58. Giovani AR, Vansan LJ, Neto MDS, Paulino SM: In vitro fracture resistance of glass-fiber and cast metal posts with different lengths. *J Prosthet Dent* 101, 183–188 (2009)
59. Goerig AC, Mueninghoff LA: Management of the endodontically treated teeth. Part I: concept for restorative designs. *J Prosthet Dent* 49, 340–345 (1983)
60. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A et al.: The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurement. *Eur J Oral Sci* 112, 353–361 (2004)
61. Goracci C, Raffaelli O, Monticelli F, Balteri B, Bertelli E, Ferrari M: The adhesion between prefabricated FRC posts and composite resin cores: microtensile bond strength with and without post-silanization. *Dent Mater* 21, 437–444 (2005)
62. Goracci C, Sadek FT, Fabianelli A, Tay FR, Ferrari M: Evaluation of the adhesion of fiber posts to intraradicular dentin. *Oper Dent* 30, 627–3 (2005b)
63. Goracci C, Fabianelli A, Sadek FT, Papachini F, Tay FR, Ferrari M: The contribution of friction to the dislocation resistance of bonded fiber posts. *J Endod* 31, 608–612 (2005c)
64. Goracci C, Grandini S, Bossù M, Bertelli E, Ferrari M: Laboratory assessment of the retentive potential of adhesive posts: a review. *J Dent* 35, 827–835 (2007)
65. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M: Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater* 21, 75–82 (2005)
66. Grandini S, Chieffi N, Cagidiaco MC, Goracci C, Ferrari M: Fatigue resistance and structural integrity of different types of fiber posts. *Dent Mater J* 27, 687–694 (2008)
67. Gu XH, Kern M: Fracture resistance of crowned incisors with different post systems and luting agents. *J Oral Rehabil* 33, 918–923 (2006)
68. Gunggenberger R: Rocatec system-adhesion by tribochemical coating. *Dtsch Zahnärztl Z* 44, 874–876 (1989)
69. Hagge MS, Wong RDM, Lindhemut JS: Retention strength of five luting agents on prefabricated dowels after root canal obturation with a zinc oxide/eugenol sealer. *J Prosthodont* 11, 168–75 (2002)
70. Haller B, Blunck U: Übersicht und Wertung der aktuellen Bondingsysteme. *Zahnärztl Mitt* 7, 48–58 (2003)
71. Hedlund SO, Johansson NG, Sjorgen G: Retention of prefabricated and individually cast root canal posts in vitro. *Br Dent J* 195, 155–158 (2003)
72. Heidemann D, Weigl P: Stifte im Wurzelkanal – Warum? *Endodontie Journal* 2, 24–34 (2004)
73. Hellwig E, Klimek J, Attin T: Kompositrestaurationen. In: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Fischer Verlag, München 2007, 155–199
74. Heydecke G, Butz F, Strub JR: Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: an in-vitro study. *J Dent* 29, 427–433 (2001)
75. Hikita K, Van Meerbeek B, De Munck J et al.: Bonding effectiveness of adhesive luting agents to enamel and dentin. *Dent Mater* 23, 71–80 (2007)
76. Hsu ML, Chen CS, Chen BJ, Huang HH, Chang CL: Effects of post materials and length on the stress distribution of endodontically treated maxillary central incisors: a 3D finite element analysis. *J Oral Rehabil* 36, 821–830 (2009)
77. Ibara G, Johnsson GH, Geurtsen W, Vargas MA: Microleakage of porcelain

- vener restorations bonded to enamel and dentin with a new self-adhesive resin-based dental cement. *Dent Mater* 23, 218–225 (2007)
78. Iglesia-Puig MA, Arellano-Cabornero A: Fiber-reinforced post and core adapted to a previous metal ceramic crown. *J Prosthet Dent* 91, 191–194 (2004)
  79. Inoue S, Van Meerbeek B, Vargas M, Lamprechts P, Vanherle G: Adhesion mechanism of self-etching adhesives. *Advanced Adhesive Dentistry Proceedings book*. 3<sup>rd</sup> International Kuraray Symposium Granada. Kuraray Europe GmbH, Medical Division 1999, 131–148
  80. Ishida H: Structural gradient in the silane coupling agent layers and its influence on the mechanical and physical properties of composites. In: Ishida H, Kumar G, editors. *Molecular characterization of composite interfaces*. Plenum Press, New York 1985, 25–50
  81. Janda R: *Kunststoffverbundsysteme. Grundlagen, Anwendung, Verarbeitung, Prüfung*. VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1990
  82. Janssen U, Hülsmann M: Das Bruchlastverhalten endodontisch verankerter Aufbauten mit den Wurzelstiftsystemen Luscent-Anchor und Perma-tex im In-vitro-Test. *Dtsch Zahnärztl Z* 58, 331–336 (2003)
  83. Kaelin D, Schärer P: Aufbausysteme in der Kronen- und Brückenprothetik. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 101, 457–463 (1991)
  84. Kane JJ, Burgess JO: Modification of the resistance form of amalgam coronal-radicular restorations. *J Prosthetic Dent* 65, 470–474 (1991)
  85. Kececi AD, Ureyen Kaya B, Adanir N: Micro-push-out bond strengths of four fiber-reinforced composite post systems and 2 luting materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 105, 121–128 (2008)
  86. Kern M, Thompson VP: Effects of sandblasting and silica-coating procedures on pure titanium. *J Dent* 22, 300–306 (1994)
  87. Kivanc BH, Görgül G: Fracture resistance of teeth restored with different post systems using New-generation Adhesives. *J Contemp Dent Pract* 9, 33–40 (2008)
  88. Koutayas SO, Kern M: All-ceramic posts and cores: the state of the art. *Quintessence Int* 30, 383–392 (1999)
  89. Kramer N, Lohbauer U, Frankenberger R: Adhesive luting of indirect restorations. *Am J Dent* 13, 60–76D (2000)
  90. Kreimer K, Fasen L, Klaiber B, Hofmann N: Influence of endodontic post type (glass fiber, quartz fiber or gold) and luting material on push-out bond strength to dentin in vitro. *Dent Mater* 24, 660–666 (2008)
  91. Kurtz JS, Perdigao J, Geraldini S, Hodges JS, Bowles WR: Bond strengths of tooth-colored posts, effect of sealer, dentin adhesive and root region. *Am J Dent* 16, 31A–36A (2003)
  92. Lang H, Korkmaz Y, Schneider K, Raab WH: Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. *J Dent Res* 85, 364–368 (2006)
  93. Lassila LV, Tanner J, Le Bell AM, Narva K, Vallittu PK: Flexural properties of fiber reinforced root canal posts. *Dent Mater* 20, 29–36 (2004)
  94. Lühns AK, Guhr S, Günay H, Geurtsen W: Shear bond strength of self-adhesive resins compared to resin cements with etch and rinse adhesives to enamel and dentin in vitro. *Cin Oral Invest* 14, 193–199 (2010)
  95. Maccari PC, Conceição EN, Nunes MF: Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with three different prefabricated esthetic posts. *J Esthet Restor Dent* 15, 25–30 (2003)
  96. Mannocci F, Ferrari M, Watson TF: Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts. *J Adhes Dent* 1, 153–158 (1999)
  97. Mannocci F, Ferrari M, Watson TF: Mikroleakage of endodontically treated teeth restored with fibre posts and composite cores after cyclic loading: a confocal microscopic study. *J Prosthet Dent* 85, 284–291 (2001)
  98. Mannocci F, Sherriff M, Watson TF, Vallittu PK: Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. *Int Endod J* 38, 46–52 (2005)
  99. Martelli R: Ästhetische Restauration von Frontzähnen mit Wurzelstiften der vierten Generation. *Zahn Prax* 5, 336–341 (2002)
  100. Masami M, Fukui H, Hasegawa J: Relationship between sandblasting and composite resin-alloy bond strength by a silica coating. *J Prosthet Dent* 74, 151–155 (1995)
  101. Mazzitelli C, Monticelli F, Osorio R, Casucci A, Toledano M, Ferrari M: Effect of simulated pulpal pressure on self-adhesive cements bonding to dentin. *Dent Mater* 24, 1156–1163 (2008)
  102. McLaren JD, McLaren CI, Yaman P, Bin-Shuwaish MS, Dennison JD, McDonald NJ: The effect of post type and length on the fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 101, 174–182 (2009)
  103. Meerbeek Van B, Perdigao J, Lambrechts P, Vanherle G: The clinical performance of adhesives. *J Dent* 26, 120 (1998)
  104. Meerbeek Van B, De Munck J, Yoshida Y et al.: Buoncore memorial lecture. Adhesion to enamel and dentin: current status and future challenges. *Oper Dent* 28, 215–235 (2003)
  105. Metzger AK: Die Verbundfestigkeit von glas- und quarz-faserverstärkten Wurzelkanalstiften und verschiedenen Kompositaufbausystemen. *Dissertation* (2006) Freiburg
  106. Mezzomo E, Massa F, Libera SD: Fracture resistance of teeth restored with two different post-and core designs cemented with two different cements: An in vitro study. Part I. *Quintessence Int* 34, 301–306 (2003)
  107. Miller BH, Nakajima H, Powers JM, Nunn ME: Bond strength between cements and metals used for endodontic posts. *Dent Mater* 14, 312–320 (1998)
  108. Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F: The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J* 34, 346–353 (2001)
  109. Monticelli F, Toledano M, Osorio R, Ferrari M: Effect of temperature on the silane coupling agents when bonding core resin to quartz fiber posts. *Dent Mater* 22, 1024–1028 (2006)
  110. Monticelli F, Toledano M, Tay FC, Sadek FT, Goracci C, Ferrari M: A simple etching technique for improving the retention of fiber posts to resin composites. *J Endod* 32, 44–47 (2006a)
  111. Monticelli F, Toledano M, Tay FR, Cury AH, Goracci C, Ferrari M: Post surface conditioning improves interfacial adhesion in post/core restorations. *Dent Mater* 22, 602–609 (2006b)
  112. Monticelli F, Osorio R, Tolero M, Goracci C, Tay FR, Ferrari M: Improving the quality of quartz fiber postcore bond using sodium ethoxide etching and combined silane/adhesive coupling. *J Endod* 32, 447–451 (2006c)
  113. Monticelli F, Ferrari M, Toledano M: Cement system and surface treatment selection for fiber post luting. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 13, 214–221 (2008)
  114. Monticelli F, Osorio R, Sadek FT, Radovic I, Toledano M, Ferrari M: Surface treatment for improving bond strength to prefabricated fiber posts: a literature review. *Oper Dent* 33, 346–355 (2008a)
  115. Monticelli F, Osorio R, Mazzitelli C, Ferrari M, Toledano M: Limited decalcification/diffusion of self-adhesive cements into dentin. *J Dent Res* 87, 974–979 (2008c)
  116. Mörmann W, Wolf D, Ender A, Bindl A, Göhring T, Attin T: Effect of two self-adhesive cements on marginal adaptation and strength of esthetic ceramic CAD/Cam Molar Crowns. *J Prosthodont* 18, 403–410 (2009)
  117. Nakamura T, Ohyama T, Waki T et al.: Stress analysis of endodontically treated anterior teeth restored with different types of post material. *Dent Mater J* 25, 145–150 (2006)
  118. Naumann M: Kleben im Wurzelkanal – Neue therapeutische Chancen. *Zahn Prax* 5, 184–188 (2002)
  119. Naumann M, Blankenstein F: Adhäsive Restauration endodontisch behandelter Zähne mit Hilfe glasfaserverstärkter Kompositstifte. *Quintessenz* 53, 539–547 (2002)

120. Naumann M, Blankenstein F: Optimierte postendodontische Rekonstruktion mit längenreduzierten Wurzelstiften und selbstadhäsivem Befestigungszement. *Quintessenz* 55, 1303–1308 (2004)
121. Naumann M, Blankenstein F, Dietrich T: Survival of glass fibre reinforced composite post restorations after 2 years – an observational clinical study. *J Dent* 3, 305–312 (2005)
122. Naumann M, Preuss A, Frankenberger R: Reinforcement effect of adhesively luted fiber reinforced composite versus titanium posts. *Dent Mater* 23, 138–144 (2007)
123. Naumann M, Sterzenbach G, Alexandra F, Dietrich T: Randomized controlled clinical pilot trial of titanium vs. glass fiber prefabricated posts: preliminary results after up to 3 years. *Int J Prosthodont* 20, 499–503 (2007b)
124. Naumann M, Sterzenbach G, Rosenritt M, Beuer F, Frankenberger R: Is adhesive cementation of endodontic posts necessary? *J Endod* 34, 1006–1010 (2008)
125. Nergiz I, Schmage P, Ozcan M, Platzer U: Effect of length and diameter of tapered posts on the retention. *J Oral Rehabil* 29, 28–34 (2002)
126. Newman MP, Yaman P, Denisson J, Rafter M, Billy E: Fracture resistance of endodontically treated teeth restored with composite posts. *J Prosthet Dent* 89, 360–367 (2003)
127. NG CH, Dumbrigue HB, Al-Bayat MI, Griggs JA, Wakefield CW: Influence of remaining coronal tooth structure location on the fracture resistance of restored endodontically treated anterior teeth. *J Prosthet Dent* 95, 290–296 (2006)
128. Nissan J, Dmitry Y, Assif D: The use of reinforced composite resin cement as a compensation for reduced post length. *J Prosthet Dent* 86, 304–308 (2001)
129. Nothdurft FP, Gernet W, Pospiech PR: In-vitro-Untersuchungen zu vollkeramischen Stiftaufbauten aus Zirkonoxid. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 1303–1308 (2003)
130. O'Keefe KL, Powers JM, McGuckin RS, Pierpont HP: In vitro bond strength of silica-coated metal posts in roots of teeth. *Int J Prosthodont* 5, 373–376 (1992)
131. O'Keefe KL, Miller BH, Powers JM: In vitro tensile bond strength of adhesive cements to new post materials. *Int J Prosthodont* 13, 47–51 (2000)
132. Ozcan M, Vallitu PK: Effect of surface conditioning methods on the bond strength of luting cement to ceramics. *Dent Mater* 19, 725–731 (2003)
133. Ottl P, Hahn L, Lauer HC, Fay M: Fracture characteristics of carbon fibre, ceramic and non-palladium endodontic post systems at monotonously increasing loads. *J Oral Rehabil* 29, 175–183 (2002)
134. Papacchini F, Goracci C, Sadek FT, Monticelli F, Garcia-Godoy F, Ferrari M: Microtensile bond strength to ground enamel by glass-ionomers, resin-modified glass-ionomers and resin composites used as pit and fissure sealants. *J Dent* 33, 459–467 (2005)
135. Pape PG, Plueddemann EP: Methods for improving the performance of silane coupling agents. *J Adhes Sci Technol* 5, 831–842 (1991)
136. Patyk AJ, Friedrich M, Attin T: Untersuchungen des Lichttransfers von Glasfaserstiften und der daraus resultierenden Polymerisation des Befestigungskomposit. *Dtsch Zahnärztl Z* 60, 253–257 (2005)
137. Paul SJ, Schärer P: Plastische Aufbauten in der Kronen- und Brückenprothetik. *Quintessenz* 47, 1519–1531 (1996)
138. Pegoretti A, Fambri L, Zappini G, Bianchetti M: Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post. *Biomaterials* 23, 2667–2682 (2002)
139. Perdigão J, Geraldeli S, Lee IK: Push-out bond strengths of tooth-colored posts bonded with different adhesive systems. *Am J Dent* 17, 422–426 (2004)
140. Perdigão J, Gomes G, Lee IK: The effect of silane on the bond strength of fiber posts. *Dent Mater* 22, 752–758 (2006)
141. Peumans M, Kanumilli P, De Munck J, Van Landuyt K, Lambrechts P, Van Meerbeek B: Clinical effectiveness of contemporary adhesives: a systematic review of current clinical trials. *Dent Mater* 21, 864–881 (2005)
142. Plotino G, Grande NM, Bedini R, Pameijer CH, Somma F: Flexural properties of endodontic posts and human root dentin. *Dent Mater* 23, 1129–1135 (2007)
143. Qualtrough AJ, Mannocci F: Tooth-colored post systems: a review. *Oper Dent* 28, 86–91 (2003)
144. Qualtrough AJ, Chandler NP, Purton DG: A comparison of the retention of tooth colored posts. *Quintessence Int* 34, 199–201 (2003)
145. Radovic I, Monticelli F, Goracci C et al.: The effect of sandblasting on adhesion of dual-cured resin composite to methacrylic fiber posts: Microtensile bond strength and SEM evaluation. *J Dent* 35, 496–502 (2007)
146. Radovic I, Mazzitelli C, Chieffi N, Ferrari M: Evaluation of the adhesion of fiber posts cemented using different adhesive approaches. *Eur J Oral Sci* 116, 557–563 (2008)
147. Raygot CG, Chai J, Jameson DL: Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber-reinforced resin post system in vitro. *Int J Prosthodont* 14, 141–145 (2001)
148. Reid LC, Kazemi RB, Meiers JC: Effect of fatigue testing on core integrity and post microleakage of teeth restored with different post systems. *J Endod* 29, 125–131 (2003)
149. Rogiæ-Barbiæ M, Šegoviæ S, Pezelj-Ribarïæ S, Borëïæ J, Jukiæ S, Anïæ I: Mikroleakage along Glassix glass fibre posts cemented with three different materials assessed using a fluid transport system. *Int Endod J* 39, 363–367 (2006)
150. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K: Bond strength of resin cement to dentin and to surface-treated post of titanium alloy, glass fiber and zirconia. *J Adhes Dent* 5, 153–162 (2003)
151. Sahafi A, Peutzfeldt A, Asmussen E, Gotfredsen K: Effect of surface treatment of prefabricated posts on bonding of resin cement. *Oper Dent* 29, 60–68 (2004)
152. Sahafi A, Putzfeld A, Asmussen E, Gotfredsen K: Retention and failure morphology of prefabricated posts. *Int J Prosthodont* 17, 307–312 (2004a)
153. Santos-Filho PC, Castro CG, Silva GR, Campos RE, Soares CJ: Effects of post system and length on the strain and fracture resistance of root filled bovine teeth. *Int Endod J* 41, 493–501 (2008)
154. Schmage P, Ozcan M, McMullan-Vogel C, Nergiz I: The fit of tapered posts in root canals luted with zinc phosphate cement: a histological study. *Dent Mater* 21, 787–793 (2005)
155. Schmage P, Nergiz I, Platzer U, Pfeiffer P: Yield strength of fiber-reinforced composite posts with coronal retention. *J Prosthet Dent* 101, 383–387 (2009)
156. Schwartz RS, Robbins JW: Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review. *J Endod* 30, 289–301 (2004)
157. Seefeld F, Wenz HJ, Ludwig K, Kern M: Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater* 23, 265–271 (2007)
158. Sidoli GE, King Pa, Setchell DJ: An in vitro evaluation of a carbon fiber-based post and core system. *J Prosthet Dent* 78, 5–9 (1997)
159. Sirimai S, Riis DN, Morgano SM: An in vitro study of the fracture resistance and the incidence of vertical root fracture of pulpless teeth restored with six post-and-coresystems. *J Prosthet Dent* 81, 262–269 (1999)
160. Sokol DJ: Effective use of current core and post concepts. *J Prosthet Dent* 52, 231–234 (1984)
161. Sorensen JA, Martinoff JT: Intracoronal reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51, 780–784 (1984)
162. Sorensen JA, Martinoff JT: Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 52, 28–35 (1984a)
163. Stankiewicz NR, Wilson PR: The ferrule effect: a literature review. *Int Endod J* 35, 575–581 (2002)

164. Steigerwald Richard: In-vitro-Evaluation der Dentinhaftung und Randschlussqualität eines Komposits, eines säuremodifizierten Komposits und eines kunststoffmodifizierten Glasionomerzementes. Dissertation (2003) Würzburg
165. Strub J, Türp J, Witkowski S, Hürzeler M, Kern M: Präprothetische Vorbehandlung, Phase I. In: Curriculum Prothetik. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin (1999)
166. Taira Y, Yanagida H, Matsumura H, Yoshida K, Atsuta M, Suzuki S: Adhesive bonding of titanium with a thionephosphate dual functional primer and self-curing luting agents. *Eur J Oral Sci* 108, 456–460 (2000)
167. Teixeira E, Teixeira FB, Piasick JR, Thompson JY: An in vitro assessment of prefabricated fiber post systems. *J Am Dent Assoc* 136, 1006–1012 (2006)
168. Toman M, Toksavul S, Sarikanat M, Firdinodlu K, Akin A: The evaluation of displacement resistance of glass FRC posts to root dentine using a thin slice push-out test. *Int Endod J* 42, 802–810 (2009)
169. Tschernitschek H, Schwarze Th: Werkstoffkundliche Eigenschaften von Wurzelkanalstiften – Eine Übersicht. *Endodontie* 14, 113–126 (2005)
170. Valandro LF, Filho OD, Valera MC, de Araujo MA: The effect of adhesive systems on the pullout strength of a fiber-glass-reinforced composite post system in bovine teeth. *J Adhes Dent* 7, 331–336 (2005)
171. Valandro LF, Yoshiga S, Marques de Melo R et al.: Microtensile bond strength between a quartz fiber post and a resin cement: effect of post surface conditioning. *J Adhes Dent* 8, 105–111 (2006)
172. Valandro LF, Ozcan M, de Melo RM et al.: Effect of silica coating on flexural strength of fiber posts. *Int J Prosthodont* 19, 74–76 (2006a)
173. Vano M, Goracci C, Monticelli F et al.: The adhesion between fibre posts and composite resin cores: the evaluation of microtensile bond strength following various surface chemical treatments to posts. *Int Endod J* 39, 31–39 (2006b)
174. Vano M, Carvahlo C, Sedda M, Gabrielle M, Carcia-Godoy F, Ferrari M: The influence of storage condition and duration on the resistance to fracture of different fiber post systems. *Am J Dent* 22, 366–370 (2009)
175. Vichi A, Ferrari M, Davidson CL: Influence of ceramic and cement thickness on the masking of various types of opaque posts. *J Prosthet Dent* 83, 412–417 (2000)
176. Vichi A, Grandini S, Ferrari M: Clinical procedure for luting glass-fiber posts. *J Adhes Dent* 3, 353–359 (2001)
177. Vichi A, Grandini S, Davidson CL, Ferrari M: An SEM evaluation of several adhesive systems used for bonding fiber posts under clinical conditions. *Dent Mater* 18, 495–502 (2002)
178. Wang Y, Spencer P: Hybridization efficiency of the adhesive/dentin interface with wet bonding. *J Dent Res* 82, 141–145 (2005)
179. Wang VJ, Chen YM, Yip KH, Smales RJ, Meng QF, Chen L: Effect of two fiber post types and two luting cement systems on regional post retention using the push-out test. *Dent Mater* 24, 372–377 (2008)
180. Watzke R, Blunck U, Frankenberger R, Naumann M: Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Dent Mater* 24, 1512–1517 (2008)
181. Wrbas KT, Lenz AK, Schirrmeister JF, Altenburger MJ, Schemionek W, Hellwig E: Verbundfestigkeiten verschiedener Aufbaukomposite zu faserverstärkten Wurzelkanalstiften. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 116, 136–141 (2006a)
182. Wrbas KT, Kampe MT, Schirrmeister JF, Altenburger MJ, Hellwig E: Retention glasverstärkter Wurzelkanalstifte in Abhängigkeit vom Befestigungskomposit. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 16, 18–24 (2006b)
183. Wrbas KT, Schirrmeister JF, Altenburger MJ, Agrafioti A, Hellwig E: Bond strength between fibre posts and composite resin cores: effect of post surface silanization. *Int Endod J* 40, 538–543 (2007)
184. Wu X, Chan AT, Chen YM, Yip KH, Smales RJ: Effectiveness and dentin bond strengths of two materials for reinforcing thin-walled roots. *Dent Mater* 23, 479–485 (2007)
185. Yang B, Ludwig K, Raimer A, Kern M: Micro-tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. *Dent Mater* 22, 45–56 (2006)
186. Yangida H, Matsumura H, Atsuta M: Bonding of prosthetic composite material to Ti-6Al-7Nb alloy with eight metal conditioners and a surface modification technique. *Am J Dent* 14, 291–294 (2001)
187. Yenishey M, Kulunk S: Effects of chemical surface treatments of quartz and glass fiber posts on the retention of a composite resin. *J Prosthet Dent* 99, 38–45 (2008)
188. Yoshida Y, Nagakane K, Fukuda R et al.: Comparative study on adhesive performance of functional monomers. *J Dent Res* 83, 454–458 (2004)
189. Zicari F, Couthino E, De Munck J et al.: Bonding effectiveness and sealing ability of fiber-post bonding. *Dent Mater* 24, 967–977 (2008)
190. Zhi-Yue L, Yu-Xing Z: Effects of post-core design and ferrule on fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors. *J Prosthet Dent* 89, 368–373 (2003)