

Aus der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde,
Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar
Direktor: Prof. Dr. M. Hannig

**Postendodontische Versorgung stark zerstörter Zähne mit
metallfreien direkten Stiftsystemen unter Berücksichtigung
zweier Befestigungsmethoden und Präparationsformen - eine In-
vitro-Studie**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde
der Medizinischen Fakultät
der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2009

vorgelegt von: Andrea Isabelle Laufersweiler
geb. am: 01.03.1979

1. Tag der Promotion:
2. Dekan: Prof. Dr. M. D. Menger
3. 1. Berichterstatter: Prof. Dr. M. Hannig
2. Berichterstatter:

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	4
1. Zusammenfassung.....	6
Summary	8
2. Einleitung	10
2.1 Allgemeines zu Stiftsystemen	10
2.2 Stiftsysteme	11
2.2.1 Halbkonfektionierte Aufbauten.....	11
2.2.2 Individuell hergestellte Aufbauten	12
2.3 Stiftmaterialien	12
2.3.1 Metallische Stifte.....	14
2.3.2 Keramische Stifte	15
2.3.3 Faserverstärkte Kompositstifte.....	16
2.4 Stiftbefestigung	16
2.4.1 Konventionelle Zementierung.....	16
2.4.2 Adhäsive Befestigung	17
2.5 Koronale Restauration.....	18
2.6 Fragestellung	20
3. Material und Methodik.....	21
3.1 Vorversuche zur Kalibrierung des Kausimulators	21
3.2 Gewinnung, Lagerung und Aufbereitung der Zähne	21
3.3 Endodontische Behandlung und Befestigung der Stiftsysteme.....	22
3.4 Adhäsiver Aufbau und Kronenstumpfpräparation	24
3.5 Herstellung und Befestigung der Kronen.....	25
3.6 Thermocycling und Kausimulation.....	27
3.7 Auswertung	29
4. Ergebnisse	32
4.1 Dimensionen der Wurzeln und Zuteilung der ISO-Größen	32
4.2 Allgemeine kumulierte Ergebnisse der Kausimulation.....	32
4.3 Ergebnisse des Farbpenetrationstests	40
4.4 Ergebnisse in Abhängigkeit der verschiedenen Parameter	41
4.4.1 Einfluss der Wurzeldimensionen und des Stiftdurchmessers auf die Überlebensdauer.....	41

4.4.2 Einfluss des Stiftsystems auf die Versagenshäufigkeit	42
4.4.3 Einfluss der Befestigungsart auf die Versagenshäufigkeit.....	49
4.4.4 Einfluss der Präparation auf die Versagenshäufigkeit	49
4.4.5 Vergleich der verschiedenen Gruppen untereinander	49
5 Diskussion	55
5.1 Grundlagen	55
5.1.1 Indikation von Stiftsystemen.....	55
5.1.2 Metallische Stiftsysteme versus non-metallische Stiftsysteme.....	56
5.1.3 Konventionelle Stiftbefestigung versus adhäsive Stiftbefestigung.....	57
5.1.4 Direkte Stiftsysteme versus indirekte Stiftsysteme.....	59
5.2 Diskussion von Material und Methodik	61
5.2.1 Zähne.....	61
5.2.2 Inspektion und Lagerung der Proben	61
5.2.3 Dekapitierung der Zähne	62
5.2.4 Vermessung der Wurzeln	62
5.2.5 Wurzelkanalbehandlung.....	63
5.2.6 Stiftinsertion	64
5.2.7 Stumpfaufbau und Präparation.....	66
5.2.8 Kronen.....	67
5.2.9 Thermocycling	68
5.2.10 Kausimulation	68
5.3 Diskussion der Ergebnisse	69
5.3.1 Allgemeine kumulierte Ergebnisse der Kausimulation.....	69
5.3.2 Ergebnisse des Farbpenetrationstests	70
5.4 Ergebnisse in Abhängigkeit der verschiedenen Parameter	71
5.4.1 Einfluss von Stiftsystem und Befestigungsmodus	71
5.4.2 Genereller Einfluss der Präparation (Ferrule-Design versus non-Ferrule-Design). 77	
5.4.4 Einfluss der Kronenbefestigung	78
5.5 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse - Schlussfolgerungen	79
6. Literaturverzeichnis.....	81
7. Danksagung.....	96
8. Lebenslauf	98

1. Zusammenfassung

Seit dem Aufkommen moderner metallfreier Materialien in der zahnärztlichen Therapie stehen dem Behandler unterschiedliche Konzepte zum Aufbau tief zerstörter avitaler Zähne zur Verfügung. Adhäsive Befestigungs- und Aufbaumethoden sollen den endodontisch behandelten Zahn bestmöglich stabilisieren und die Langzeitprognose gegenüber konventionellen Methoden verbessern.

Ziel der vorliegenden Studie war es, verschiedene Parameter bei der Versorgung endodontisch behandelter Zähne und ihren Einfluss auf den Langzeiterfolg zu untersuchen. Dazu wurden 120 extrahierte humane Zähne dekapitiert, endodontisch behandelt und mit drei unterschiedlichen zahnfarbenen Stiftsystemen (CeraPost, DentinPost, DT-Light Post) versorgt. Je die Hälfte der Stifte wurde mithilfe eines dualhärtenden Kompositzementes (Panavia F 2.0) adhäsiv befestigt, die andere Hälfte wurde konventionell mittels eines Glasionomerezementes (Ketac Cem) zementiert. Der Stumpfaufbau aus plastischem Kompositmaterial wurde bei der anschließenden Präparation bei jedem zweiten Zahn im Sinne eines Ferrule-Designs fassreifenartig eingefasst. Nach der Restauration der Zähne mit vollkeramischen Kronen (In-Ceram) analog eines oberen mittleren Schneidezahnes wurden die Proben einer thermischen Alterung von 4000 Zyklen bei 2 °C und 60 °C sowie einer mechanischen Belastung im Kausimulator von maximal 1.500.000 Zyklen bei 90 N unterzogen. Ausfälle der Proben während der Belastungszyklen wurden quantitativ und qualitativ dokumentiert. Nach Beendigung der thermo-mechanischen Wechsellast erfolgten eine visuelle Kontrolle der Proben auf Frakturen oder andere Versagensmodi und eine Färbung der unversehrten Zähne mit Methylenblau. Die kolorierten Proben wurden segmentiert und abermals auf Frakturen und Undichtigkeiten im endodontischen System untersucht.

Insgesamt 86 von 120 Proben (entsprechend 71,7 %) gingen aus den Belastungsversuchen unbeschadet hervor. Die insgesamt höchsten Misserfolgsraten (100 %) wurden bei konventionell zementierten CeraPost-Stiften ohne Fassreifenpräparation beobachtet. Die geringsten Misserfolgsraten (0 %) konnten bei konventionell befestigten DentinPost-Stiften mit Ferrule-Design nachgewiesen werden. Für CeraPost-Stifte und DT-Light Post-Stifte konnte in der Kombination von adhäsiver Befestigung mit Fassreifenpräparation die geringste Misserfolgsrate protokolliert werden. Unabhängig von Stiftart und Befestigungsmodus erhöhte das Anlegen einer Ferrule-Präparation signifikant die Überlebensrate aller Proben ($p < 0,05$).

Bei der postendodontischen Versorgung koronal stark zerstörter Zähne sollte ausgehend von den gewonnenen Daten stets eine Ferrule-Präparation erfolgen. Die adhäsive Befestigung konnte bei Zirkonoxidstiften und glasfaserverstärkten Kompositstiften vom Typ DT-Light Post eine signifikante Reduktion der Misserfolge bewirken. Glasfaserverstärkte Stifte des Typs DentinPost zeigten interessanterweise keine Verbesserung der Überlebensrate durch adhäsive Zementierung.

Es kann konstatiert werden, dass endodontisch behandelte Zähne mit metallfreien Stiftsystemen suffizient restauriert werden können. Jedoch müssen bei der Auswahl von geeigneten Materialien und Verarbeitungskonzepten eine Vielzahl von Kriterien beachtet werden, um den klinischen Erfolg zu erreichen.

Summary

Postendodontic restoration of deeply destroyed teeth with tooth-coloured post systems using two different luting methods and preparation designs- an in-vitro study.

Since the appearance of modern metal-free materials in dental therapy, multiple facilities for the restoration of deeply destroyed endodontically treated teeth are at practitioners disposal. Adhesive luting and core build-up methods shall stabilize the pulp-less tooth and ensure its success and longevity.

The purpose of this present study was to investigate different parameters in the treatment of endodontically treated teeth and their influence on long-term outcome.

Therefore, 120 extracted human teeth were decoronated, endodontically treated and restored with three different tooth-coloured post systems (CeraPost, DentinPost, DT-Light Post) using adhesive luting (Panavia F2.0) or conventional (Ketac Cem) cementation methods. In half of each group, the resin core buildup was prepared according to a ferrule design. After restoration of the samples with all-ceramic crowns (In-Ceram) modelled as maxillary central incisor, the teeth were exposed to a thermo-mechanical aging simulation. They passed through a thermal cycling of 4000 cycles at 2 °C and 60 °C, as well as a mechanical loading for a maximum performance of 1.500.000 cycles at 90 N. Sample failures were documented quantitatively and qualitatively. After termination of the loading cycles, intact probes were stained with methylene blue and segmented to detect fractures or leakages in the endodontic system.

A total of 86 from 120 probes (according to 71,7 %) arised from mechanical load without damages. The highest failure rates (100 %) were noticed for conventionally cemented CeraPost buildups without ferrule design. The lowest failure rate was observed after DentinPost's cementation with a glassionomer-cement combined with a ferrule preparation. Use of an adhesive luting resin combined with a ferrule design preparation enhanced the survival rate of CeraPost and Dt-Light Post core buildups. Irrespective of the post type or the mode of cementation, a ferrule preparation increased significantly the survival rate of all probes ($p < 0,05$).

Based on the results obtained in the present study, a ferrule preparation should be performed in postendodontical maintenance of coronal deeply destroyed teeth. Adhesive luting methods were able to reduce significantly failure rates using CeraPost or DT-Light Post systems.

Surprisingly, DentinPost did not perform better in combination with adhesive luting compared to conventional cementation.

In summary, endodontically treated teeth can be restored sufficiently with metal-free and tooth-coloured post systems. However, a multiplicity of criteria should be considered by the choice of adequate materials and processing concepts to achieve clinical success.

2. Einleitung

2.1 Allgemeines zu Stiftsystemen

Die Wiederherstellung von Funktion, Ästhetik und Phonetik ist neben der Prophylaxe die tägliche Hauptaufgabe eines jeden Zahnarztes. Eine besondere Herausforderung stellt hierbei die Restauration eines endodontisch behandelten Zahnes dar, weil zusätzlich meistens ein ausgeprägter Substanzverlust vorliegt. Lange Zeit galt die Versorgung einer solchen Situation mittels intraradikulären Stiftes als „conditio sine qua non“.

Pierre Fauchard (1678-1761) gilt als Pionier in der wissenschaftlichen Beschreibung zahnärztlicher Behandlungsmaßnahmen. In seinem Werk *„Le chirurgien dentiste; ou, traité des dents“*, das als erstes zahnmedizinisches Lehrbuch überhaupt gilt, dokumentiert er unter anderem auch die Insertion von Silberstiften in zuvor aufbereitete Wurzelkanäle. Fundstücke aus der japanischen Tokogava-Periode (1603-1867) belegen, dass zeitgleich auch ausserhalb Europas avitale Zähne mit Wurzelstiften versorgt wurden (Ring, 1985).

Bis in das letzte Drittel des zwanzigsten Jahrhunderts ging man davon aus, dass Wurzelkanalstifte per se den endodontisch behandelten Zahn stabilisieren und somit einer Fraktur vorbeugen sollten. Man fürchtete zudem eine Versprödung der Zahnhartsubstanz durch den Wegfall der pulpalen Versorgung.

Jedoch wird im Rahmen eines Paradigmenwechsels in letzter Zeit die unbedingte Notwendigkeit von Wurzelkanalstiften zunehmend angezweifelt. In der modernen Zahnheilkunde spielen minimalinvasive Therapiekonzepte nämlich eine immer größere Rolle. Die Präparation des Stiftbettes führt durch den Substanzabtrag nachgewiesenermaßen zu einer erheblichen Destabilisierung der Zahnwurzel (Lang und Raab, 2005). Ausserdem konnte die Annahme widerlegt werden, dass die Wurzelkanalbehandlung eine Versprödung des Dentins zur Folge hat (Sedgley und Messer, 1992). Es kann demzufolge festgehalten werden, dass ein postendodontischer Stiftaufbau primär der Verankerung der koronalen Restauration dienen soll, und allenfalls sekundär der Stabilisierung des Zahnes zuträglich ist.

Die Empfehlung zur Verwendung von intraradikulären Stiften wird heutzutage deshalb hauptsächlich mit der Einschätzung des koronalen Destruktionsgrades verknüpft. Die deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde (DGZMK) zählt in ihrer wissenschaftlichen Stellungnahme zum „Aufbau endodontisch behandelter Zähne“ (Edelhoff et al., 2003) drei Indikationsklassen auf:

- Geringer Destruktionsgrad (zentrale Zugangskavität, intakte zirkuläre Kronenwände): adhäsiver Verschluß der Kavität ausreichend
- Mittlerer Destruktionsgrad (zentrale Zugangskavität und proximale, vestibuläre, orale oder inzisale Defekte): je nach Situation direkte Kompositversorgung oder Überkronung; gegebenenfalls Wurzelstift zur Verankerung des plastischen Aufbaus (vergleiche Heydecke et al., 2001)
- Starker Destruktionsgrad (starker Substanzverlust der klinischen Krone): Überkronung, Wurzelkanalstift zur Retention des Aufbaus

Der Behandler steht bei der Auswahl des geeigneten Stiftsystems heute vor einer großen Vielfalt von Stiftarten, Materialien und Befestigungskonzepten.

2.2 Stiftsysteme

2.2.1 Halbkonfektionierte Aufbauten

Bei diesem System kommt ein industriell vorgefertigter, parallelwandiger oder konischer Stift zum Einsatz. Das Kanallumen wird mit systemkongruenten Bohrern aufbereitet. Aufgrund der anatomisch bedingten Verjüngung der Zahnwurzel nach apikal geht von parallelwandigen rotierenden Instrumenten eine erhöhte Perforationsgefahr aus (Yoldas et al., 2004). Parallele Wurzelstifte weisen eine gute primäre Retention auf (Standlee und Caputo, 1993), sind jedoch wegen des iatrogenen Perforationsrisikos mit besonderer Vorsicht anzuwenden. Konische Wurzelkanalstifte berücksichtigen die anatomische Wurzelverjüngung eher als parallelwandige. Der koronale Aufbau kann einerseits direkt im Mund mittels eines plastischen Füllungsmaterials erfolgen. Dies bringt den Vorteil, dass das endodontische System möglichst schnell in gleicher Sitzung bakteriendicht verschlossen werden kann. Andererseits besteht die Möglichkeit, einen indirekten Aufbau vom Zahntechniker an den konfektionierten Stift fertigen zu lassen. Sollen Stift und Aufbau aus dem gleichen Material bestehen, so sind ausbrennbare Abformstifte verfügbar. Weiterhin existieren angußbeziehungsweise anpressbare konfektionierte Stifte. Vorteilhaft ist hier die verkürzte Behandlungszeit am Stuhl sowie die Möglichkeit des Zahntechnikers, den Aufbau prothetisch sinnvoll vorzugestalten. Nachteilig bei diesem indirekten Verfahren ist jedoch, dass das großflächig eröffnete endodontische System nicht in derselben Sitzung definitiv verschlossen werden kann und somit die Gefahr einer bakteriellen (Re-)Kontamination besteht.

2.2.2 Individuell hergestellte Aufbauten

Diese Stiftsysteme werden heute klinisch eher selten verwendet und setzen eine genaue Abbildung des Kanallumens entweder durch eine intraorale Modellation mit ausbrennbarem Kunststoff oder eine Abformung des Wurzelkanals voraus. Im zahntechnischen Labor erfolgt dann die indirekte Herstellung des Stiftaufbaus mittels Metallguß. Dieses Verfahren bietet sich hauptsächlich bei überdurchschnittlich großlumigen oder anatomisch extrem ungünstig geformten Wurzelkanälen an, für die hinreichend passende konfektionierte Stifte nicht verfügbar sind.

2.3 Stiftmaterialien

Bei der Auswahl des geeigneten Stiftmaterials sind unterschiedliche Kriterien zu berücksichtigen:

a. Biologische Eigenschaften

Biokompatibilität:

Biokompatible Materialien sind für den Organismus verträglich und führen bei Inkorporation während und nach der Anwendungszeit nicht zu pathologischen Veränderungen. Laut Eichner und Kappert (2000) dürfen biokompatible Werkstoffe keine toxischen, sensibilisierenden, mutagenen, kanzerogenen oder teratogenen Eigenschaften aufweisen. Eine Korrosionsbeständigkeit wird bei sämtlichen biokompatiblen Werkstoffen vorausgesetzt. In Wurzelkanalstiften sollten lediglich Materialien zur Anwendung kommen, welche keine oder nur wenige Ionen freisetzen und sich somit durch eine hohe Korrosionsbeständigkeit auszeichnen. Keramische Wurzelkanalstifte und die meisten Kompositstifte erfüllen diese Anforderungen. Bestimmte Metallstifte können aufgrund ihres korrosiven Verhaltens (Silness et al., 1979) nicht als biokompatibel bezeichnet werden und sollten deshalb zum Aufbau endodontisch behandelter Zähne nicht verwendet werden.

b. Mechanische bzw. physikalische Eigenschaften

Elastizitätsmodul (E-Modul):

Unter dem Elastizitätsmodul versteht man eine Materialkonstante, die den linearen Zusammenhang zwischen einer wirkenden Spannung und der durch sie verursachten reversiblen Verformung eines Körpers wiedergibt. Je höher der Elastizitätsmodul ist, desto geringer ist die Fähigkeit des Werkstoffes, sich bei Belastung zu verformen, das heißt desto rigider ist ein Werkstoff.

Tabelle 1: Elastizitätsmodule verschiedener Stiftmaterialien im Vergleich zum humanen Dentin

Material	E-Modul	Quelle
Dentin	12-25 GPa	Kinney et al. (2003)
Glasfaserverstärkte Kompositstifte	30 GPa	Herstellerangabe ER DentinPost
Zirkoniumdioxidstifte	200 GPa	Herstellerangabe ER CeraPost
Titan (grade 2)	118 GPa	Eichner und Kappert (2000)
Edelmetallhaltige Dentallegierungen	100 GPa	Eichner und Kappert (2000)

Zahlreiche aktuelle Untersuchungen postulieren die Verwendung von Stiftmaterialien mit dentinähnlichem Elastizitätsmodul zur Restauration endodontisch behandelter Zähne. Bei zu hohen E-Modul Diskrepanzen unter den Werkstoffen steigt die Gefahr einer Wurzelfraktur erheblich an (Asmussen et al., 1999).

Biegefestigkeit:

Unter Biegefestigkeit versteht man die Fähigkeit eines Werkstoffes, einer biegenden Spannung entgegenzuwirken. Bei Überschreitung dieses Wertes erfolgt ein Versagen des Werkstoffes durch einen Bruch. Üblicherweise wird die Biegefestigkeit eines Stoffes mithilfe des 3-Punkt- oder des 4-Punkt-Biegeversuchs ermittelt. In zahnmedizinischen Untersuchungen wird hauptsächlich die 3-Punkt-Biegefestigkeit gemessen.

Tabelle 2: Biegefestigkeiten verschiedener Stiftmaterialien

Material	Biegefestigkeit	Quelle
Glasfaserverstärkte Kompositstifte		
DentinPost	550 MPa	Herstellerangabe DentinPost
DT-Light Post	840 MPa	Seefeld et al. (2007)
Zirkoniumdioxidstifte		
	820 MPa	Herstellerangabe CeraPost
	1110 MPa	Mc Laren und Sorensen (1997)
Titanstifte	612 MPa	Umgerechnet nach Ahn und Sorensen (2003)

Wurzelkanalstifte sollen im Hinblick auf die zu erreichenden Kaukräfte eine adäquate Biegefestigkeit besitzen, gleichzeitig jedoch als eine Art „Sollbruchstelle“ fungieren, um bei zu hohen Belastungen Wurzelfrakturen zu vermeiden (Martínez-Insua, 1998). Allerdings ist die Entfernbarkeit frakturierter Stifte nicht bei allen Materialien gegeben.

2.3.1 Metallische Stifte

Jahrzehntelang wurden wurzelkanalbehandelte Zähne ausschließlich mit Hilfe von metallischen (gegossenen oder konfektionierten) Stiften restauriert. Für diese Therapieoption kann auf einen entsprechend hohen Erfahrungsschatz zurückgegriffen werden (Kovács und Fabián, 1966; Michnick und Raskin, 1978; Huysmans et al., 1992; Gegauff, 2000; Balkenhol et al., 2007). Bei hochästhetischen Ansprüchen kann die Farbe des Metallstiftes störend wirken und durch die zahnfarbene Restauration oder das zervikale Dentin durchschimmern. Die Biokompatibilität ist nicht bei allen Metallen beziehungsweise metallischen Kombinationen gewährleistet. In der Literatur wird immer wieder von Korrosionsphänomenen berichtet (Silness et al., 1979; Wirz et al., 1980; Luu und Walker, 1992).

Sämtliche Metalle weisen einen dem Dentin mehr oder weniger unähnlichen Elastizitätsmodul auf. Dies wird in der Literatur häufig als Ursache für Wurzelfrakturen gesehen (Monticelli et al., 2003). Sofern metallische Stifte im indirekten Verfahren hergestellt werden, ist eine durchgängig homogene Materialqualität nicht immer garantiert, so daß

Lunker oder andere zahntechnische Verarbeitungsfehler die Stabilität des Werkstücks beeinträchtigen können.

Als konfektionierte Metallstifte zum direkten Aufbau werden Titanstifte aufgrund ihrer bioinerten Eigenschaften zurzeit häufig verwendet (Meyenberg et al., 1995).

Ein heutzutage kritisch diskutiertes direktes metallisches Stiftsystem stellen Schrauben dar, deren Einbringung oftmals mit Wurzelfrakturen in Verbindung gebracht wird. Pospiech (2002) empfiehlt derartige Schrauben aufgrund der primär guten Retention insbesondere bei Fällen, in denen nur eine geringe Bohrtiefe erreicht werden kann. Die erhöhte Gefahr der Wurzelfraktur bei diesem System führte jedoch dazu, dass aktuell von dem Gebrauch desselben eher abgeraten werden muss (Strub et al., 2005). Trotzdem zeigt eine groß angelegte Umfrage unter deutschen Zahnärzten (Naumann und Lange, 2003), dass Schrauben mit einem Anteil von fast 50% das am häufigsten verwendete konfektionierte metallische Stiftsystem darstellen.

2.3.2 Keramische Stifte

Hier gilt heutzutage Zirkoniumdioxid als Material der ersten Wahl. Die Biokompatibilität dieses Werkstoffs steht außer Frage. Die ästhetischen Eigenschaften sind aufgrund der weißlichen Farbe zahnähnlicher als die der Metalle. Zirkonoxidstifte können derzeit als einziges zahnfarbenes Stiftsystem mit einem laborgefertigten und prothetisch optimal vorgestalteten Aufbau kombiniert werden, indem nach intraoraler Abformung ein glaskeramischer Aufbau angepresst wird. Der Elastizitätsmodul ist dem des Dentins höchst unähnlich und mit nichtedelmetallhaltigen Legierungen vergleichbar.



Abbildung 1: ER CeraPost Quelle: Produktinformation, GEBR. BRASSELER GmbH & Co. KG, Lemgo

2.3.3 Faserverstärkte Kompositstifte

Diese Stifte bestehen aus einer Kompositmatrix, die mit integrierten Fasern (Carbon, Glas/Quarz) versehen sind. Die Ausrichtung der Fasern erfolgt im Längs- und/oder Querverlauf innerhalb des Stiftes. Von allen genannten Stiftmaterialien ist der Elastizitätsmodul dem des Dentins am ähnlichsten. In ästhetischer Hinsicht ist die vergleichsweise hohe Transluzenz sowie die zahnähnliche Farbe von faserverstärkten Kompositstiften eine wichtige Eigenschaft. Die Anwendung dieser Stifte kann systembedingt ausschliesslich im direkten Verfahren erfolgen.



Abbildung 2: ER DentinPost , Quelle: Produktinformation GEBR. BRASSELER GmbH & Co. KG, Lemgo

2.4 Stiftbefestigung

Wurzelkanalstifte können je nach Material sowohl konventionell zementiert, als auch adhäsiv befestigt werden. Anforderungen an das Befestigungsmedium sind eine einfache Verarbeitbarkeit, hohe Dichtigkeit, gute Biokompatibilität und ausreichende Haftwerte zum Wurzelkanalentin und zur Stiftoberfläche.

2.4.1 Konventionelle Zementierung

Hierbei handelt es sich um einen überwiegend mechanischen Verbund der Zementpartikel zu der präparatorisch aufgerauten Wurzelkanaloberfläche. Als Werkstoffe stehen hier entweder Zinkoxid-Phosphat Zemente oder Glasionomerezemente zur Verfügung, die im Rahmen einer Säure-Base-Reaktion aushärten. Die konventionelle Zementierung ist wenig techniksensitiv und nicht sonderlich zeitaufwändig. Ausgehärtete Glasionomerezemente sind in entscheidenden mechanischen Eigenschaften denen des Dentins relativ ähnlich (Vickers-

Härte und Elastizitätsmodul; Magni et al., 2009). Die Glasionomerezemente bringen eine geringe kontinuierliche Fluoridionenabgabe mit sich, deren kariesprotektive Wirkung jedoch im Inneren des Wurzelkanals zu vernachlässigen ist.

2.4.2 Adhäsive Befestigung

Bei einer adhäsiven Befestigung kommt es im Gegensatz zur konventionellen Zementierung zu einem überwiegend chemischen Verbund zwischen Befestigungsmaterial und Substrat. Der adhäsive Verbund zum Zahnschmelz mittels der Säureätztechnik ist seit Buonocore (1955) nur geringfügig verändert worden und kann als ausgereift bezeichnet werden. Mit dem Wurzelkanaldentin steht allerdings ein ungleich komplexeres Substrat zur Verfügung. Das Dentin hat spezielle biologische, chemische und physikalische Eigenschaften. Am Interface zwischen Zahnhartsubstanz und Komposit muß eine Hybridschicht etabliert werden, um das hydrophobe Komposit mit dem (tendenziell) hydrophilen Dentin zu verbinden. Dieses Vorgehen mittels spezieller Adhäsivsysteme ist bereits in gut zugänglichen Arealen diffizil und techniksensitiv, und stellt besonders in der Tiefe des Wurzelkanals eine große Herausforderung dar (Mendoza et al., 1997; Shono et al., 1999).

Im Idealfall bedarf die Verwendung der feuchtigkeitstoleranten Adhäsivsysteme einer absoluten Trockenlegung mittels Kofferdam. Dies ist jedoch bei Zähnen mit starkem koronalen Zerstörungsgrad nicht immer möglich. Der Verbund zur Stiftoberfläche benötigt ebenfalls eine Vorbehandlung, so dass auch hier reaktive Doppelbindungen zur Anhaftung des Komposites zur Verfügung stehen. Gelingt es, einen dauerhaften und zuverlässigen Klebeverbund herzustellen, so bilden Zahnwurzel, Befestigungskomposit und Stiftaufbau einen sogenannten Monoblock (Aversa et al., 2009).

Werkstoffkundlich gesehen bestehen Komposite aus anorganischen und organischen Füllstoffen, die in einer Monomermatrix (Dimethylacrylatmatrix) eingebettet sind. Bei der Aushärtung von Kompositen kommt es im Allgemeinen zu einer irreversiblen Verkettung der Dimethylacrylatkomponenten zu sogenannten Polymeren.

Man unterscheidet prinzipiell drei Arten der Polymerisation (Eichner und Kappert, 2000):

a. Photopolymerisation:

Lichthärtende Komposite enthalten Campherchinon als Initiator der Polymerisationsreaktion. Hierbei wird Lichtenergie mit einer Wellenlänge von 380- 500 nm als eingesetzt.

b. Chemische Polymerisation:

Selbsthärtende Komposite bestehen aus zwei Komponenten, die bei Mischung miteinander chemisch reagieren. Initiatoren der Polymerisation sind hierbei Dibenzoylperoxid und NN-Bis-(2-Hydroxyethyl)-p-toluidin. Die Verwendung chemisch polymerisierender Komposite bietet sich insbesondere in lichtunzugänglichen Arealen an, benötigt allerdings zur vollständigen Vernetzung der Moleküle mehr Zeit als bei der Photopolymerisation.

c. Duale Polymerisation:

Dualhärtende Komposite härten sowohl durch Lichtzufuhr, als auch chemisch aus. Sie enthalten somit beide Arten von Initiatoren. Diese Eigenschaft ist besonders bei der Befestigung von lichtopaken Werkstoffen von Vorteil. Zhang et al. (2008) konnten in einer jüngeren Studie zeigen, dass der Haftverbund von dualhärtenden Kompositzementen zur Wurzelkanalwand stärker ist als der von selbsthärtenden Kompositzementen. Die vollständige Polymerisation wird durch die chemischen Initiatoren gesichert, mit dem Vorteil der kontrollierten Einleitung des Polymerisationsvorgangs durch initiale Lichtzufuhr. Laut Foxton et al. (2003) sollte auf zusätzliche Lichtzufuhr bei dualhärtenden Befestigungskompositen nicht verzichtet werden, da rein chemisch ausgehärtete Dualzemente eine vergleichsweise geringe Konversionsrate sowie schlechtere mechanische Eigenschaften aufweisen.

Bei Befestigungskompositen ist der Füllstoffgehalt im Gegensatz zu Füllungskompositen geringer, um eine bessere Viskosität zu gewährleisten. Diese Verbesserung des Fließverhaltens geht allerdings zu Lasten einer erhöhten Polymerisationsschrumpfung

2.5 Koronale Restauration

Sinn und Zweck einer Kronenrestauration ist es, den koronal destruierten Zahn wieder in Funktion, Phonetik und Ästhetik den ehemals „gesunden“ Verhältnissen anzupassen. Im Frontzahnbereich liegt das Zentrum der Lautbildung spezieller Konsonanten, deshalb sollte gerade hier auf eine optimale Gestaltung der prothetischen Versorgung geachtet werden. Durch die ungünstige Krafteinwirkung bei der Mastikation sind endodontisch behandelte Frontzähne besonders frakturgefährdet (Metha und Millar, 2008) und bedürfen einer gegen extraaxiale Belastung stabilen Restauration. Eine Überkronung solcher Zähne minimiert das Risiko der Fraktur (Vire, 1991), besonders wenn der Kronenrand eventuelle plastische Stumpfaufbauten im Sinne eines Ferrule-Designs umfasst (Tan et al., 2005).

Basisanforderungen an festsitzende prothetische Versorgungen sind Biokompatibilität, Randdichtigkeit und Stabilität der verwendeten Materialien.

Als Goldstandard für die Restauration überkronungsbedürftiger Zähne im sichtbaren Bereich gilt immer noch die VMK-Technik, bei der ein im lost-wax-Verfahren gegossenes Gerüst anschliessend mit Feldspatkeramik ästhetisch verblendet wird. Dem Vorteil der jahrzehntelangen Erfahrung stehen eventuelle ästhetische und biokompatible Probleme gegenüber. Neue vollkeramische Werkstoffe erfüllen die geforderten mechanischen Eigenschaften und besitzen im Gegensatz zu vielen metallischen Werkstoffen eine gute Biokompatibilität. Die Ästhetik ist durch eine vorhandene Transluzenz der vollkeramischen Restaurationen besser als bei metallkeramischen Kronen, die keinerlei Lichttransmission erlauben.

Der Wunsch nach metallfreien Kronen führte über die manuelle Schlickertechnik zur maschinellen Fertigung im CAD („computer aided design“)/CAM („computer aided manufacturing“)-Verfahren. Bei CAD/CAM werden die Gerüste aus industriell präfabrizierten Blöcken gefräst; die Homogenität des Materials ist dabei immer gewährleistet. Herstellungsbedingte Fehler wie Lunker oder andere in gegossenen Werkstücken auftretende Heterogenitäten können somit vermieden werden. Bereits zu Beginn der 1980er Jahre wurde von Mörmann (2006) mit dem Cerec© System eine Möglichkeit der chairside Herstellung von CAD/CAM Restaurationen entwickelt. Die Indikation beschränkte sich zunächst auf posteriore Einlagefüllungen, nach diversen Evolutionsstufen können mit der aktuellen Version Cerec 3D praktisch alle Indikationen kleiner bis mittelgroßer festsitzender Restaurationen versorgt werden.

Bei der Befestigung von vollkeramischen Restaurationen können konventionelle oder adhäsive Methoden zur Anwendung kommen. Je nach verwendetem Keramiktyp bedarf das Werkstück zur adhäsiven Befestigung einer Oberflächenvorbehandlung, um einen optimalen Haftverbund zwischen Zahn und Krone herzustellen. Bei Glaskeramiken und Feldspatkeramiken kann durch eine Vorbehandlung mit Flusssäure ein mikroretentives Ätzmuster (ähnlich der Schmelzätzttechnik) erzeugt werden. Aufgrund ihrer mechanischen Instabilität sollten diese Keramiken immer adhäsiv befestigt werden. Die primär fragile und fraktursensible Keramik erhält erst durch den adhäsiven Verbund zur vorbehandelten Zahnhartsubstanz ihre endgültige Festigkeit (Nagai et al., 2005). Die hochfesten Oxidkeramiken, wie beispielsweise Zirkoniumdioxid, benötigen aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften keine adhäsive Befestigung zur Steigerung ihrer Stabilität. Sie können sowohl adhäsiv als auch konventionell zementiert werden. Dies ist in Situationen von Vorteil, in

denen die Adhäsivtechnik aufgrund ihrer Feuchtigkeitsintoleranz nicht zum Einsatz kommen kann. Zur adhäsiven Zementierung von Oxidkeramiken benötigt die Oberfläche ebenfalls mechanische und chemische Vorbehandlungen. Ein mikroretentives Design kann hier mittels Flusssäure nicht erreicht werden. Die meisten Autoren jüngerer Literatur schlagen vor, die Innenseite der Restauration mittels Aluminiumoxid abzustrahlen und anschliessend den chemischen Haftvermittler, nämlich ein Silanisierungsmittel, aufzutragen (Quaas et al, 2007). Auf diese Weise werden reaktive Doppelbindungen für das Befestigungskomposit zur Verfügung gestellt.

2.6 Fragestellung

Seit dem Aufkommen von populären metallfreien „high-tech“ Werkstoffen in der Zahnmedizin und deren erwiesener Praxistauglichkeit, stellt sich die Frage, ob modernere Methoden der Restauration endodontisch behandelter Zähne den konventionellen, langbewährten Techniken überlegen sind. In der modernen Zahnheilkunde erlangt die Ästhetik beim Patienten und auch beim Behandler einen immer höheren Stellenwert. Seit der Markteinführung zahnfarbener konfektionierter Stiftsysteme wurden zahlreiche Untersuchungen durchgeführt mit dem Ergebnis, dass der Langzeiterfolg in der Restauration endodontisch behandelter Zähne schwierig zu erfassen ist. Als abhängige Variable wurden die Wahl des Stiftsystemes, des Befestigungsmaterials, der Oberflächenbehandlung des Stiftes, des Stumpfaufbaus, der Präparation, des Destruktionsgrades der Zahnkrone und der prothetischen Versorgung genannt (Huysmans und Van der Varst, 1995; Edelhoff et al., 2000; Ferrari et al., 2007; Naumann et al., 2008). Diese scheinbare Abhängigkeit des Therapieerfolges von einer Vielzahl von Parametern führte dazu, dass bislang kein eindeutiges „Erfolgsrezept“ ausgesprochen werden konnte. Ziel der vorliegenden Studie war es, die praktische Anwendung von zahnfarbenen konfektionierten Stiftsystemen *in vitro* zu untersuchen. Mit den erhobenen Daten sollte eine Einschätzung vorgenommen werden, welche spezielle Parameterkombination die besten Therapieerfolge gewährleistet:

- Verwendung dreier verschiedener metallfreier Stiftsysteme (faserverstärkt und vollkeramisch)
- Verwendung unterschiedlicher Präparationstechniken (Ferrule/non-Ferrule)
- Anwendung verschiedener Stiftbefestigungsmethoden (konventionell/adhäsiv)
- Anschliessende Überkronung mittels CAD/CAM gefertigter Einzelkronen

3. Material und Methodik

3.1 Vorversuche zur Kalibrierung des Kausimulators

Im Rahmen der Vorversuche wurden insgesamt 8 native, einwurzelige, humane Zähne dekapitiert, endodontisch behandelt und mit jeweils 4 DentinPost-Stiften (Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, 32631 Lemgo) und DT-Light Post-Stiften (VDW GmbH, 81709 München) der ISO Größe 50 versorgt. Die Stifte wurden zur Hälfte konventionell (Ketac Cem, 3M Deutschland GmbH, 41453 Neuss), zur anderen Hälfte adhäsiv befestigt (Panavia F 2.0, Kuraray Europe GmbH, 65926 Frankfurt/Main). Die koronale Versorgung bestand aus einer im direkten Verfahren aus lichtpolymerisierendem Füllungskomposit (Herculite, KerrHawe SA, 6934 Bioggio, Switzerland) modellierten Krone analog Zahn 11.

Die derart restaurierten Zähne wurden im Kausimulator (Willytec Dual-axis chewing simulator, SD Mechatronik GmbH, 83620 Feldkirchen-Westerham) mit einem Gewicht von 7 kg über 1.500.000 Zyklen belastet und anschliessend mit 9 kg über 500.000 Zyklen nachbelastet.

Ziel der Vorversuche war es, Parameter der mechanischen Belastung auszuloten, die reproduzierbare Ergebnisse zulassen und somit als Grundlage für die Belastungssimulation der definitiven Prüfkörper dienen.

3.2 Gewinnung, Lagerung und Aufbereitung der Zähne

Zur Herstellung der Proben wurden humane, einwurzelige Zähne gesammelt und unmittelbar nach der Extraktion in Thymollösung (0,1 %) zur Desinfektion sowie Verhinderung der Dehydratation gelagert. Es erfolgte eine Vorselektion, um bereits endodontisch behandelte, frakturierte, prothetisch versorgte oder tief kariöse Exemplare auszuschließen.

Mittels einer wassergekühlten diamantierten Trennscheibe (Schleiftrennmaschine WOCO 50p, Conrad GmbH, 38678 Clausthal) wurden die Zähne in Höhe der Schmelzzementgrenze im rechten Winkel zur Wurzelachse dekapitiert. Die Wurzeln wurden an der Trennstelle auf einem rotierenden Nassschleifgerät (Gripo 2V, Metkon Instruments Ltd., Türkei) mit Karborundpapier (Körnungszahl 4000, 300 U/Min.) geglättet und soweit zurückgeschliffen, bis verbliebene Schmelzareale beseitigt waren.



Abbildung 3: dekapitierter Zahn zur Simulation eines maximalen koronalen Zerstörungsgrades

Mittels einer Schieblehre wurden 120 geeignete Wurzeln nach folgenden Kriterien vermessen:

- Länge korono-apikal (mindestens 12,6 mm)
- Durchmesser oro-vestibulär am koronalsten Punkt (mindestens 4,1 mm)
- Durchmesser mesio-distal am koronalsten Punkt (mindestens 3,8 mm)
- Durchmesser 3 mm vor dem Apex (mindestens 2,1 mm)

Es folgte eine Katalogisierung der Proben, wobei jede Wurzel einer Nummer zugeordnet und einzeln feucht gelagert wurde.

3.3 Endodontische Behandlung und Befestigung der Stiftsysteme

Die Wurzelkanäle wurden mittels Hedström-Feilen (Antaeos, VDW GmbH, München) in aufsteigender Sequenz erweitert, hierbei diente als Spülmedium destilliertes Wasser. Die Wurzelkanalaufbereitung endete bei einer apikalen Masterfeilengröße von ISO 40, wobei die apikale Konstriktion bewusst überinstrumentiert wurde. Auf eine übermäßige koronale Erweiterung im Sinne der Step-Back-Technik wurde verzichtet.

Die Zähne wurden mit genormten größen- und formkongruenten Guttaperchaspitzen (Antaeos, ISO Standard, VDW GmbH, München) analog der Einstiftmethode ohne Verwendung von Sealer wurzelgefüllt, indem die Spitze transapikal vorgeschoben, mit einer zahnärztlichen Pinzette von apikal bis zum Erreichen einer deutlich festen Retention nachgezogen, und mit einer Skalpellklinge unmittelbar am Apex abgetrennt wurde.

Bei den in der vorliegenden Studie verwendeten Stiftsystemen handelte es sich um folgende direkte, zahnfarbene Fabrikate:

Tabelle 3: Übersicht über die verwendeten Stiftsysteme

Name	Hersteller	Stiftmaterial	ISO-Gr.	Befestigungsart
CeraPost	Gebr. Brasseler GmbH	Zirkoniumdioxid	90 / 110	konvent./adhäsiv
DentinPost	Gebr. Brasseler GmbH	faserverst. Komposit	90 / 110	konvent./adhäsiv
DT-Light Post	VDW	faserverst. Komposit	90 / 110	konvent./adhäsiv

Die Wurzelfüllungen wurden mit dem jeweiligen systemspezifischen Pilotbohrer ca. 9 mm tief revidiert. Da die angestrebte koronale Restdentinstärke mindestens 1 mm betragen sollte, wurde die ISO-Größe der finalen Stiftbohrung in Abhängigkeit des Wurzeldurchmessers ausgewählt. Anschließend wurden die Stifte nach folgendem Protokoll inseriert:

Das intrakanaläre Wurzeldentin wurde mittels einer diamantierten Reibahle aufgeraut, letztmalig gespült und getrocknet. Nach einer Einprobe des zu inserierenden Stiftes folgte die Entfettung mittels Alkohol (Isopropylalkohol 70 %) und eine letzte Trocknung desselben.

Zur konventionellen Befestigung der Stifte wurde der Glasionomerezement Ketac Cem (3M Deutschland GmbH, Neuss) in der maschinellen Mischkapselvariante verwendet. Der Stift wurde mit dem angemischtem Material beschickt, unter leichter Rotation in den Kanal eingebracht und überschüssige Zementanteile im plastischen Zustand entfernt.

Die adhäsive Stiftbefestigung erfolgte mittels Panavia 2.0 (Kuraray Europe GmbH, Frankfurt/Main) nach Herstellerangaben. Hierbei wurde das selbstkonditionierende Adhäsivsystem nach Mischung der beiden Komponenten mit einem Miniaturbürstchen in den Kanal eingebracht und Überschüsse mit einer Papierspitze beseitigt. Der Stift wurde ebenfalls mit dem Adhäsiv benetzt und mit dem aus zwei Pasten gemischtem dualhärtenden Befestigungskomposit versehen. Es folgte die Insertion unter rotierender Bewegung in den Wurzelkanal. Nach der groben Entfernung der Überschüsse erfolgte die Aushärtung mit einer Polymerisationslampe über einen Zeitraum von 60 Sekunden.

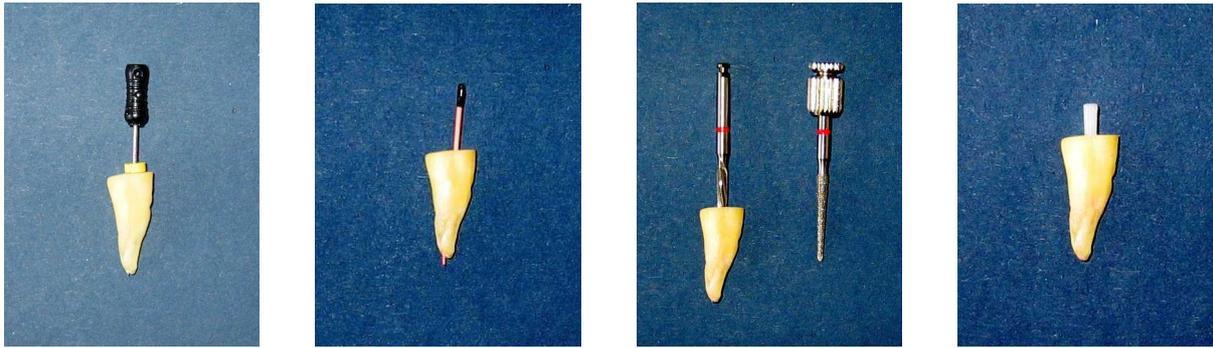


Abbildung 4: Wurzelkanalaufbereitung und -füllung, Stiftbettpräparation und zementierter Stift in situ

3.4 Adhäsiver Aufbau und Kronenstumpfpräparation

Unmittelbar nach der Stiftinsertion folgte die Gestaltung des koronalen Aufbaus mittels eines plastischen, lichthärtenden Aufbaumaterials (Clearfil Photocore, Kuraray Europe GmbH, Frankfurt/Main) unter Verzicht auf zusätzliche substanzopfernde Maßnahmen (Kanalinlay). Als Dentinhaftvermittler wurde das selbstkonditionierende Adhäsiv Clearfil SE Bond (Kuraray Europe GmbH, Frankfurt/Main) verwendet.

Als nächster Schritt schloß sich eine zirkuläre Stufenpräparation an, die sowohl der optischen Abformung für Cerec, als auch der Aufnahme vollkeramischer Kronen gerecht wurde. Verwendet wurden unberingte (dies entspricht einer Körnung von 107 μm) zylindrische Diamantschleifkörper mit abgerundeten Kanten der Größe 012 (Gebr. Brasseler GmbH & Co. KG, Lemgo) bei einer Umdrehungszahl von 100000 Umdrehungen pro Minute sowie rotberingte Finierdiamanten (Körnung 46 μm) der gleichen Form und Größe bei verringerter Umdrehungszahl. Die Präparation erfolgte unter Wasserkühlung mit einem Schnellläuferwinkelstück an einer zahnärztlichen Behandlungseinheit.

Bei jedem zweiten Zahn jeder Stiftgruppe wurde im Sinne eines Ferrule-Designs der plastische Aufbau um 2 mm gefasst (Abbildung 5) und die insgesamt 120 Proben anschließend in zwölf Gruppen eingeteilt:

Tabelle 4: Gruppeneinteilung der 120 Zähne nach Stiftsystem, Stiftbefestigung und verwendetem Präparationsdesign

	Stiftsystem	Stiftbefestigung	Präparationsdesign	n=
Gruppe I	CeraPost	Ketac Cem	Ferrule	10
Gruppe II	CeraPost	Ketac Cem	Non-Ferrule	10
Gruppe III	CeraPost	Panavia F2	Ferrule	10
Gruppe IV	CeraPost	Panavia F2	Non-Ferrule	10
Gruppe V	DentinPost	Ketac Cem	Ferrule	10
Gruppe VI	DentinPost	Ketac Cem	Non-Ferrule	10
Gruppe VII	DentinPost	Panavia F2	Ferrule	10
Gruppe VIII	DentinPost <td Panavia F2	Non-Ferrule	10	
Gruppe IX	DT-Light Post	Ketac Cem	Ferrule	10
Gruppe X	DT-Light Post	Ketac Cem	Non-Ferrule	10
Gruppe XI	DT-Light Post	Panavia F2	Ferrule	10
Gruppe XII	DT-Light Post	Panavia F2	Non-Ferrule	10

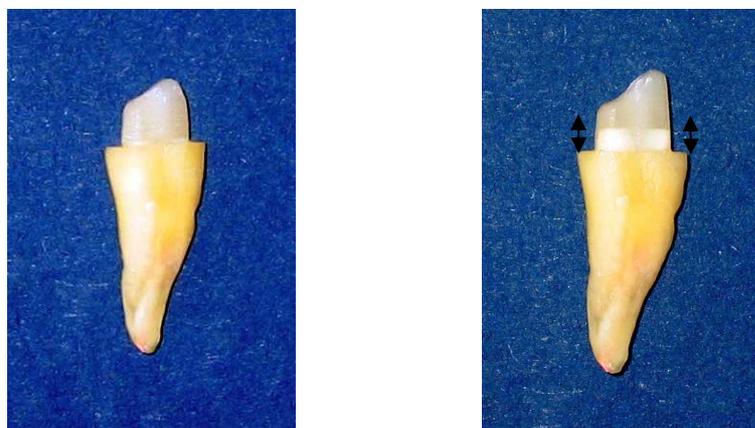


Abbildung 5: Präparationsdesign, Links: non-Ferrule, Rechts: Ferrule (zirkuläre, fassreifenartige Fassung des plastischen Aufbaus um 2 mm, Pfeile)

3.5 Herstellung und Befestigung der Kronen

Um eine geschlossene Zahnreihe zu simulieren, wurden die präparierten Zähne an Position 11 in ein speziell angefertigtes Oberkiefer-Teilmodell integriert. Als Nachbarzähne dienten unbeschiffene Kunststoffzähne (Typ AG-3, Frasaco GmbH, Tettang); der abzuformende

Zahn wurde jeweils mit Silikonknetmasse in der dafür vorgesehenen leeren Alveole positioniert.

Nach der optischen Abformung am gepuderten (Dentaco Scan Spay Cerec, Dentaco Dentalindustrie GmbH, Bad Homburg) Modell mittels chairside Handscanner (Cerec 3D Messkamera, Sirona Dental Systems GmbH, 64625 Bensheim), wurden die Kronenkäppchen virtuell modelliert (Cerec 3D, Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim) und aus In-Ceram Alumina Rohlingen (In-Ceram Blanks for Cerec Alumina CA-12 for crowns, Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, 79713 Bad Säckingen) in der Cerec Schleifeinheit unter Wasserkühlung gefräst. Hierbei war das Ziel, ein ca. 0,7 mm dickes, nicht auf dem Zahnstumpf rotierbares Käppchen zu generieren, das den Anforderungen an ein Kronengerüst der anatomisch korrekten Schichttechnik gerecht wird.

Die gefrästen Kronenkäppchen wurden unter Wasserkühlung an die Zahnstümpfe angepasst sowie mit In-Ceram Prüfflüssigkeit (Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen) angefärbt, um Frakturen vor der weiteren Verarbeitung zu detektieren. Das Herstellungs-konzept von Vita In-Ceram sieht eine Glasinfiltration der gefrästen Käppchen mit einer systemspezifischen Glasmasse (AL2 Alumina Glass Powder, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) vor. Dieser Glasinfiltrationsbrand erfolgte in einem zahntechnischen Keramikofen (Vacumat 300, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) bei einer Temperatur von 1200 ° C unter Vakuum, wobei die mit Glasmasse beschickten Käppchen auf einer Platinfolie ruhten.

Überschüssiges Glas wurde mit einem Heatless-Stein, Korundschleifkörpern und Strahlpulver entfernt. Vor der Verblendung der Käppchen wurden diese mindestens einem Glaskontrollbrand unterzogen, um einen eventuell vorhandenen Glasüberschuss an die Oberfläche zu befördern; dieser wurde gegebenenfalls nach der oben beschriebenen Methode beseitigt. Da die unverblendeten, glasinfiltrierten Kronengerüste sehr feuchtigkeitssensibel sind, wurden sie von den Zähnen getrennt trocken gelagert.

Die Restaurationen wurden mit systemkongruenter Keramikmasse (VM7, Vita Zahnfabrik, Bad Säckingen) verblendet, wobei bis zur Fertigstellung mindestens ein Dentin- sowie ein Glanzbrand durchlaufen wurden. Die gewünschte Restaurationsform entsprach Zahn 11, mit besonderem Augenmerk auf die vom Hersteller angegebenen Mindestschichtstärken.

Vor der Zementierung der fertigen Restaurationen wurden diese gegebenenfalls nochmalig unter Zuhilfenahme eines Farbsprays (Okklusionsspray Touch-on, Heimerle und Meule GmbH, 75179 Pforzheim) an den Zahnstumpf angepasst, die Innenflächen wurden mit Aluminiumoxid zur Reinigung und Retentionserhöhung abgestrahlt.

Nach dem Entfetten des Zahnstumpfes mit Alkohol erfolgte die definitive Befestigung der jeweiligen Restauration mittels des bereits oben erwähnten Glasionomerzementes (Ketac Cem, 3M Deutschland GmbH, Neuss). Der Kronenrand wurde rasch versäubert und die Restauration bis zum vollständigen Abbinden des Zementes unter manueller Druckausübung auf dem Zahn gehalten.

Um eine Dehydratation der Proben zu vermeiden, wurden diese nach dem Zementierungsvorgang sofort wieder in destilliertem Wasser gelagert.

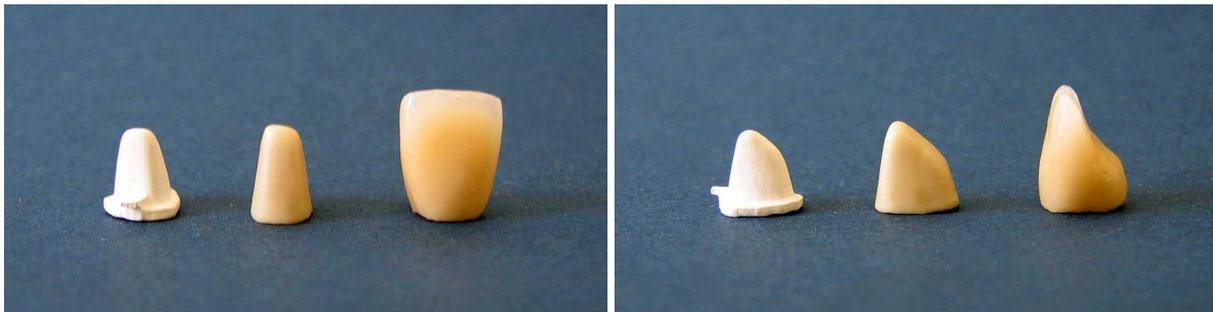


Abbildung 6: Verschiedene Stadien der Kronenherstellung (Links: gefrästes Kronengerüst, Mitte: glasinfiltriertes und ausgearbeitetes Kronengerüst, Rechts: fertige Krone); Ansicht von vestibulär und von distal

3.6 Thermocycling und Kausimulation

Mit einem wasserfesten Stift wurden die Zähne mit ihrer zugeteilten Nummer beschriftet, damit bei der weiteren Verarbeitung Verwechslungen ausgeschlossen werden konnten.

Zur Simulation einer jahrelangen klinischen Belastung der Proben wurden diese zunächst einem zyklischen thermischen Wechselbad (Willytec Thermocycler, SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham) ausgesetzt. In zwei Tauchbädern mit der Temperatur +2 °C bzw. +60 °C verweilten die Zähne für jeweils 100 Sekunden (Abtropfzeit 7 Sekunden) alternierend, bis eine Zyklenzahl von 3840 (ca. 240 Stunden) erreicht war.

Desweiteren wurden die Proben zusätzlich mechanischen Belastungszyklen in einer Kausimulationsmaschine unterzogen.

Zur Herstellung der Antagonisten wurden geeignete Kronen nativer, humaner Prämolaren verwendet, die bei der Dekapitation der Proben angefallen waren. Diese wurden mittels eines lighthärtenden Füllungswerkstoffs auf Trägern fixiert.

Die Proben wurden gemäß des „Regensburger Konzeptes“ (Scharnagel, 1998) in Blöckchen aus Polymethylmethacrylat (Palapress Vario farblos, Heraeus Holding GmbH, 63450 Hanau)

eingebettet, wobei zur Simulation des physiologischen Parodontalspaltes eine ca. 350 μm starke Schicht eines Polyetherabformmaterials (Impregum, 3M Deutschland GmbH, Neuss) die Zahnwurzel umgab. Hierzu musste auf jeder Wurzeloberfläche eine entsprechend dicke Wachsschicht als Platzhalter etabliert werden, die durch einsekündiges Eintauchen in ein 82 °C warmes zahntechnisches Wachsbad (Hotty, Renfert GmbH, 78247 Hilzingen) und eine Entnahmezeit von zwei Sekunden erreicht werden konnte. Nach dem sorgfältigen Entfernen des Waxes folgte die Beschickung der Wurzeloberfläche sowie der Innenflächen des Kunststoffblöckchens mit Polyetheradhäsiv. Anschliessend wurden die Zähne in die vorgefertigte offene Hohlform mit Polyethermaterial in senkrechter Position reponiert. Die Oberkante des Kunststoffblöckchens repräsentierte den limbus alveolaris, so daß zur Erzielung der sogenannten „biologischen Breite“ ein Abstand von ca. 2 mm zum Restaurationsrand angestrebt wurde. Die Positionierung der Proben im Kausimulator (Willytec Dual-axis chewing simulator, SD Mechatronik GmbH, Feldkirchen-Westerham) erfolgte durch Einsetzen der PMMA-Blöckchen in vorgefertigte Halterungen, wobei ein Winkel zwischen Antagonisten und Längsachse der Proben von 135° erreicht wurde. Die Antagonisten belasteten die Proben unmittelbar inzisal des palatinalen Tuberkulums. Die Zähne wurden mit einem Gewicht von 9 kg (90 N) über die Dauer von 1.500.000 Zyklen vertikal belastet, die Hub- und Absenkgeschwindigkeit betrug 40 mm/Sekunde bei einer Hubhöhe von 7 mm, entsprechend einer Zyklenfrequenz von 1,8 Hz. Eventuelle Ausfälle der Proben durch Dezementierungen oder Frakturen wurden registriert und schriftlich dokumentiert.

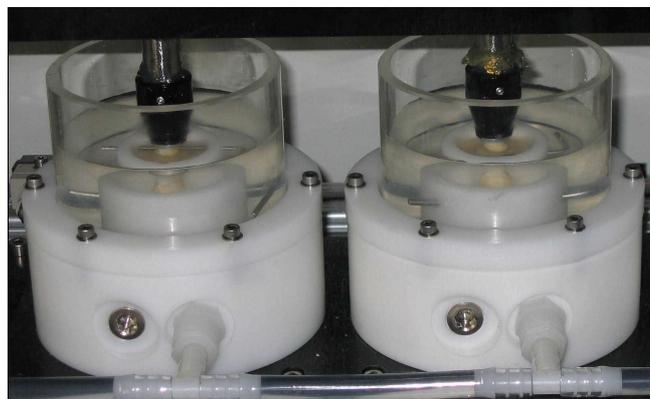


Abbildung 7: Detailansicht des Kausimulators, die Kolben mit den positionierten Proben sind wassergeflutet, Momentaufnahme von der Belastung der Proben durch den Antagonisten

3.7 Auswertung

Nach Ablauf der oben genannten Zyklenzahl wurden die Proben aus dem Kausimulator entnommen und aus den Kunststoffblöckchen befreit. Die Zähne wurden sorgfältig unter einem Auflichtmikroskop inspiziert. Die Bewertung umfasste die Kontrolle auf Ausfälle im Bereich der Krone, Retentionsverluste des Stiftaufbaus, Stiftfrakturen und Wurzelfrakturen.

Ein wichtiger Punkt bei der klinischen Beurteilung zu restaurierender Zähne ist die objektivierbare Erfassung des Erhaltungsgrades (Blankenstein et al., 2002). Die Versagensmuster wurden zur besseren Übersicht in drei Aussagen zur postexperimentellen Erhaltungswürdigkeit (hier als klinisch orientierter Zahnerhalt bezeichnet) zusammengefasst. Hiermit ist die Qualität des klinischen Zustandes nach durchlaufener thermo-mechanischer Belastung gemeint.

Tabelle 5: Einteilung der Versagensmuster in eine klinisch orientierte Einschätzung zur Erhaltungswürdigkeit

Versagen	Klinisch orientierter Zahnerhalt
kein Versagen	ohne Einschränkung
Krone dezementiert	
Krone frakturiert	
Stift dezementiert	mit Einschränkung
Stiftfraktur supraradikulär	
Stiftfraktur intraradikulär	
Wurzelfraktur	nicht erhaltungswürdig
kombinierte Wurzel- und Stiftfraktur	

Um auch äusserlich nicht sichtbare Schäden detektieren zu können, wurden alle scheinbar unversehrten Proben über 24 Stunden in einer Methylenblaulösung angefärbt.

Die Zahnwurzeln wurden nochmalig unter dem Auflichtmikroskop betrachtet und Zähne, die nach der Kausimulation noch visuell intakt waren, schließlich in 3 Segmente zerlegt. Der Aufbau wurde mit einem Separierdiamanten (Körnung 25 µm) im Schnellläuferwinkelstück

an einer zahnärztlichen Behandlungseinheit von vestibulär nach oral durchtrennt und 2 mm unterhalb des Kronenrandes horizontal von der Wurzel abgesetzt.

Die Segmente wurden auf eventuell vorhandene Farbpenetrationen untersucht. Da verschiedene Farbpenetrationsmuster zu erkennen waren, wurden diese nach folgenden Kriterien beurteilt:

- 1 Positive Penetration am Kronenrand?
- 2 Positive Penetration am Interface Zahn-Aufbau?
- 3 Positive Penetration am Kanaleingang?
- 4 Positive Penetration 2 mm apikal des Kanaleingangs?

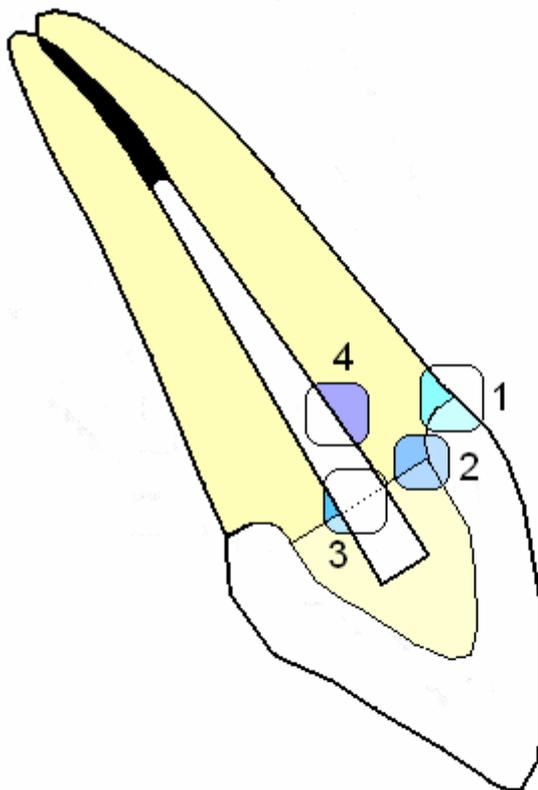


Abbildung 8: sagittaler Schnitt durch einen oberen mittleren Schneidezahn, endodontisch behandelt, versorgt mit Wurzelkanalstift, Aufbaufüllung und Krone.

Darstellung der gemessenen Farbpenetrationspunkte. Legende: 1= Kronenrand, 2= Interface Dentin-Aufbaufüllung, 3= Wurzelkanaleingang, 4= Wurzelkanal 2 mm unterhalb des Kanaleingangs.

Die gewonnenen Daten wurden in Microsoft Excel Tabellen gesammelt und anschliessend mittels SPSS für Windows 15.0 statistisch analysiert. Als Parameter dienten die jeweiligen Mittelwerte, Standardabweichungen, minimale und maximale Werte sowie die Untersuchung eventuell vorhandener signifikanter Zusammenhänge mit Hilfe des Chi-Quadrat Tests (Signifikanzniveau $p < 0,05$).

4. Ergebnisse

4.1 Dimensionen der Wurzeln und Zuteilung der ISO-Größen

Die Größenvermessung der Wurzeln (n=120) ergab zusammengefasst folgende Werte:

Tabelle 6: Mittelwerte, Standardabweichungen, minimale und maximale Wurzel dimensionen (in mm) der in der vorliegenden Studie verwendeten Proben (n= 120)

	Minimum	Maximum	Mittelwert	Standardabweichung
Wurzellänge	11,60	19,50	15,13	1,71
Ø mesio-distal	3,80	8,10	5,44	0,90
Ø oro-vestibulär	4,20	9,50	7,32	0,95
Ø 3 mm vor Apex	2,10	4,20	2,87	0,45

Um eine ausreichende koronale Restdentinstärke zu gewährleisten, wurden die Stiftsysteme in zwei verschiedenen ISO-Größen inseriert. Es zeigte sich, dass 93 Zähne mit Stiften der Größe ISO 90 und 27 Zähne mit Stiften der Größe ISO 110 versorgt wurden. Dies entspricht einer prozentualen Verteilung von 77,5 % zu 22,5 %.

4.2 Allgemeine kumulierte Ergebnisse der Kausimulation

Hinsichtlich der thermo-mechanischen Belastung zur Alterungssimulation erreichten 86 der insgesamt 120 Proben (entsprechend 71,7 %) die vorgegebene maximale Zyklenzahl von 1.500.000 im Kausimulator nach vorangegangener thermischer Wechsellast. Der Mittelwert lag bei 1.233.303 erreichten Zyklen (Standardabweichung 485.549 Zyklen).

Ohne Berücksichtigung der anderen Parameter (Befestigungsmodus, ISO Größe und Präparationsdesign) erreichten mit CeraPost-Stiften restaurierte Zähne eine durchschnittliche Zyklenzahl von 950.783. Die mit DentinPost-Stiften vorbereiteten Proben erreichten im Durchschnitt 1.410.700 Zyklen. Zähne, welche mit Stiften des Typs DT-Light Post versorgt wurden, überstanden durchschnittlich 1.338.425 Zyklen.

Unter Berücksichtigung der restlichen Parameter ergab sich folgendes Bild:

Die mit einer Ferrule-Präparation versehenen Proben hielten der thermo-mechanischen Belastung im Durchschnitt 1.365.072 Zyklen stand. Zähne, bei welchen auf ein Ferrule-Design verzichtet wurde, erreichten durchschnittlich 1.101.533,5 Zyklen.

Proben deren Wurzelstift adhäsiv inseriert wurde, erreichten eine durchschnittliche Zyklenzahl von 1.276.250 Zyklen. Der Mittelwert der absolvierten Zyklenzahl für konventionell befestigte Stifte lag bei 1.190.355,5 Zyklen.

Zur besseren Übersicht wurden alle 120 Zähne je nach Stiftsystem (CeraPost, DentinPost, DT-Light Post), Befestigungsart des Stiftes (Ketac Cem, Panavia F2) und Präparationsdesign (Ferrule, non Ferrule) in insgesamt 12 verschiedene Gruppen unterteilt.

Tabelle 7 zeigt die Übersicht der Kausimulationsergebnisse, eingeteilt in klinisch relevante Intervalle. Zugrundegelegt wurde eine durchschnittliche Äquivalenz von 250.000 Kauzyklen pro Jahr klinischer Belastung.

**Tabelle 7: Aufstellung der maximal erreichten Zyklenzahl innerhalb der verschiedenen Gruppen.
Einteilung der Zyklen in klinisch relevante Intervalle (250.000 Zyklen thermisch-mechanische
Wechselast in vitro entsprechen annäherungsweise einem Jahr in vivo), n= 10 pro Gruppe
Abkürzung der Gruppenbezeichnung: CP = CeraPost, DP = DentinPost, DTLP = DT-Light Post, k =
Ketac Cem, p = Panavia F2, f = Ferrule, nf = non Ferrule**

	0 - 250.000	250.001 – 500.000	500.001 – 750.000	750.001 – 1.000.000	1.000.001 – 1.250.000	1.250.001 – 1.500.000
Gruppe I CP-k-f	2	---	1	1	1	5
Gruppe II CP-k-nf	6	---	1	1	1	1
Gruppe III CP-p-f	---	---	---	1	---	9
Gruppe IV CP-p-f	4	---	---	1	---	5
Gruppe V DP-k-f	---	---	---	---	---	10
Gruppe VI DP-k-nf	---	1	---	---	---	9
Gruppe VII DP-p-f	---	---	---	1	---	9
Gruppe VIII DP-p-nf	---	1	1	---	---	8
Gruppe IX DTLP-k-f	---	---	---	1	---	9
Gruppe X DTLP-k-nf	---	1	---	1	---	8
Gruppe XI DTLP-p-f	1	---	---	---	---	9
Gruppe XII DTLP-p-nf	---	---	1	3	---	6

Die zehn Proben in Gruppe I wurden mit CeraPost-Stiften versorgt, die konventionell befestigt wurden (Ketac Cem) und deren Aufbau im Sinne eines Ferrule-Designs gefasst wurde. Innerhalb dieser Gruppe kam es in einem Fall zu einer Dezementierung der Krone, bei drei Proben kam es zu einer Dezementierung des Stiftes (inklusive Aufbau und Krone), zweimal konnte eine intraradikuläre Stiftfraktur verzeichnet werden und zweimal eine vestibuläre Zahnfraktur mit Dezementierung des Stiftes (in der Tabelle als Wurzelfraktur klassifiziert). Zwei Zähne der Gruppe I zeigten keinerlei Versagensmuster.

In der Gruppe II, deren Proben bis auf die fehlende Wurzelumfassung gleich versorgt wurden, zeigte sich in vier Fällen eine Dezementierung des Stiftes, einmal frakturierte ein Stift supraradikulär, bei vier Proben kam es zu intraradikulären Stiftfrakturen und in einem Fall zu einer vestibulären Zahnfraktur mit gleichzeitiger Dezementierung des Stiftes.

Keine einzige Probe dieser Gruppe hielt der Belastung in Thermocycler und Kausimulator unbeschadet stand.

Die Zähne in Gruppe III erhielten CeraPost-Stifte, die adhäsiv befestigt wurden. Die Proben wurden analog eines Ferrule-Designs präpariert. In dieser Gruppe kam es in einem Fall zu einem Verlust der Restauration durch Dezementierung und einmal konnte durch eine Anfärbung mit Methylenblau eine durchgehende Längsfissur detektiert werden (in der Tabelle unter Wurzelfraktur aufgeführt). Acht Proben überstanden die thermo-mechanischen Belastungszyklen ohne Ausfälle.

Die Gruppe IV bestand aus Zähnen mit adhäsiv befestigten CeraPost-Stifte ohne Ferrule-Präparation. Eine Probe fiel durch den Retentionsverlust des plastischen Aufbaus und der Krone aus, wobei der Stift in situ verblieb. Bei einem Zahn ging lediglich die Krone durch Dezementierung verloren, bei zwei Zähnen durch eine Fraktur derselben. Fünf Mal kam es zu einer Dezementierung des Stiftes. Nur eine Probe wies nach Ablauf der 1.500.000 Zyklen keine Mängel auf.

Die Zähne der Gruppe V wurden mittels konventionell befestigten DentinPost-Stiften versorgt und mit einer Ferrule-Präparation versehen. Alle Proben dieser Gruppe überstanden sämtliche Alterungs- und Belastungszyklen unbeschadet.

Bei den zehn Proben der Gruppe VI wurde auf eine Fassreifenpräparation verzichtet, die DentinPost-Stifte wurden mit Glasionomierzement inseriert. Sieben Zähne dieser Gruppe erreichten die maximalen 1.500.000 Zyklen ohne Versagen. Eine Probe fiel vorzeitig durch die Dezementierung des Stiftes aus, einmal kam es zu einem supraradikulären Stiftbruch und in einem Fall konnte zusätzlich zum Retentionsverlust des Stiftes eine vestibuläre Zahnfraktur diagnostiziert werden.

Die Gruppe VII bestand aus zehn Proben, die mit adhäsiv befestigten DentinPost-Stiften unter Zuhilfenahme einer Ferrule-Präparation restauriert wurden. Acht Zähne blieben unbeschadet. In einem Fall kam es zu einem Mißerfolg durch Verlust der Restauration, in einem anderen zum Ausfall durch eine Dezementierung des Stiftes mit einhergehender Fraktur des vestibulären Wurzelanteils.

In Gruppe VIII wurde bei der Präparation auf eine Fassung des plastischen Aufbaus verzichtet. In dieser Gruppe kam es zu einer Kronenfraktur, einer Stiftdezementierung und zu zwei supraradikulären Frakturen des Stiftes. Sechs Proben blieben bis zur Beendigung der thermo-mechanischen Belastung unversehrt.

Gruppe IX entstand durch Zementieren von DT-Light Post-Stiften mit Ketac Cem und Anlegen einer Fassreifenpräparation. Sechs dieser Zähne blieben unbeschadet. Ein Zahn fiel aus durch Kronenverlust, bei zwei Proben löste sich der Wurzelstift aus dem Kanal und bei einem Zahn kam es zu einer Wurzelfraktur.

Neun von zehn Zähnen in Gruppe X (DT-Light Post Wurzelkanalstifte eingesetzt mit Glasionomierzement, non Ferrule) versagten vorzeitig während der Belastung im Kausimulator. Eine einzige Probe blieb ohne Schäden, drei Proben erlitten eine Dezementierung des Stiftes, bei vier Proben brach der Stift oberhalb des Kanaleingangs und zwei Proben wiesen eine Kombination aus Stift- und vestibulärer Zahnfraktur auf.

Bei allen Proben der Gruppe XI wurden DT-Light Post-Stifte adhäsiv inseriert und eine aufbaufassende Präparationsform angewendet. Neun der zehn Zähne blieben unversehrt. Ein Zahn wies eine Dezementierung des Wurzelstiftes auf.

Die Gruppe XII bestand aus Zähnen, die mit adhäsiv befestigten DT-Light Post-Stiften versorgt wurden, ohne Präparation eines Ferrule-Designs. Zwei Proben fielen durch Retentionsverlust des Stiftes, zwei weitere durch supraradikuläre Stiftfrakturen aus. Eine Probe fiel einer kombinierten Wurzel- und Stiftfraktur zum Opfer. Fünf der zehn Zähne wiesen keine Versagensmuster auf.

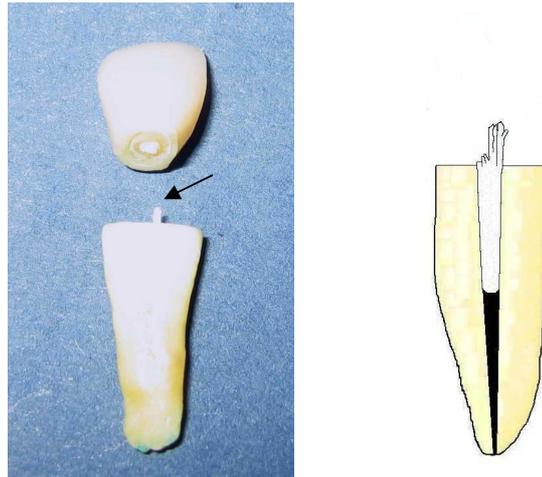


Abbildung 9: Typisches Versagensbild für glasfaserverstärkte Stifte ohne Ferrule-Präparation. Gut zu erkennen ist die Auffaserung des Stiftes an der Frakturstelle (Pfeil). Rechts: Schemazeichnung.

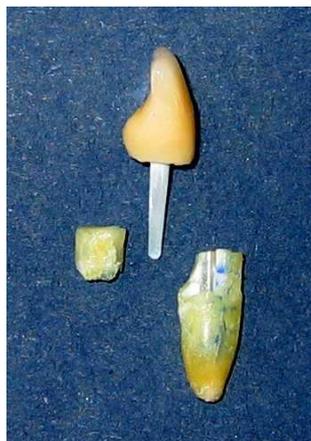


Abbildung 10: Typisches Versagensbild für eine Wurzelfraktur mit gleichzeitigem Retentionsverlust des Stiftes.

Die Ergebnisse der einzelnen Gruppen wurden zur besseren Übersicht in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Einteilung der Versagenskriterien in ein klinisch relevantes Ranking in Bezug zu den verschiedenen Gruppen (n pro Gruppe=10)

	Kein Versagen	Krone dezementiert	Krone frakturiert	Stift dezementiert	Stiftfraktur supraradikulär	Stiftfraktur intraradikulär	Wurzelfraktur	Kombinierte Wurzel- und Stiftfraktur
Gruppe I	2	1	---	3	---	2	2	---
Gruppe II	---	---	---	4	1	4	1	---
Gruppe III	8	1	---	---	---	---	1	---
Gruppe IV	1	2	2	5	---	---	---	---
Gruppe V	10	---	---	---	---	---	---	---
Gruppe VI	7	---	---	1	1	---	1	---
Gruppe VII	8	1	---	---	---	---	1	---
Gruppe VIII	6	---	1	1	2	---	---	---
Gruppe IX	6	---	1	2	---	---	1	---
Gruppe X	1	---	---	5	4	---	---	---
Gruppe XI	9	---	---	1	---	---	---	---
Gruppe XII	5	---	---	2	2	---	---	1
Summe	63	5	4	24	10	6	7	1

Ausgehend von den in Tabelle 8 beschriebenen Versagensmustern wurden die Ergebnisse nach klinisch-praktischen Überlegungen zur Erhaltungswürdigkeit klassifiziert.

Tabelle 9: Einteilung der Gruppenergebnisse in eine klinisch orientierte Einschätzung zur Erhaltungswürdigkeit (pro Gruppe: n=10)

	Erhaltungswürdig Ohne Einschränkung	Erhaltungswürdig mit Einschränkung	Nicht erhaltungswürdig
Gruppe I	3	5	2
Gruppe II	---	9	1
Gruppe III	9	---	1
Gruppe IV	5	5	---
Gruppe V	10	---	---
Gruppe VI	7	2	1
Gruppe VII	9	---	1
Gruppe VIII	7	3	---
Gruppe IX	7	2	1
Gruppe X	1	9	---
Gruppe XI	9	1	---
Gruppe XII	5	4	1

Nach Analyse des Versagensmusters der 120 Zähne präsentierten sich 72 Proben (entspricht 60 %) als „erhaltungswürdig ohne Einschränkung“, 40 Proben (entspricht 33,3 %) als „erhaltungswürdig mit Einschränkung“ und 8 Proben (entspricht 6,7 %) als „nicht erhaltungswürdig“ (Abbildung 11).

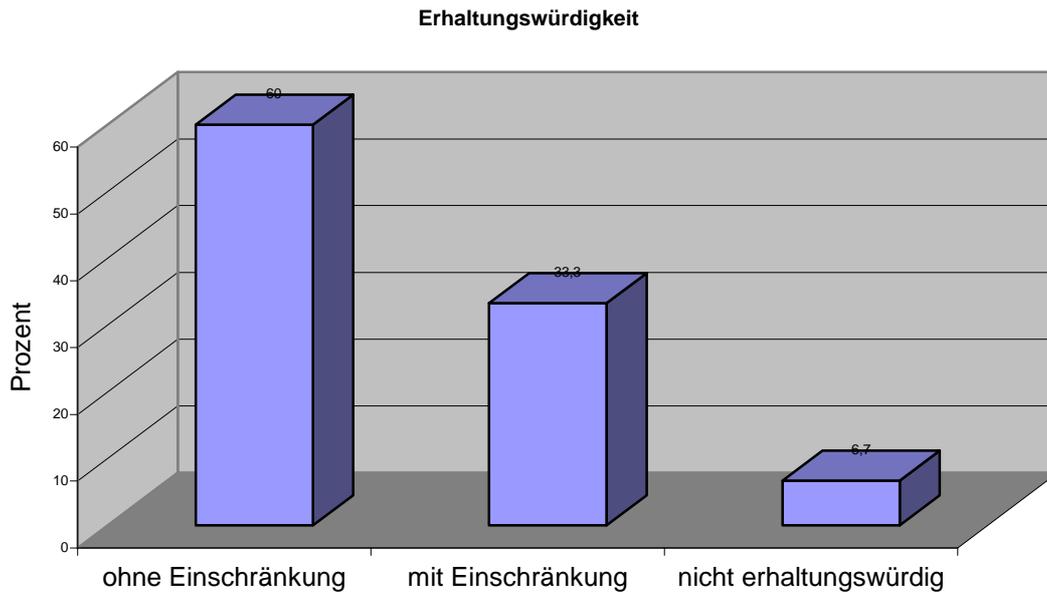


Abbildung 11: grafische Darstellung der postexperimentellen Erhaltungswürdigkeit (ohne Einschränkung, mit Einschränkung, nicht erhaltungswürdig) in Prozent (n= 120)

4.3 Ergebnisse des Farbpenetrationstests

An 66 Zähnen, die nach der Kausimulation mit „kein Versagen“ oder subkritischer Kronenfraktur im Bereich der Verblendung („Krone frakturiert“) klassifiziert wurden, erfolgte nach der Farbpenetration mit Methylenblau eine Segmentierung in 3 Teile.

Bei einem Zahn (entspricht 1,5 %) wurde im Rahmen des Farbpenetrationstests nachträglich eine Wurzelfraktur in Form einer durchgängigen Längsfissur diagnostiziert.

Die Segmente von 13 Proben (entspricht 19,7 %) wiesen keinerlei Farbeintritt auf.

In 20 Fällen (entspricht 30,3 %) konnte eine Farbpenetration sowohl des Kronenrandes, des Interface Dentin-Aufbaufüllung, des Kanaleingangs sowie des zentralen Wurzelkanaldentins 2 mm unterhalb des Kanaleingangs detektiert werden.

Zweimal (entspricht 3 %) war nur der Bereich des Kronenrandes angefärbt, sechs Mal (entspricht 9,1 %) trat die Färbung über den Kronenrand bis zur Kontaktfläche zwischen Dentin und Aufbaukomposit ein. In vier Fällen (entspricht 6,1 %) konnte ein Farbverlauf vom Kronenrand, über das Interface Dentin-Aufbau bis zum Kanaleingang festgestellt werden.

Bei den restlichen 20 (entspricht 30,3 %) Zähnen konnte kein fortlaufendes Muster der Farbpenetration festgestellt werden. Es kam zum Farbeintritt an verschiedenen Stellen innerhalb des endodontischen Systems, die scheinbar nicht miteinander kommunizierten.

Es konnte kein eindeutiger Trend zu besonders repräsentativen Farbpenetrationsmustern in Bezug auf die verschiedenen Gruppen detektiert werden. Allerdings war eine gewisse Häufung von positiver Penetration des Farbstoffs über das durch die Ferrule-Präparation gefasste Dentin zu sehen. Hierbei diffundierte das Methylenblau über die kürzeste Strecke vom Kronenrand zum Wurzelkanal, analog dem Verlauf der Dentintubuli (siehe Abbildung 12).

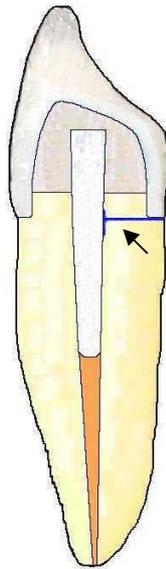


Abbildung 12: Typisches Farbdiffusionsmuster bei einer Ferrule Präparation im Schema, Methylenblauspuren fanden sich überwiegend auf der Strecke zwischen Kronenrand und Wurzelkanal (Pfeil)

4.4 Ergebnisse in Abhängigkeit der verschiedenen Parameter

4.4.1 Einfluss der Wurzeldimensionen und des Stiftdurchmessers auf die Überlebensdauer

Sowohl im Hinblick auf die erreichte Zyklenzahl, als auch auf die Versagemuster und die postexperimentelle Erhaltungswürdigkeit der Zähne, konnte kein signifikanter Zusammenhang zur Wurzellänge, zum mesio-distalen Wurzeldurchmesser und zum Wurzeldurchmesser drei mm vor dem Apex gezeigt werden.

Allerdings ergab sich eine signifikante Abhängigkeit des oro-vestibulären Wurzeldurchmessers zur erreichten Zyklenzahl ($p= 0,004$) sowie zu dem Versagemuster ($p= 0,000$) und zur klinischen Erhaltungswürdigkeit ($p= 0,030$). Zähne mit größerem oro-

vestibulären Wurzelndurchmesser erreichten im Allgemeinen eine höhere Zyklenzahl, wiesen mildere Versagensmodi und eine bessere klinische Erhaltungswürdigkeit auf.

Weiterhin zeigte sich, dass die Verwendung der Stifte in unterschiedlicher ISO-Größe keinen signifikanten Unterschied in den Ergebnissen brachte.

4.4.2 Einfluss des Stiftsystems auf die Versagenhäufigkeit

Im Rahmen der statistischen Analyse zeigte sich, dass ein signifikanter Zusammenhang besteht zwischen der Wahl des Stiftsystems und der erreichten Zyklenzahl ($p=0,014$). Ebenso konnte eine signifikante Verknüpfung zwischen den jeweiligen Stiftarten und den Versagenkriterien festgestellt werden ($p= 0,00$). Der Zusammenhang zwischen dem Stiftsystem und dem klinischen Erhalt des Zahnes kann ebenfalls als hochsignifikant ($p= 0,002$) angesehen werden. Zähne, die mit DentinPost-Stiften versorgt waren, wiesen beispielsweise weniger Versagemuster auf als solche, die mit DT-Light Post-Stiften versorgt wurden.

Zu den meisten Ausfällen kam es bei den Proben, welche mit dem CeraPost-System restauriert wurden.

a) CeraPost-Stifte

Tabelle 10: Übersicht über die prozentuale Erfolgs- und Misserfolgsverteilung der CeraPost-Proben; zu 100 % fehlende Prozente: Komplikationen der Kronenversorgung. Die Überlebensrate ist definiert als „kein Versagen bei oder nach thermo-mechanischer Wechsellast zu erkennen“.

	Überlebensrate	Stiftlockerung	Stiftfraktur	Wurzelfraktur
Insgesamt	27,5 %	30 %	17,5 %	10 %
Bei konventioneller Stiftzementierung	10 %	35 %	35 %	15 %
Bei adhäsiver Stiftzementierung	45 %	25 %	0 %	5 %
Bei Ferrule- Präparation	50 %	15 %	10 %	15 %
Bei non-Ferrule- Präparation	5 %	45 %	25 %	5 %

Von den insgesamt 40 Proben, die mit Stiften der Sorte CeraPost versorgt waren, blieben nach Durchlaufen des Thermocyclers und des Kausimulators elf Proben (entspricht 27,5 %) unversehrt. 29 von 40 Zähnen (entspricht 72,5 %) fielen im Laufe der thermo-mechanischen Belastung aus.

Tabelle 11: Übersicht über die prozentuale Erfolgs- und Misserfolgsverteilung in den CeraPost-Gruppen.

Zu 100 % fehlende Prozente: Komplikationen der Kronenversorgung. Abkürzung der

Gruppenbezeichnung: CP = CeraPost, k = Ketac Cem, p = Panavia F2, f = Ferrule, nf = non Ferrule

	Gruppe I CP-k-f	Gruppe II CP-k-nf	Gruppe III CP-p-f	Gruppe IV CP-p-nf
Überlebensrate	20 %	0 %	80 %	10 %
Stiftlockerung	30 %	40 %	0 %	50 %
Stiftfraktur	20 %	50 %	0 %	0 %
Wurzelfraktur	20 %	10 %	10 %	0 %

Das CeraPost-System zeigte innerhalb seiner Gruppe die wenigsten Ausfälle (20 % ohne jegliches Versagen) in Zusammenhang mit einer adhäsiven Befestigung durch Panavia F2 und einer Fassung des Kompositaufbaus durch ein Ferrule-Design.

Die meisten Misserfolge (100 %) zeigte das CeraPost-System gruppenintern in Kombination mit der Befestigung durch Glasionomermazement, wenn auf das Ferrule-Design verzichtet wurde. Immerhin 20 % zeigten keine Misserfolge, wenn zusätzlich ein Ferrule-Design präpariert wurde.

Bei Proben, die mit konventionell befestigten CeraPost-Stiften versorgt waren, konnten gehäuft Stiftdezementierungen und überdurchschnittlich oft Wurzelfrakturen nachgewiesen werden. Intraradikuläre Stiftfrakturen (n= 6) waren in der gesamten Studie ausschließlich bei konventionell zementierten CeraPost-Stiften festzustellen. Die einzige Längsfraktur einer Wurzel, die während der Belastungen aufgetreten war, konnte an einem Zahn mit der Kombination von adhäsiv befestigtem CeraPost-Stift mit Ferrule-Design detektiert werden.

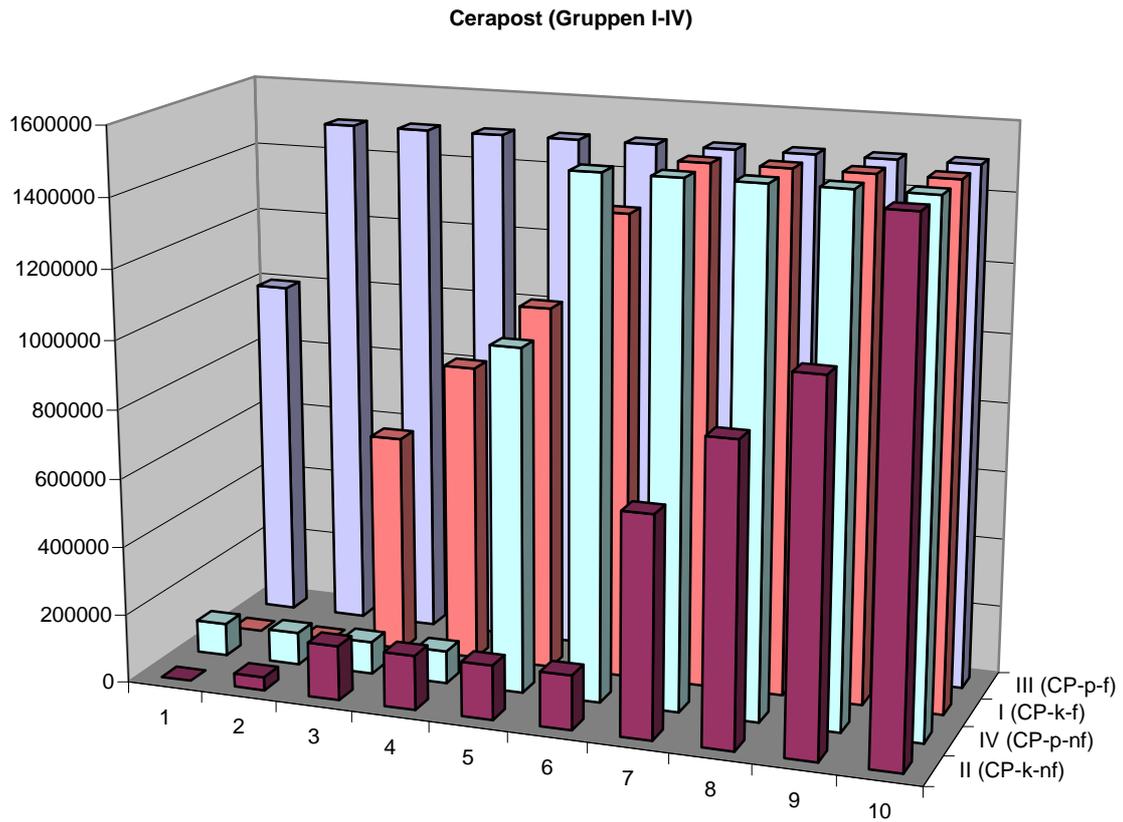


Abbildung 13: grafische Darstellung der erreichten Zyklenzahl (Y-Achse) aller mit CeraPost-Stiften versorgter Proben (n= 40). Vergleich der vier Gruppen untereinander, die sich in Befestigungsart und Präparationsmodus unterscheiden (Gruppe I: Ketac Cem, Ferrule; Gruppe II: Ketac Cem, non Ferrule; Gruppe III: Panavia F2, Ferrule; Gruppe IV: Panavia F2, non Ferrule)

b) DentinPost-Stifte

Tabelle 12: Übersicht über die prozentuale Erfolgs- und Misserfolgverteilung der DentinPost-Proben; zu 100 % fehlende Prozente: Komplikationen der Kronenversorgung. Die Überlebensrate ist definiert als „kein Versagen bei oder nach thermo-mechanischer Wechsellast zu erkennen“.

	Überlebensrate	Stiftlockerung	Stiftfraktur	Wurzelfraktur
Insgesamt	77,5 %	5 %	7,5 %	5 %
Bei konventioneller Stiftzementierung	85 %	5 %	5 %	5 %
Bei adhäsiver Stiftzementierung	70 %	5 %	10 %	5 %
Bei Ferrule- Präparation	90 %	0 %	0 %	5 %
Bei non-Ferrule- Präparation	65 %	10 %	15 %	5 %

Von den 40 Zähnen, bei denen DentinPost-Stifte inseriert wurden, wiesen 31 Exemplare (entspricht 77,5 %) nach thermo-mechanischer Belastung keine Mängel auf. Neun Zähne (entspricht 22,5 %) erreichten nicht die maximal mögliche Zyklenzahl.

Tabelle 13: Übersicht über die prozentuale Erfolgs- und Misserfolgverteilung in den DentinPost-Gruppen. Zu 100 % fehlende Prozente: Komplikationen der Kronenversorgung. Abkürzung der Gruppenbezeichnung: CP = CeraPost, k = Ketac Cem, p = Panavia F2, f = Ferrule, nf = non Ferrule

	Gruppe V DP-k-f	Gruppe VI DP-k-nf	Gruppe VII DP-p-f	Gruppe VIII DP-p-nf
Überlebensrate	100 %	70 %	80 %	60 %
Stiftlockerung	0 %	10 %	0 %	10 %
Stiftfraktur	0 %	10 %	0 %	20 %
Wurzelfraktur	0 %	10 %	10 %	0 %

Im gruppeninternen Vergleich konnte festgestellt werden, dass konventionell befestigte DentinPost-Stifte etwa 15 % weniger Ausfälle zeigten als adhäsiv befestigte. Die einzige Gruppe der gesamten Studie, in der alle Zähne intakt blieben, war Gruppe V (DentinPost, Ketac Cem, Ferrule). Die beiden DentinPost-Gruppen, bei denen auf eine Fassung des Kompositaufbaus verzichtet wurde, präsentierten häufiger Ausfälle durch Stiftdezementierung, Stiftfraktur und Wurzelfraktur (in Form eines Vestibulären chippings) als jene mit Wurzelfassung.

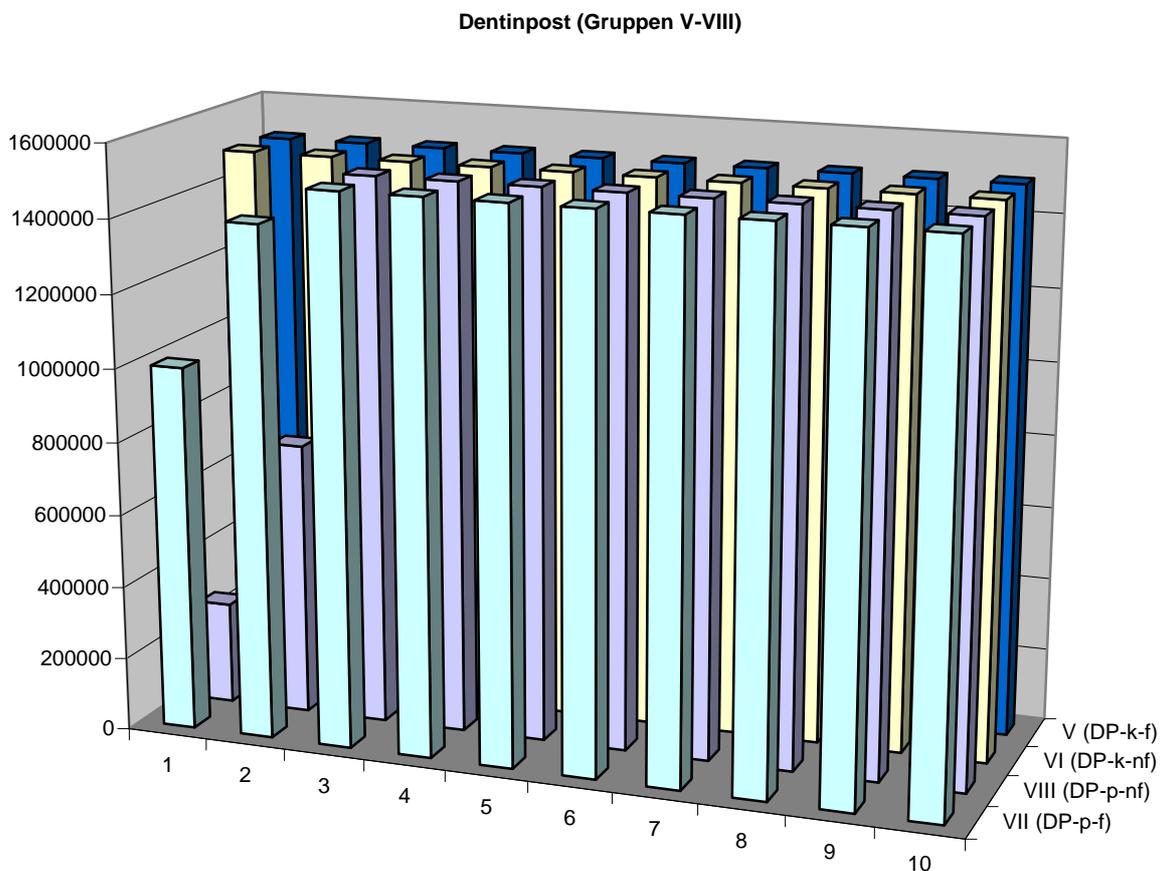


Abbildung 14: grafische Darstellung der erreichten Zyklenzahl (Y-Achse) aller mit DentinPost-Stiften versorgter Proben (n= 40). Vergleich der vier Gruppen untereinander, die sich in Befestigungsart und Präparationsmodus unterscheiden (Gruppe V : Ketac Cem, Ferrule; Gruppe VI: Ketac Cem, non Ferrule; Gruppe VII: Panavia F2, Ferrule; Gruppe VIII: Panavia F2, non Ferrule)

c) DT-Light Post-Stifte

Tabelle 14: Übersicht über die prozentuale Erfolgs- und Misserfolgsverteilung der DT-Light Post-Proben; zu 100 % fehlende Prozente: Komplikationen der Kronenversorgung. Die Überlebensrate ist definiert als „kein Versagen bei oder nach thermo-mechanischer Wechsellast zu erkennen“.

	Überlebensrate	Stiftlockerung	Stiftfraktur	Wurzelfraktur
Insgesamt	52,5 %	25 %	15 %	5 %
Bei konventioneller Stiftzementierung	35 %	35 %	20 %	5 %
Bei adhäsiver Stiftzementierung	70 %	15 %	10 %	5 %
Bei Ferrule- Präparation	75 %	15 %	0 %	5 %
Bei non-Ferrule- Präparation	30 %	35 %	30 %	5 %

Von den 40 Proben, die mit DT-Light Post-Stiften versorgt wurden, blieben nach Durchlaufen der thermo-mechanischen Wechsellast insgesamt 21 Zähne (entspricht 52,5 %) unbeschadet. Die restlichen 19 Exemplare (entspricht 47,5 %) fielen vor Erreichen der 1.500.000 Zyklen aus.

Tabelle 15: Übersicht über die prozentuale Erfolgs- und Misserfolgsverteilung in den DT-Light Post-Gruppen. Zu 100 % fehlende Prozente: Komplikationen der Kronenversorgung. Abkürzung der Gruppenbezeichnung: CP = CeraPost, , k = Ketac Cem, p = Panavia F2, f = Ferrule, nf = non Ferrule

	Gruppe IX DTLP-k-f	Gruppe X DTLP-k-nf	Gruppe XI DTLP-p-f	Gruppe XII DTLP-p-nf
Überlebensrate	60 %	10 %	90 %	50 %
Stiftlockerung	20 %	50 %	10 %	20 %
Stiftfraktur	0 %	40 %	0 %	20 %
Wurzelfraktur	10 %	0 %	0 %	10 %

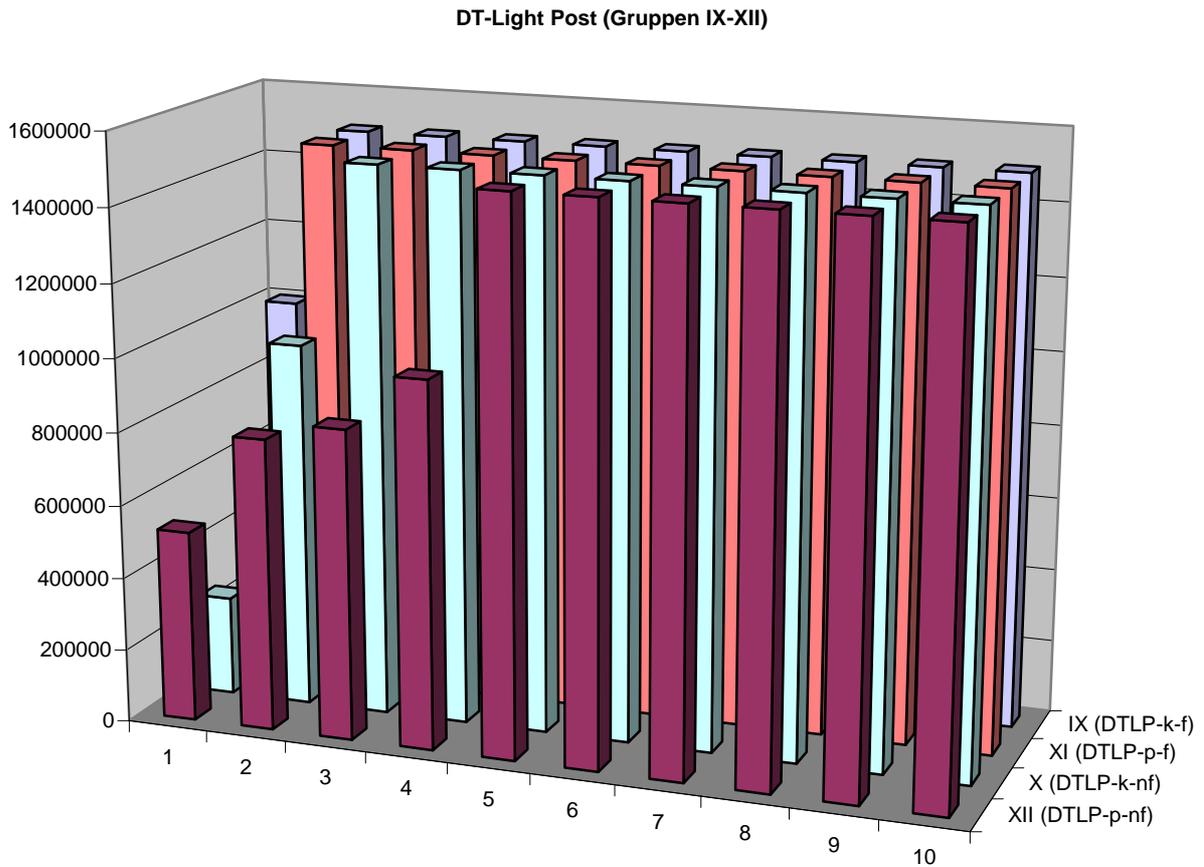


Abbildung 15: grafische Darstellung der erreichten Zyklenzahl (Y-Achse) aller mit DT-Light Post versorgter Proben (n= 40). Vergleich der vier Gruppen untereinander, die sich in Befestigungsart und Präparationsmodus unterscheiden (Gruppe IX: Ketac Cem, Ferrule; Gruppe X: Ketac Cem, non Ferrule; Gruppe XI: Panavia F2, Ferrule; Gruppe XII: Panavia F2, non Ferrule)

Mit 70 % erreichten wesentlich mehr Proben unversehrt die maximale Zyklenzahl, wenn DT-Light Post-Stifte adhäsiv befestigt wurden im Vergleich zur konventionellen Zementierung (35 %). Weiterhin zeigte es sich gruppenintern, dass Zähne mit Ferrule-Präparation weniger zu Ausfällen durch Stiftdezementierungen neigten (15 %) als solche, bei denen auf eine Fassung des plastischen Aufbaus verzichtet wurde (35 %).

Innerhalb der mit dem DT-Light Post-System restaurierten Zahngruppen kam es auffällig häufig zu supradikulären Stiftfrakturen (30 %), und zwar ausschließlich in den Gruppen, deren Proben nicht mit einem Ferrule-Design bedacht wurden. Hierbei konnte ausserdem

festgestellt werden, dass die adhäsiv inserierten Stifte deutlich weniger (10 %) zu solchen Frakturen neigten, als die konventionell zementierten (20 %).

4.4.3 Einfluss der Befestigungsart auf die Versagenshäufigkeit

Zwischen der Befestigungsweise (adhäsiv/ konventionell) des Stiftes und der maximal erreichten Zyklenzahl konnte kein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden. Es konnte jedoch eine Signifikanz zwischen der Befestigung des Stiftes und dem Versagemuster aufgezeigt werden ($p= 0,02$). Die adhäsive Befestigung der Stift führte im Allgemeinen zu weniger Ausfällen und zu „milderen“ Versagemustern als die konventionelle Zementierung.

Die Auswertung der Ergebnisse ergab ausserdem einen signifikanten Zusammenhang ($p= 0,01$) zwischen Befestigungsart des Stiftes und der postexperimentellen Erhaltungswürdigkeit des Zahnes. Zähne mit adhäsiv befestigten Stiften wiesen nach der thermomechanischen Belastungssimulation einen besseren Zustand auf als solche mit konventionell zementierten Stiften.

4.4.4 Einfluss der Präparation auf die Versagenshäufigkeit

Das Präparationsdesign und die erreichte Zyklenzahl stehen in einem signifikanten Zusammenhang zueinander ($p= 0,04$). Zwischen der Präparation und der Art des Versagens konnte sogar eine hohe Signifikanz ($p= 0,00$) festgestellt werden.

Ebenso hoch signifikant war die Beziehung zwischen dem Präparationstyp und der postexperimentellen Erhaltungswürdigkeit der Proben ($p= 0,00$).

Die Präparation eines Ferrule-Designs führte zu einer Erhöhung der maximal erreichten Zyklenzahl. Proben mit Ferrule-Design versagten –wenn überhaupt- später und weniger gravierend als Proben ohne Ferrule-Design.

4.4.5 Vergleich der verschiedenen Gruppen untereinander

Die Auswertung der unterschiedlichen Gruppen in Bezug auf die erreichte Zyklenzahl, die aufgetretenen Versagemuster und der klinische Zustand nach thermo-mechanischer Wechsellast ergab folgende Ergebnisse:

Es fällt besonders ins Auge, dass sich viele signifikante und hoch signifikante Zusammenhänge ergeben, wenn man die Proben der Gruppe II (CeraPost, KetacCem, non-Ferrule) mit den restlichen Gruppen vergleicht. In der Gruppe II kam es zu einer signifikanten Häufung von frühem Versagenszeitpunkt, ungünstigen Versagensmustern und somit einer schlechteren Erhaltungsprognose.

Alle signifikanten Zusammenhänge, die sich beim Vergleich zweier Gruppen untereinander in Bezug auf Versagensmuster, klinische Erhaltungswürdigkeit und erreichte Zyklenzahl ergaben, sind in Tabelle 16 aufgeführt.

Tabelle 16 (folgende Seiten): Ergebnisse des qualitativen Vergleichs zwischen den Versuchsgruppen in Bezug auf Versagensmuster, postexperimentelle Erhaltungswürdigkeit und erreichte Zyklenzahl.

Abkürzung der Gruppenbezeichnung: CP = CeraPost, DP = DentinPost, DTLP = DT-Light Post, k = Ketac Cem, p = Panavia F2, f = Ferrule, nf = non Ferrule

Legende: keine Signifikanz = - , Signifikanz = + , hohe Signifikanz = ++

Gruppenvergleich	Versagensranking	Klinischer Erhalt	Erreichte Zyklenzahl
Gruppe I vs. Gruppe II (CP-k-f vs. CP-k-nf)	-	-	-
Gruppe I vs. Gruppe III (CP-k-f vs. CP-p-f)	+	++	-
Gruppe I vs. Gruppe IV (CP-k-f vs. CP-p-nf)	-	-	-
Gruppe I vs. Gruppe V (CP-k-f vs. DP-k-f)	++	++	+
Gruppe I vs. Gruppe VI (CP-k-f vs. DP-k-nf)	-	-	-
Gruppe I vs. Gruppe VII (CP-k-f vs. DP-p-f)	+	++	-
Gruppe I vs. Gruppe VIII (CP-k-f vs. DP-p-nf)	-	-	-
Gruppe I vs. Gruppe IX (CP-k-f vs. DTLP-k-f)	-	-	-
Gruppe I vs. Gruppe X (CP-k-f vs. DTLP-k-nf)	-	-	-
Gruppe I vs. Gruppe XI (CP-k-f vs. DTLP-p-f)	++	+	-
Gruppe I vs. Gruppe XII (CP-k-f vs. DTLP-p-nf)	-	-	-
Gruppe II vs. Gruppe III (CP-k-nf vs. CP-p-f)	++	++	++
Gruppe II vs. Gruppe IV (CP-k-nf vs. CP-p-nf)	+	+	-
Gruppe II vs. Gruppe V (CP-k-nf vs. DP-k-f)	++	++	++

Gruppe II vs. Gruppe VI (CP-k-nf vs. DP-k-nf)	++	++	++
Gruppe II vs. Gruppe VII (CP-k-nf vs. DP-p-f)	++	++	++
Gruppe II vs. Gruppe VIII (CP-k-nf vs. DP-p-nf)	++	++	++
Gruppe II vs. Gruppe IX (CP-k-nf vs. DTLP-k-f)	++	++	++
Gruppe II vs. Gruppe X (CP-k-nf vs. DTLP-k-nf)	-	-	++
Gruppe II vs. Gruppe XI (CP-k-nf vs. DTLP-p-f)	++	++	++
Gruppe II vs. Gruppe XII (CP-k-nf vs. DTLP-p-nf)	++	+	++
Gruppe III vs. Gruppe IV (CP-p-f vs. CP-p-nf)	++	+	-
Gruppe III vs. Gruppe V (CP-p-f vs. DP-k-f)	-	-	-
Gruppe III vs. Gruppe VI (CP-p-f vs. DP-k-nf)	-	-	-
Gruppe III vs. Gruppe VII (CP-p-f vs. DP-p-f)	-	-	-
Gruppe III vs. Gruppe VIII (CP-p-f vs. DP-p-nf)	-	-	-
Gruppe III vs. Gruppe IX (CP-p-f vs. DTLP-k-f)	-	-	-
Gruppe III vs. Gruppe X (CP-p-f vs. DTLP-k-nf)	++	++	-
Gruppe III vs. Gruppe XI (CP-p-f vs. DTLP-p-f)	-	-	-
Gruppe III vs. Gruppe XII (CP-p-f vs. DTLP-p-nf)	-	-	-
Gruppe IV vs. Gruppe V (CP-p-nf vs. DP-k-f)	0	+	+
Gruppe IV vs. Gruppe VI (CP-p-nf vs. DP-k-nf)	+	-	-

Gruppe IV vs. Gruppe VII (CP-p-nf vs. DP-p-f)	++	+	-
Gruppe IV vs. Gruppe VIII (CP-p-nf vs. DP-p-nf)	+	-	-
Gruppe IV vs. Gruppe IX (CP-p-nf vs. DTLP-k-f)	-	-	-
Gruppe IV vs. Gruppe X (CP-p-nf vs. DTLP-k-nf)	-	-	-
Gruppe IV vs. Gruppe XI (CP-p-nf vs. DTLP-p-f)	++	-	-
Gruppe IV vs. Gruppe XII (CP-p-nf vs. DTLP-p-nf)	+	-	-
Gruppe V vs. Gruppe VI (DP-k-f vs. DP-k-nf)	-	-	-
Gruppe V vs. Gruppe VII (DP-k-f vs. DP-p-f)	-	-	-
Gruppe V vs. Gruppe VIII (DP-k-f vs. DP-p-nf)	-	-	-
Gruppe V vs. Gruppe IX (DP-k-f vs. DTLP-k-f)	-	-	-
Gruppe V vs. Gruppe X (DP-k-f vs. DTLP-k-nf)	++	++	-
Gruppe V vs. Gruppe XI (DP-k-f vs. DTLP-p-f)	-	-	-
Gruppe V vs. Gruppe XII (DP-k-f vs. DTLP-p-nf)	+	+	-
Gruppe VI vs. Gruppe VII (DP-k-nf vs. DP-p-f)	-	-	-
Gruppe VI vs. Gruppe VIII (DP-k-nf vs. DP-p-nf)	-	-	-
Gruppe VI vs. Gruppe IX (DP-k-nf vs. DTLP-k-f)	-	-	-
Gruppe VI vs. Gruppe X (DP-k-nf vs. DTLP-k-nf)	+	++	-
Gruppe VI vs. Gruppe XI (DP-k-nf vs. DTLP-p-f)	-	-	-

Gruppe VI vs. Gruppe XII (DP-k-nf vs. DTLP-p-nf)	-	-	-
Gruppe VII vs. Gruppe VIII (DP-p-f vs. DP-p-nf)	-	-	-
Gruppe VII vs. Gruppe IX (DP-p-f vs. DTLP-k-f)	-	-	-
Gruppe VII vs. Gruppe X (DP-p-f vs. DTLP-k-nf)	++	++	-
Gruppe VII vs. Gruppe XI (DP-p-f vs. DTLP-p-f)	-	-	-
Gruppe VII vs. Gruppe XII (DP-p-f vs. DTLP-p-nf)	-	-	-
Gruppe VIII vs. Gruppe IX (DP-p-nf vs. DTLP-k-f)	-	-	-
Gruppe VIII vs. Gruppe X (DP-p-nf vs. DTLP-k-nf)	+	+	-
Gruppe VIII vs. Gruppe XI (DP-p-nf vs. DTLP-p-f)	-	-	-
Gruppe VIII vs. Gruppe XII (DP-p-nf vs. DTLP-p-nf)	-	-	-
Gruppe IX vs. Gruppe X (DTLP-k-f vs. DTLP-k-nf)	++	++	-
Gruppe IX vs. Gruppe XI (DTLP-k-f vs. DTLP-p-f)	-	-	-
Gruppe IX vs. Gruppe XII (DTLP-k-f vs. DTLP-p-nf)	-	-	-
Gruppe X vs. Gruppe XI (DTLP-k-nf vs. DTLP-p-f)	++	++	-
Gruppe X vs. Gruppe XII (DTLP-k-nf vs. DTLP-p-nf)	-	-	-
Gruppe XI vs. Gruppe XII (DTLP-p-f vs. DTLP-p-nf)	-	-	-

5 Diskussion

5.1 Grundlagen

5.1.1 Indikation von Stiftsystemen

Lange Zeit ging man davon aus, dass Wurzelstifte zur Stabilisierung von endodontisch behandelten Zähnen grundsätzlich förderlich sind. Es wurde befürchtet, dass es durch den Vitalitätsverlust zu einer allmählichen Versprödung der Zahnhartsubstanz und alleine durch diesen „Pathomechanismus“ zu einer erhöhten Frakturanfälligkeit komme. Diese Hypothese wurde jedoch vielfach angezweifelt (Fusayama und Maeda ,1969; Sedgley und Messer, 1992). Heutzutage sind sich die meisten Autoren einig, dass eine endodontische Behandlung keinen maßgeblichen Einfluss auf die werkstoffkundlichen Eigenschaften des Dentins hat. Man nahm früher aus rein mechanischen Überlegungen an, dass ein intraradikulärer Stift die Wurzel stabilisiert und Wurzelfrakturen auf diese Weise reduziert werden können. Zahlreiche Untersuchungen (Guzy und Nicholls, 1979; Lovdahl und Nicholls, 1977; Sidoli et al., 1997; Trope et al., 1985; Viguie et al., 1994; Moosavi et al., 2008) belegen jedoch im Gegenteil, dass Wurzelkanalstifte per se einen schwächenden Effekt für die Restwurzel besitzen. Dies wird überwiegend auf den Substanzabtrag im Rahmen der Stiftbohrung zurückgeführt.

Zusätzlich zu der mechanischen Schwächung durch Präparationsmaßnahmen belegten Meira et al. (2008) in Finite-Elemente-Simulationen einen Keileffekt („wedge effect“), der durch Stiftinvasion in der Wurzel auftritt und Wurzellängsfrakturen bewirken kann.

Der koronale Zerstörungsgrad wurde bei vielen Konzepten jedoch oftmals nicht berücksichtigt. Dies wird in letzter Zeit zunehmend kritisch betrachtet.

Die Deutsche Gesellschaft für Zahn-Mund- und Kieferheilkunde schlägt in ihrer Stellungnahme zum Aufbau endodontisch behandelter Zähne (Edelhoff et al., 2003) vor, sich bei der Indikationsstellung für einen intraradikulären Stift primär nach dem klinischen Zerstörungsgrad der Krone zu richten. Bei Zähnen mit geringem oder mittlerem Destruktionsgrad könne in den meisten Fällen auf einen Wurzelstift verzichtet werden, wenn eine adhäsive Stabilisierung der restlichen Zahnhartsubstanz erfolgt (Cathro et al., 1996; Dean et al., 1998). Liegt ein starker Zerstörungsgrad der klinischen Krone vor, so wird zur besseren Verankerung des Aufbaus ein Wurzelkanalstift empfohlen (Creugers et al., 1993; Weigl und Heidemann, 2001). Endodontisch behandelte Frontzähne nehmen hier eine Sonderrolle ein.

Aufgrund der vor allem auf obere mittlere Schneidezähne wirkenden ungünstigen extraaxialen Kräfte kommt es im Vergleich zu anderen Zahngruppen häufiger zu Misserfolgen durch Dezementierung des Wurzelstiftes oder Frakturen (Boldt et al., 2007). Die Überlebensrate restaurativ versorgter endodontisch behandelter Frontzähne ist somit schlechter als die von posterior gelegenen Zähnen. Dies wurde in klinischen Studien bestätigt (Naumann et al., 2005).

In der vorliegenden Studie wurde ein starker Destruktionsgrad simuliert, indem die Zähne an der Schmelz-Zement-Grenze dekapitiert wurden. Diese Situation stellt klinisch eine besondere Herausforderung dar und gleicht einem „worst-case“-Szenario aus restaurativer Sicht. Die einzige wissenschaftlich abgesicherte Therapieoption zum Erhalt solcher Zähne stellt die Insertion eines intraradikulären Stiftes mit anschließender Überkronung dar (Cvetkovič und Takmiscija, 1970; Aquilino und Caplan, 2002). Als Differentialtherapie käme ansonsten nur die Extraktion des Zahnes in Frage.

Laut einer Umfrage aus dem Jahr 2002 (Naumann und Lange, 2003) ist immer noch jeder vierte deutsche Zahnarzt der Meinung, dass bei der postendodontischen Versorgung ein Wurzelkanalstift unabhängig vom Destruktionsgrad des Zahnes unabdingbar ist. Vor allen Dingen Kollegen, deren Studium länger zurückliegt, sind nach Aussage der Autoren neueren (zum Beispiel adhäsiven) Konzepten gegenüber eher zurückhaltend eingestellt.

5.1.2 Metallische Stiftsysteme versus non-metallische Stiftsysteme

Lange Zeit galten metallische Wurzelstifte zur Versorgung endodontisch behandelter Zähne als Behandlungsstandard. Für diese Therapieoption liegen jahrzehntelange Erfahrungen vor (Wiland, 1966; Harris, 1970; Snawder und Gonzalez, 1975). Eine sichere Biokompatibilität ist nicht bei allen Metallstiften gegeben, so daß Korrosionsphänomene in vivo auftreten können (Wirz et al., 1980). Vor allem unedle Metallverbindungen neigen zu oxidativen Veränderungen (Silness et al., 1979; Luu und Walker, 1992). Sämtliche Metalle weisen einen dem Dentin mehr oder weniger unähnlichen Elastizitätsmodul auf. Die bei axialer und besonders bei extraaxialer Belastung (Torbjörner und Fransson, 2004) auftretenden Kraftspitzen werden in der Literatur auch als „wedge effect“ (Keileffekt) bezeichnet (Meira et al., 2008). In Folge dessen konnten häufig Wurzelfrakturen beobachtet werden. Axelsson et al. (2004) untersuchten über einen Zeitraum von 30 Jahren die Effizienz von Prophylaxemaßnahmen an einem großen Patientenkollektiv und stellten nebenbefundlich fest,

dass die Hauptursache für Zahnverlust die Wurzellängsfraktur bei konventioneller intraradikulärer Stiftverankerung war. Aufgrund des langen Untersuchungszeitraumes muß man davon ausgehen, dass in dieser Studie hauptsächlich metallische Stifte kontrolliert wurden.

In ästhetisch relevanten Bereichen sind die fehlende Transluzenz sowie die möglicherweise durch das zervikale Dentin schimmernde metallische Farbe nachteilig.

Seit dem Aufkommen alternativer Materialien, wie z.B. Keramik oder Verbundkunststoffen, wird die Verwendung metallischer Stiftaufbauten zunehmend kritisch betrachtet. Rosentritt et al. (2004) konnten belegen, dass die Verwendung von zahnfarbenen Stiften die Frakturresistenz der Zähne erhöht. Bei Zähnen, die mit Titanstiften oder ohne Wurzelkanalstift versorgt wurden, konnten die Autoren eine höhere Frakturanfälligkeit messen. Neuere Materialien wie faserverstärkte Kunststoffe besitzen einen dem Dentin sehr ähnlichen Elastizitätsmodul (Viguie et al., 1994). Bei einer kürzlich von Cagidiaco et al. (2008) durchgeführten Literaturstudie zum Themenbereich Wurzelkanalstifte kam man zu dem Ergebnis, dass faserverstärkte Kompositstifte besonders bei einem hohen koronalen Destruktionsgrad vor Wurzelfrakturen schützen. Die Hauptursache für Misserfolge bei der Versorgung der Zähne mit intraradikulären Stiften war die Dezementierung der Stifte. Diese Erkenntnisse stimmen mit denen der vorliegenden Studie überein: faserverstärkte Wurzelkanalstifte konnten hier ebenfalls Wurzelfrakturen minimieren und die häufigsten Mißerfolge waren Retentionsverluste der Stifte.

Der Hauptgrund für den positiven Effekt von Kompositstiften auf die Bruchfestigkeit endodontisch behandelter Zähne ist demzufolge in einem dem Dentin sehr ähnlichen Elastizitätsmodul zu sehen (Asmussen et al., 1999; Dietschi et al., 2007).

Aus diesem Grund kamen in der vorliegenden Studie sowohl Stiftmaterialien mit eher günstigem Biegeverhalten wie Komposite, als auch vergleichsweise rigide Stifte aus hochfester Oxidkeramik zur Anwendung.

Um den zunehmenden Bedürfnissen vieler Patienten nach hoch ästhetischen und modernen „Hightech“ Werkstoffen Rechnung zu tragen, wurden in der vorliegenden Studie ausschließlich zahnfarbene und somit nicht-metallische Stiftsysteme verwendet.

5.1.3 Konventionelle Stiftbefestigung versus adhäsive Stiftbefestigung

Metallische und nichtmetallische Stiftsysteme können sowohl konventionell als auch adhäsiv befestigt werden. Der Vorteil der adhäsiven Befestigung ist im chemischen Verbund mit der

Zahnhartsubstanz zu sehen, hierbei bilden Zahnwurzel und Stift im Idealfall einen sogenannten Monoblock (Tay und Pashley, 2007). Oftmals sind jedoch die Voraussetzungen zu einem optimalen adhäsiven Verbund zwischen Wurzelentin und Stiftsystem nicht ideal gegeben; in vielen Fällen ist eine absolute Trockenlegung der Klebeflächen mittels Kofferdam klinisch nicht zu erreichen. Die auch schon in gut einsehbaren Bereichen techniksensitive (Feruse et al., 2008) Anwendung der verschiedenen Adhäsivkomponenten kann in der Tiefe des Wurzelkanals optisch nicht erfasst und somit auch nicht direkt beurteilt werden (Junge et al., 1998; Perdigão et al., 2007). Eine Inhomogenität des intraradikulären Dentinbondings, die Shono et al. (1999) nachweisen konnten, stellt einen unberechenbarer Faktor in der postendodontischen Therapie dar, ihr Einfluss kann jedoch anscheinend im Bezug auf die Stärke des Haftverbundes im Wurzelkanal vernachlässigt werden (Aksornmuang et al., 2008). Bei jeder rotierenden Dentinbearbeitung entsteht eine unerwünschte Schmierschicht, auch als smearlayer bezeichnet, deren Entfernung für einen homogenen Haftverbund zwischen Befestigungskomposit und Wurzelentin notwendig ist. Goracci et al. (2005) und Bartolotto et al. (2009) betrachten die Verwendung von selbststützenden all-in-one Adhäsiven als kritisch, da diese den smearlayer nicht vollständig eliminieren können und in Folge dessen Fehlstellen im adhäsiven Verbund entstehen können. Ob dies allerdings klinische Relevanz besitzt, ist bislang nicht geklärt (Shono et al., 1999; Yang et al., 2006). Sahafi et al. (2005) konnten feststellen, dass die Oberflächenbehandlung von Stiften zu einer Reduktion von Misserfolgen führt. Allerdings befürchtet die Forschergruppe um Sahafi, daß eine Verbesserung der Haftwerte am Interface zwischen Stift und Komposit zu einer Verschiebung der Schwachstelle des Haftverbundes zum Interface zwischen Dentin und Komposit führen könne.

Adhäsive Behandlungsmethoden sind techniksensitiv; trotzdem konnten Simonetti et al. (2006) in einer In-vitro-Untersuchung zur Abhängigkeit der zahnärztlichen Behandlungserfahrung zum Erfolg des adhäsiven Vorgehens feststellen, dass die Erfahrung des Behandlers unter Laborbedingungen keinen signifikanten Einfluß auf die Ergebnisse hat. Die konventionelle Befestigungsmethode, beispielsweise mittels Glasionomermzement, gilt als technisch weniger anspruchsvoll sowie als zeitsparende Methode, da man nur ein Medium zwischen Stift und Zahnhartsubstanz einbringt. Bei der Zementierung handelt es sich jedoch nicht um einen primär chemischen, sondern hauptsächlich um einen mechanischen Verbund (Xie et al., 2000) zwischen den beiden Werkstoffen Stift und Dentin, was häufig zu frühzeitigen Verlusten (Dezementierungen) der Restauration führen kann (Cohen et al., 2000).

In der vorliegenden Studie hatte die Wahl des Befestigungsmaterials große Auswirkungen auf die Ergebnisse. Vor allem der Versagensmodus und die postexperimentelle Erhaltungswürdigkeit variierten stark abhängig vom Befestigungszement. Adhäsiv befestigte Stifte zeigten günstigere Versagensmodi (und somit eine bessere Erhaltungswürdigkeit der Zähne) als konventionell zementierte. Diese These kann von vielen Seiten bestätigt werden (Axelsson et al., 2004; Naumann et al., 2008).

5.1.4 Direkte Stiftsysteme versus indirekte Stiftsysteme

Indirekte Stiftsysteme werden vollständig oder teilweise nach Abformung im zahntechnischen Labor angefertigt. Als Vorteile gelten vor allem die Verkürzung der Behandlungszeit in der Präparationssitzung sowie individuelle Stiftformen bei anatomisch ungünstigen Kanallumina. Gegossenen Stiftaufbauten wird jedoch eine ungünstigere Prognose als konfektionierten Stiften nachgesagt; zu diesem Ergebnis kommen Fokkinga et al. (2004) in einer Literaturübersicht. War früher bei indirekten Stiftsystemen nur die Verwendung von Metallen möglich, so erlauben zeitgemäße Verfahren die Nutzung keramischer indirekter Aufbauten, zum Beispiel durch Anpressen eines Glaskeramikaufbaus an konfektionierte Zirkonoxidstifte (Strub et al., 2001; Nothdurft und Pospiech, 2006). Diese Maßnahme erhöht laut Heydecke et al. (2002) die Überlebensrate der endodontisch behandelten Zähne. Hierbei steht in einem in vitro simulierten Belastungszeitraum von 5 Jahren eine jährliche Verlustrate von 1,24 % für die direkte Anwendung von Zirkonoxidstiften einer jährlichen Verlustrate von 0 % bei indirekter Anwendung der Stifte gegenüber. Diese Verbesserung der Leistungsfähigkeit von Zirkonoxidstiften wurde bereits von Nothdurft und Pospiech (2006) in einer klinischen Pilotstudie bestätigt. Von Seiten des Herstellers der CeraPost-Stifte sind in diesem Fall Zähne mit einem koronalen Zerstörungsgrad von 70-100 % freigegeben, während bei der direkten Verwendung mittels plastischem Kompositaufbau die Anwendung nur für Zähne mit einem maximalen koronalen Zerstörungsgrad von 70 % freigegeben ist.

Da sich das Behandlungsprotokoll bei indirekten Stiften über mehrere Behandlungssitzungen erstreckt, muß der präparierte Zahn und damit das weit eröffnete endodontische System mit einem provisorischen Stift versehen werden. In dieser provisorischen Phase besteht das Risiko einer Rekontamination durch (inkongruente) provisorische Stifte im Sinne eines „coronal leakage“ (Fox und Gutteridge, 1997). Alves et al. (1998), Chailertvanitkul et al. (1996) und Magura et al. (1991) stellten fest, dass temporäre Kronen und Stiftsysteme nur für einen

kurzen Zeitraum in der Lage sind, die Penetration von Flüssigkeiten und somit auch von Mikroorganismen zu verhindern.

Die Notwendigkeit einer intraradikulären Abformung ist techniksensitiv und birgt eine zusätzliche, auch zahntechnische Fehlerquelle.

Direkte Stiftaufbauten sind per definitionem konfektioniert und besitzen somit immer reproduzierbare Materialeigenschaften. Der Querschnitt ist bei allen verfügbaren Systemen kreisrund, dies kann beim Vorliegen aussergewöhnlicher Wurzelkanalquerschnitte von Nachteil sein, da eine ungünstig hohe Menge von Befestigungsmaterial zur Auffüllung der Hohlräume verwendet werden muß. In einer aktuellen Arbeit (Thoma, 2008) konnte jedoch gezeigt werden, dass irregulär geformte Wurzelkanalquerschnitte unter Anwendung der Adhäsivtechnik auch mit konfektionierten Stiften suffizient versorgt werden können. Allerdings wird von der Autorin nach wie vor empfohlen, den Stift in eine möglichst formkongruente Bohrung einzusetzen, um Polymerisationsschrumpfungen zu minimieren. Zumindest an der Kontaktfläche zwischen Glasfaserstift und Befestigungskomposit konnte von Wang et al. (2008) kein klinisch relevanter Einfluß des C-Faktors evaluiert werden.

Von Seiten der Hersteller wird die Verwendung der direkten Stiftsysteme aus Sicherheitsgründen auf einen koronalen Zerstörungsgrad von maximal 70 % limitiert. In der vorliegenden Studie wurde allerdings bewusst zur Schaffung eines „worst-case“-Szenarios ein koronaler Destruktionsgrad von 100 % simuliert.

Bei der klinischen Anwendung von direkten Stiften wird, anders als bei indirekten Stiften, das eröffnete endodontische System zügig bakteriendicht verschlossen und vor einer mikrobiellen (Re-) Kolonisation bewahrt. Allerdings sprechen sich Vano et al. (2008) gegen eine Stiftinsertion im unmittelbaren Anschluß an die Wurzelfüllung aus. Sie fanden in ihrer Untersuchung im Zeitraum von 24 Stunden nach Wurzelkanalobturation vermehrt Sealerreste an den präparierten Kanalwänden vor und empfehlen demzufolge die Stiftinsertion frühestens nach 24 Stunden.

Aufgrund der genannten Vorteile wurden in der vorliegenden Studie ausschliesslich direkte, konfektionierte Stiftsysteme verwendet, so daß bis auf die ästhetische Verblendung der Kronen ein reines „chairside-Protokoll“ verfolgt werden konnte.

5.2 Diskussion von Material und Methodik

Für die Durchführung von In-vitro-Belastungsversuchen an Proben mit postendodontischer Versorgung durch Aufbaustifte gibt es keine genormte Vorgehensweise. Es existieren bis dato lediglich Vorschläge zu einer Standardisierung (Naumann et al., 2002).

5.2.1 Zähne

In der Literatur werden für In-vitro-Studien Zähne verschiedenen Ursprungs verwendet. Diese können vom Schaf, bovin oder human sein. Der Einsatz boviner Zähne aus der Schlachtindustrie beispielsweise hat sicherlich den Vorteil, dass es sich um ein strukturell sehr homogenes Untersuchungsmaterial handelt. Die Tiere werden alle in etwa dem gleichen Alter geschlachtet, die Nahrungsaufnahme ist gleich bleibend und die Proben können in nahezu nativer Form gewonnen werden. Die Sammlung geeigneter extrahierter humaner Zähne gestaltet sich zwar zeitaufwändiger, jedoch hat deren Verwendung den Vorteil, dass die Ausgangssituation am ehesten der In-vivo-Situation entspricht. Das Patientenalter sowie die Indikation zur Extraktion waren höchst unterschiedlich. Genau wie in der Zahnarztpraxis unterschieden sich die zu versorgenden Zähne in der Kaubelastung, der sie qualitativ und quantitativ im Mund ausgesetzt waren sowie in der Wurzelmorphologie. Dies gewährleistete eine heterogene Prüfungsgruppe.

Da die klinische Notwendigkeit von zahnfarbenen Stiften im Molarenbereich zumindest aus ästhetischer Sicht eine eher untergeordnete Rolle spielt, wurden in der vorliegenden Studie lediglich einwurzelige Zähne verwendet.

5.2.2 Inspektion und Lagerung der Proben

Bei der Inspektion der extrahierten Zähne mittels Auflichtmikroskop wurde darauf geachtet, dass diese weitestgehend nativ und deren Wurzeln völlig intakt waren. Es wurden keine Zähne verwendet, die bereits endodontisch behandelt oder prothetisch versorgt waren.

Das Aufbewahrungsmedium sollte eine Dehydratation der Zähne verhindern sowie gleichzeitig desinfizierende Eigenschaften besitzen.

Die Sterilisation im Autoklaven bringt laut Lee et al. (2007) nämlich eine deutliche Verminderung der Dentinhaftwirkung von Adhäsivsystemen mit sich.

Da in der Literatur diskutiert wird, ob eine Lagerung in hochprozentigem Alkohol, Natriumhypochlorit (Lee et al., 2007) oder Wasserstoffperoxid zu einer Veränderung der Ultrastruktur der Zahnhartsubstanz führt, wurden die Zähne post extractionem in 0,1%igem Thymol gelagert.

Santana et al. (2008) konnten erst nach sechsmonatiger Lagerung in Thymol einen negativen Einfluss auf den adhäsiven Verbund zum Dentin nachweisen. Allerdings wurde in dieser Studie lediglich bovines Material untersucht.

5.2.3 Dekapitierung der Zähne

Durch die radikale Dekapitierung in Höhe der Schmelz-Zement-Grenze wurde ein starker Zerstörungsgrad simuliert und somit ein „worst-case“-Szenario geschaffen. Solche Zähne erfüllen teilweise durchaus schon die Indikation zur Extraktion. In der zahnärztlichen Praxis bestimmt der Zerstörungsgrad des koronalen Zahnanteils entscheidend über die Erhaltungswürdigkeit eines Zahnes (Blankenstein et al., 2002)

Aus therapeutischer Sicht konkurriert die Zahnerhaltung mittels endodontischer und anschließender restaurativer Therapie mit den Möglichkeiten der modernen Implantologie (De Moor und De Bruyn, 2008). Bezüglich dieser Entscheidungsfindung existiert nach Aussage der beiden Autoren bislang keine evidenzbasierte wissenschaftliche Absicherung.

5.2.4 Vermessung der Wurzeln

Die Vermessung der Wurzeln mittels einer Schieblehre erlaubte eine erste Katalogisierung der Proben. Um ein günstiges Kronen-Wurzel-Verhältnis zu gewährleisten (Sorensen und Martinoff, 1984), wurden nur Wurzeln mit einer Mindestlänge von 12,6 mm sowie einer maximalen Länge von 19,5 mm verwendet. Caputo und Standlee (1976), Tjan und Whang (1985) sowie Yoldas et al. (2005) konnten nachweisen, dass aus Gründen der Stabilität eine minimale Restdentinstärke von 1 mm nicht unterschritten werden sollte. Da diese zirkuläre Restdentinstärke angestrebt wurde, kamen nur Wurzeln mit einem oro-vestibulären Durchmesser von mindestens 4,1 mm und einem mesio-distalen Durchmesser von mindestens 3,8 mm für die vorliegende Studie in Frage.

Unter Berücksichtigung des krestalen Wurzeldurchmessers erfolgte die Zuteilung der Stifte entsprechend in zwei verschiedenen ISO-Größen. Auf eine übermäßige oder unnötige

Präparation des Wurzelkanallumens wurde verzichtet. Dieses Vorgehen steht im Einklang mit einer Vielzahl von Untersuchungen, die den Substanzabtrag im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung im Allgemeinen und der Stiftbohrung im Speziellen als Hauptursache für die Wurzeldestabilisierung sehen (Howe und Mc Kendry, 1990; Lang und Raab, 2005; Lang et al., 2006).

Trotzdem weisen durchmesserstarke Stifte eine erhöhte Frakturresistenz auf (Pfeiffer et al., 2006). Bei ausreichendem Substanzangebot und geeigneter Indikation könnte die Verwendung von dickeren Stiften demzufolge von Vorteil sein.

In der vorliegenden Studie konnten über drei Viertel der Proben mit Stiften der ISO-Grösse 90 versorgt werden, während Stifte mit ISO-Größe 110 nur bei initial sehr weiten Kanälen eingebracht wurden. Auf diese Weise wurden relativ ähnliche zirkuläre Restdentinstärken angestrebt.

Schmage et al. (2009) kommen zu dem Ergebnis, dass der Stiftdurchmesser dem Wurzelkanallumen möglichst entsprechen sollte, da Inkongruenzen zwischen Lumen und Stift zu verminderter Stabilität führen. Weiterhin führen derartige Inkongruenzen zu einem erhöhten Leakage (Erkut et al., 2008).

5.2.5 Wurzelkanalbehandlung

Auf die Präparation einer endodontischen Zugangskavität konnte in allen Fällen verzichtet werden, da der Wurzelkanal durch die Entfernung der klinischen Krone bereits exponiert war. Der Wurzelkanal wurde mittels Hedströmfeilen im Sinne eines „circumferential filing“ (Beer et al., 2004) von dem pulpalen Gewebe befreit und mechanisch in aufsteigenden Sequenzen bis zur ISO-Größe 40 erweitert. Zur Beseitigung des Dentindebris erfolgte eine regelmäßige Spülung des Kanallumens ausschließlich mit destilliertem Wasser, da der Einfluß desinfizierender Spülmedien auf den adhäsiven Haftverbund noch nicht endgültig geklärt ist (Lee et al., 2007; Wattanawongpitak et al., 2009).

Zur Obturation der Wurzelkanäle wird in der klinischen Praxis überwiegend thermoplastisches Material verwendet. Hier ist Guttapercha als Mittel der Wahl anzusehen. Die Verdichtung der Guttaperchastifte mittels lateraler Kondensation gilt als bewährte Möglichkeit, um eine kompakte Wurzelfüllung bis zur apikalen Konstriktion zu gewährleisten. Zur Auskleidung von Unregelmäßigkeiten der Wurzelkanalwand wird empfohlen, einen Sealer zu verwenden. Khayat et al. (1993) konnten feststellen, dass bei Wurzelkanalfüllungen ohne Verwendung von Sealer mit einer schnelleren bakteriellen

Rekontamination des endodontischen Systems zu rechnen ist, obwohl auch beim Einsatz eines Sealers keine langfristige absolute Bakteriendichtheit erreicht werden konnte. In der vorliegenden Studie wurde auf den Einsatz von Wurzelkanalsealer verzichtet, da die Proben keinem bakteriell besiedelten Medium ausgesetzt waren. Trotzdem wurden im Rahmen der postexperimentellen Anfärbung mit Methylenblau keine apikalen Undichtigkeiten festgestellt. Dieser Widerspruch könnte darauf zurückzuführen sein, dass bei der Aufbereitung der Wurzelkanäle mittels Hedström-Feilen bewußt überinstrumentiert wurde. Das foramen apikale ist somit zu einem kreisrunden Durchschnitt verändert worden und es lagen weniger Inkongruenzen zwischen Wurzelkanallumen und Masterpoint vor als bei einer Obturation unter klinischen Bedingungen.

Die koronalen Anteile des Wurzelfüllmaterials wurden zusätzlich durch eine vertikale Kondensation verdichtet. Laut Taylor et al. (1997) verhindert diese Technik das Risiko eines koronalen Leakage.

Es konnte bisher noch nicht eindeutig geklärt werden, inwiefern sich im Wurzelkanal verbliebener Sealer und Befestigungskomposit beziehungsweise Adhäsivsystem gegenseitig beeinflussen. Einige Autoren sehen überraschenderweise einen positiven Effekt auf den Haftverbund (Mayhew et al., 2000), andere wiederum konnten einen negativen Einfluß konstatieren (Wattanawongpitak et al., 2009). Aufgrund dieser Unstimmigkeiten wurde in der vorliegenden Studie auf die Verwendung eines Sealers verzichtet.

5.2.6 Stiftinsertion

Die Präparation des Stiftbettes mit langen Spiralbohrern birgt nachgewiesenermaßen ein erhöhtes Risiko der iatrogenen Wurzelperforation (Yoldas et al. 2004) durch eine via falsa. Oftmals kann der genaue Verlauf der Zahnwurzel vom Behandler nur zweidimensional durch Röntgenaufnahmen erfasst werden. In der vorliegenden Studie konnte unter Sicht gearbeitet werden und somit dem Wurzelkanalverlauf in allen Fällen gefolgt werden.

Die Normbohrung erfolgte mit einer Tiefenmarkierung von 9 mm, um die spätere Kronenlänge nicht zu unterschreiten. Laut Adanir und Belli (2008) steigt die Frakturanfälligkeit von endodontisch behandelten Zähnen an, wenn die Stiftlänge kleiner als die Kronenlänge ist. Um eine suffiziente apikale Abdichtung zu erhalten, sollte bei der Revision der Wurzelfüllung laut Portell et al. (1982), Magura et al. (1991) und Nixon et al. (1991) eine apikale Restwurzelfüllung von mindestens 4 mm verbleiben. Laut Schnell (1978), Zmener (1980), Bourgeois und Lemon (1981) sowie Madison und Zakariasen (1984),

verändert eine zeitnahe Stiftbohrung nicht die apikale Dichtigkeit der Wurzelfüllung, jedoch empfehlen Vano et al. (2008), nach der Wurzelkanalobturation 24 Stunden abzuwarten, da sich sonst vermehrt Sealerrückstände am präparierten Stiftbett finden lassen.

Mues et al. (2007) stellten fest, dass das Wurzelkollagen und sogar das Desmodont bei der Stiftbohrung teilweise hohen Temperaturentwicklungen (bis 60° C) ausgesetzt sind. Bei einer Überhitzung der Zahnwurzel kann es zu einer Veränderung der Ultrastruktur des Wurzelkanalkollagens kommen und somit bei Stiftinsertionen zu Verschlechterung des Haftmechanismus zwischen Befestigungsmaterial und Kanalwand. Eine Erhöhung der Temperatur um nur wenige Grade hat verheerende Auswirkungen auf die desmodontalen Zellen im Sinne einer Hitzenekrose. Zur Vermeidung einer Überhitzung der Zahnwurzel und der umliegenden Gewebe empfehlen Mues et al. daher, bei der Pilotbohrung und der Normbohrung eine Umdrehungszahl von 4000/Min. nicht zu überschreiten und tupfend vorzugehen. Innengekühlte Bohrer, wie in der Implantologie verwendet, könnten eine Alternative bieten. Die Hinweise von Mues et al. wurden in der vorliegenden Studie befolgt. Ebenso wurde darauf geachtet, dass stets scharfe Bohrer zum Einsatz kamen.

Zur adhäsiven Befestigung der Wurzelkanalstifte wurde das Präparat Panavia F2.0 verwendet, da es klinisch bewährt ist und ebenso in einem Vergleich zu anderen Befestigungskompositen (Taira et al., 2007) am besten abschnitt.

In der Literatur wird die Vorbehandlung der Stiftoberfläche vor adhäsiver Insertion vielseitig diskutiert. Allgemein wird empfohlen, bei Zirkonoxidstiften zur besseren Anbindung an das Befestigungskomposit mechanisch mittels Pulverstrahlung ein mikroretentives Design zu generieren und einen Haftsilan zu verwenden (Asmussen et al., 2005; Gernhardt et al., 2005). Bei glasfaserverstärkten Kompositstiften wird von einer mechanischen Oberflächenbearbeitung wegen unerwünschter Oberflächenveränderungen eher abgeraten (Magni et al., 2007; Soares et al., 2008). Zur chemischen Vorbehandlung der Oberfläche von glasfaserverstärkten Kompositstiften existieren widersprüchliche Bewertungen. Die Verwendung eines Silans wird hier zur Steigerung der Haftwerte von Vano et al. (2006) als vorteilhaft betrachtet, während Untersuchungen von Sahafi et al. (2005) und Wrbas et al. (2007) keine Verbesserung der Werte bestätigen konnten. Die Vorbehandlung der Stiftoberfläche mittels eines Bondings soll die Benetzbarkeit mit dem Befestigungskomposit optimieren (Hsu et al., 2002). Manocci et al. (2005) konnten in einer Untersuchung herausfinden, dass solche Haftvermittler die Fähigkeit besitzt, in die Ultrastruktur von faserverstärkten Kompositstiften zu penetrieren und eine Art Hybridschicht zu generieren. Mittlerweile werden von Seiten der Industrie bereits präfabrizierte mit Bondingschichten

versehene Stifte angeboten. Da in der vorliegenden Studie allen Stiften die gleiche Behandlung zuteil werden sollte, wurden die Stifte mit dem systemspezifischen Adhäsiv des Befestigungsmaterials nach Herstellerangaben unmittelbar vor dem Einsetzen benetzt.

Der dualhärtende Kompositzement wurde analog dem Glasionomerzement auf dem Stift in den Wurzelkanal einrotiert und nach Angaben des Herstellers polymerisiert, um Lufteinschlüsse zu vermeiden. Laut D’Arcangelo et al. (2007) zeigte diese Methode gegenüber der Applikation mittels Lentulospirale oder speziellen Spritzen keine nachteiligen Effekte in Bezug auf den Haftverbund.

Auf die Präparation eines Kanalinlays wurde in der vorliegenden Studie verzichtet, da die zusätzliche Schwächung durch Abtrag von gesunder Zahnhartsubstanz in der minimalinvasiven Zahnmedizin als obsolet anzusehen ist (Tschechne und Gloerfeld, 2007)

5.2.7 Stumpfaufbau und Präparation

Anschliessend erfolgt der koronale Aufbau aus plastischem Komposit, einem feuchtigkeitsintoleranten Material. Dieser Schritt kann klinisch nicht in allen Fällen unter den Bedingungen der absoluten Trockenlegung erfolgen, da die Applikation eines Kofferdams mit zunehmenden koronalen Zerstörungsgrad schwieriger wird.

Wie immer bei der Verwendung von Kompositmaterialien, muß auch für Stumpfaufbauten eine Polymerisationsschrumpfung berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurde bei der Herstellung der Prüfkörper darauf Wert gelegt, dass keine zu großen Inkremente verwendet wurden, um die Entstehung von Spannungsspitzen zu vermeiden.

Trotz dieser erschwerten Verarbeitungsweise ist Komposit aufgrund seiner guten Haftung zum Dentin und guten Beschleifbarkeit immer noch das bevorzugte Material für direkte Aufbauten (Lang et al., 2003).

Nach der Fertigstellung des koronalen Aufbaus, erfolgte eine keramikgerechte Präparation der Proben. Hierbei wurden Diamantschleifkörper mit abgerundeten Außenkanten verwendet, da spitzwinklige und scharfkantige Präparationen zu Spannungsspitzen und somit zu Frakturen der keramischen Restauration führen können (Pospiech, 2004).

Das Präparieren eines Ferrule-Designs hat nachgewiesenermassen einen stabilisierenden Effekt auf den endodontisch behandelten Zahn und kann das Risiko von Wurzelfrakturen senken (Schmeißner, 1979; Barkhordar et al., 1989; Sorensen und Engelmann, 1990; Hemmings et al., 1991) Isidor et al. (1999) fanden heraus, dass die Bruchfestigkeit eines prothetisch versorgten Zahnes in Korrelation zur Breite der angelegten Fassreifenpräparation

steigt. In der vorliegenden Studie wurde eine zirkuläre Ferrulehöhe von 2 mm gewählt. In klinischen Situationen begibt man sich je nach Destruktionsgrad der Zahnkrone oder Zustand des Parodontiums gegebenenfalls in die Nähe des limbus alveolaris. Da die biologische Breite nicht verletzt werden darf (Cargiulo et al., 1961), muß hier gegebenenfalls eine chirurgische Kronenverlängerung durchgeführt werden. Tan et al. (2005) weisen darauf hin, dass nur eine Ferrule-Präparation mit gleichbleibend umlaufender Höhe von 2 mm die Frakturresistenz von Frontzähnen erhöhen kann.

5.2.8 Kronen

Aufgrund ihrer Stellung im Zahnbogen sind Oberkiefer-Frontzähne bei der Belastung insbesondere extraaxialen Kräften ausgesetzt (Sorensen und Martinoff, 1984; Hatzikyriakos et al., 1992). Die optimale Gestaltung des Approximalkontaktes kann klinisch zu einer Verminderung der Kraftentwicklung und somit zu einer höheren Belastbarkeit endodontisch behandelter Zähne führen (Caplan et al., 2002), weil der Freiheitsgrad des Zahnes eingeschränkt wird. In der vorliegenden In-vitro-Studie wurden die Proben nicht in der geschlossenen Zahnreihe belastet, sondern isoliert stehend. Im Vergleich zu In-vivo-Situationen handelt es sich somit um eine „worst-case“-Simulation. In klinischen Studien wird die optimale Gestaltung der okklusalen Kontakte ebenfalls als maßgeblich für die Frakturresistenz von endodontisch behandelten Zähnen angesehen (Bergman et al., 1989; Iqbal et al., 2003). Hierbei wird empfohlen, bei Frontzahnkronen im Oberkiefer ein ausgeprägtes palatinales Tuberkulum zu modellieren, um einen günstigen Kontaktpunkt zum Antagonisten herzustellen (Boldt et al., 2007). Torbjörner und Fransson (2004) fanden bei einer Literaturumschau über die prothetische Versorgung destruiertes Zähne heraus, dass anscheinend eine gute Okklusion wichtiger für die Langlebigkeit des endodontisch behandelten Zahnes ist als der verwendete Stifttyp.

Die Anwendung von vollkeramischen Restaurationen kann heutzutage als alltagstauglich bezeichnet werden (Pospiech, 2004). Immer häufiger werden in der zahnärztlichen Praxis sowohl aus ästhetischen Gründen, als auch aus Gründen der Biokompatibilität metallfreie Versorgungen eingegliedert. In der vorliegenden Studie wurde die Kombination aus zahnfarbenen Stiften und vollkeramischer koronaler Restauration gewählt, weil es sich hierbei um eine zeitgemäße Versorgungsform handelt.

Die verwendete glasinfiltrierte Oxidkeramik (In-Ceram Alumina) ist zwar hochästhetisch, sie gehört jedoch nicht zu den festesten zahnärztlichen Keramiken. Biegespannungen können zu

Frakturen der Keramikkrone führen, genauso wie eine falsche Verarbeitung bei der Herstellung. Die Handhabung und Weiterverarbeitung des aus einem Weißkörper gefrästen In-Ceram Kronenkäppchens ist im Vergleich zu anderen Systemen techniksensitiver. Das gefräste Käppchen ist initial porös und wird erst durch die Infiltration mit geschmolzenem Glas stabilisiert und homogenisiert (Pröbster und Diehl, 1992).

Hier bieten ausschliesslich CAD/CAM gefertigte Kronenkäppchen aus Zirkoniumoxid oder vollständige Kronen aus Feldspatkeramik (Mark II) praktische Vorteile.

In der vorliegenden Studie wurde als Befestigungsmedium für die koronale Restauration ein Glasionomerezement gewählt. Kern et al. (1993) fanden in einer klinischen Messung heraus, dass Kronen nach der Zementierung mit Glasionomerezement einen um den Faktor zwei kleineren Randspalt aufweisen als mit Zinkoxidphosphatzement befestigte Kronen.

Zadik et al. (2008) konnten mit einer klinischen Untersuchung belegen, dass die Destruktion von Zahnhartsubstanz durch Karies auch bei endodontisch behandelten Zähnen immer noch die häufigste Ursache für Zahnverlust ist. Deshalb ist eine gute und langanhaltende Randsichtigkeit bei festsitzenden prothetischen Restaurationen von eminenter Bedeutung.

5.2.9 Thermocycling

Restaurationen, welche in vivo eingegliedert werden, sind häufigen Temperaturschwankungen in der Mundhöhle ausgesetzt. Hierdurch kommt es aufgrund der verschiedenen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Zahnschubstanz und Restaurationswerkstoffen zu einer Materialermüdung. Bei In-vitro-Versuchen wird diese durch unterschiedlich temperierte Wechselbäder („Thermocycler“) eingeleitet. In der vorliegenden Studie wurden Temperaturwerte von 2 °C und 60 °C verwendet. Diese Amplitude liegt im physiologischen Bereich. Palmer et al. (1992) empfehlen anhand von intraoralen Messergebnissen für die thermische Wechsellast Werte von 0 °C bis 67 °C, was im Vergleich zum Versuchsaufbau der vorliegenden Untersuchung eine leicht vergrößerte Amplitude darstellt.

5.2.10 Kausimulation

Von Naumann et al. (2002) wurde bereits gefordert, die Proben im rechten Winkel zur Zahnlängsachse in Kunstharz einzubetten. Zur Simulation der biologischen Breite sollte ein Abstand von 2 mm zur Schmelz-Zement-Grenze eingehalten werden.

Die Zähne liegen in vivo in der Regel nicht ankylosiert vor, sondern weisen eine gewisse Eigenbeweglichkeit auf (Lehmann und Hellwig, 1998), die je nach Zahngruppe variiert.

Um die natürlichen Gegebenheiten in der vorliegenden Studie bestmöglich nachzuahmen, wurde die Einbettung der Proben analog dem Vorschlag von Scharnagel (1998) vorgenommen, der sich im „Regensburger Kausimulator“ widerspiegelt. Andere Studien verzichteten demgegenüber vollständig auf eine Simulation der physiologischen Zahnbeweglichkeit (Nothdurft et al., 2008). Als Antagonisten sollten ebenfalls humane Zähne verwendet werden, um eine In-vivo-Situation möglichst genau zu simulieren (Krejci et al., 1990; Rosentritt et al., 2006).

Laut einer klinischen Kaudruckmessung von Morneburg und Pröschel (2002) liegen die physiologischen Werte im Frontzahnbereich bei 91 N. Mit einer an der Universitätsklinik des Saarlandes entwickelten Messapparatur konnte Geßner (2007) eine bereits in der Literatur bekannte starke Streuung der Messergebnisse (43 N-1081 N) nachvollziehen. Die maximale Kaukraft für mittlere Schneidezähne wird von Geßner mit 190,77 N (\pm 21,61 N) beziffert. Werte dieser Größenordnung (179 N) wurden bereits von Coca und Schnackerath (1987) postuliert. In der vorliegenden Studie wurden die Proben mit 90 N belastet, da dies einem durchschnittlichen physiologischen Wert entspricht.

De Long und Douglas (1991) fanden heraus, dass die Belastung eines dentalen Werkstücks mit 250.000 Zyklen im Kausimulator äquivalent zu einer intraoralen Verweildauer von einem Jahr ist. Die in der vorliegenden Studie maximal erreichbare Zyklenzahl von 1.500.000 entspricht somit einer Periode von 6 Jahren in vivo.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

5.3.1 Allgemeine kumulierte Ergebnisse der Kausimulation

Von den 120 in der vorliegenden Studie verwendeten Proben erreichten 71,7 % die vorgegebene maximale Zyklenzahl von 1.500.000 Zyklen ohne sichtbare Schäden. Bei einer physiologischen Kauzyklenzahl von 250.000 per anno (De Long und Douglas, 1991) entspricht dies einer Misserfolgsrate von 28,3 % in 6 Jahren, beziehungsweise einer umgerechneten jährlichen Verlustrate von 4,7 %. Ferrari et al. (2007) geben in ihrer retrospektiven Untersuchung eine Misserfolgsrate von ca. 1 % pro Jahr an. Die Autoren nennen jedoch einen direkten Zusammenhang zwischen koronalem Restdentin und

Überlebensrate der restaurierten Zähne. Wegner et al. (2006) bewegen sich bei einer klinischen Untersuchung mit einer jährlichen Verlustrate von 1,46 % etwa im gleichen Bereich wie die vorgenannte Studie. Heydecke und Peters (2002) kommen nach einer umfassenden Literaturrecherche zu dem Ergebnis, dass direkte Stiftsysteme eine jährliche Verlustrate von 2,3 % aufweisen.

Im Durchschnitt überstanden die Proben in der vorliegenden Studie eine Belastungsdauer von 1.233.303 Zyklen (Standardabweichung 485.549 Zyklen). Bei einer physiologischen Kauzyklenzahl von 250.000 per anno entspricht dies einer durchschnittlichen Überlebensrate von annähernd 5 Jahren. Im Rahmen einer klinischen 10-Jahres-Studie von Balkenhol et al. (2007) wurde die durchschnittliche Überlebensrate von Stiftversorgungen mit 7,3 Jahren angegeben. Dieser Wert wurde in der vorliegenden Untersuchung nicht erreicht, da ausschließlich Zähne mit maximalem Zerstörungsgrad untersucht wurden. Die Dezementierung des Stiftes war mit 20 % die Hauptursache für Mißerfolge in der vorliegenden Studie. Auch bei Balkenhol et al. (2007) stellte die Dezementierung der Stifte die häufigste Ursache für vorzeitige Ausfälle der restaurierten Zähne dar.

Mit 13,3 % waren Stiftfrakturen in der vorliegenden Studie die zweithäufigste Ursache für Misserfolg. Eine mögliche Erklärung für diese Ergebnisse könnte sein, dass die Limitierung der Hersteller auf eine koronale Destruktion von maximal 70 % bewusst ignoriert wurde, um extreme Situationen bei der Versorgung endodontisch behandelter Frontzähne zu untersuchen. In der präsentierten Arbeit ließen sich bei 6,7 % der Proben Wurzelfrakturen beobachten. Die vorgefundenen Frakturmodi ähnelten mit ihrem schrägen Verlauf dem beispielsweise von Qing et al. (2007) beschriebenen Bruchmuster der Wurzel im zervikalen Bereich.

5.3.2 Ergebnisse des Farbpenetrationstests

Eine überraschende Erkenntnis bei der Anfärbung der Proben nach der thermo-mechanischen Alterungssimulation war der Nachweis der apikalen Dichtigkeit der Wurzelfüllung. Die Tatsache, dass bei der Obturation des Wurzelkanals in der vorliegenden Studie auf einen Wurzelkanalsealer verzichtet wurde, führte somit nicht zu einem verstärkten apikalen Leakage.

Bei Proben mit einer Fassreifenpräparation konnte gehäuft eine Diffusion des Färbemittels vom Kronenrand zum Wurzelkanal analog der Richtung der Dentintubuli detektiert werden. Dieses Farbpenetrationsmuster ist eventuell darauf zurückzuführen, dass bei der extraaxialen Belastung der Proben Kraftspitzen im Bereich des zervikalen Dentins entstehen (Rundquist

und Versluis, 2006) und dadurch eventuell der Kronenrand undicht wurde. Proportional gesehen wurden allerdings mehr Ferrule-Proben als non Ferrule-Proben der Anfärbung zugeführt, weil Proben ohne Ferrule-Präparation zumeist schon im Verlauf der Kausimulation durch Dezementierung oder Frakturen ausfielen. Für eine endgültige Bewertung der genannten Aspekte reichten aus diesem Grund die vorliegenden Daten nicht aus.

5.4 Ergebnisse in Abhängigkeit der verschiedenen Parameter

5.4.1 Einfluss von Stiftsystem und Befestigungsmodus

In der vorliegenden Studie konnte zwischen Stiften der Größen ISO 90 und 110 kein signifikanter Unterschied erkannt werden. Dies deckt sich mit einer Vielzahl von Untersuchungen. Nergiz et al. (2002) fanden keine signifikanten Zusammenhänge zwischen Stiftdurchmesser und Retention des Stiftes im Wurzelkanal. Zwar steigt die Frakturresistenz der Stifte proportional zum Durchmesser (Porciani et al., 2008), jedoch wirkt sich ein kleinerer Stiftdurchmesser durch den geringeren Substanzabtrag positiv auf die Frakturresistenz der Zahnwurzel aus (Lang et al., 2006).

CeraPost-Stifte:

Unter den gewählten Versuchsbedingungen führte die Verwendung des CeraPost-Systems insgesamt zu der höchsten Anzahl von Misserfolgen. Dies betrifft sowohl Stifdezementierungen, als auch Stift- und Wurzelfrakturen. Mit CeraPost-Stiften versorgte Proben erreichten nur zu 27,5 % die maximale Zyklenzahl von 1.500.000. Dies entspricht einer umgerechneten jährlichen Verlustrate von 12,1 %.

Die häufigste Ursache für Misserfolg war in der vorliegenden Untersuchung der Retentionsverlust der CeraPost-Stifte (30 %). Dies konnte überwiegend bei konventioneller Zementierung beobachtet werden (35 %). Die geringere Retention von Zirkonoxidstiften im Wurzelkanal bei konventioneller Befestigung mit Glasionomerezement konnte bereits von Gernhardt et al. (2005) in ihrer Untersuchung zu Haftwerten von Zirkoniumdioxid-Stiften belegt werden. Es scheint, dass Zirkonoxidstifte unter konventioneller Befestigung die geringsten Retentionswerte im Wurzelkanal aufweisen (Cohen et al., 2000).

Die adhäsive Befestigung der CeraPost-Stifte konnte die Ergebnisse tendenziell verbessern. Bei Verzicht auf eine Fassung des plastischen Aufbaus fiel trotzdem jede zweite Probe mit adhäsiv befestigten CeraPost-Stiften frühzeitig durch Stiftdezementierung aus. Rückstände des Befestigungskomposites waren nach Retentionsverlust auf der Stiftoberfläche nicht auszumachen. Dies lässt auf eine Schwachstelle im Verbund des Interface zwischen Stift und Befestigungskomposit schließen. Um die Anhaftung des Kompositmaterials zur Stiftoberfläche zu erhöhen, wird vorgeschlagen, eine Oberflächenbehandlung vor der Insertion durchzuführen. Hier wird beispielsweise empfohlen, den Stift mit Aluminiumoxid abzustrahlen und mit einem Haftsilan zu benetzen (Akgungor et al., 2008). Laut Herstellerangaben (Gebr. Brasseler) kann jedoch bei der Verwendung von Panavia F2.0 auf zusätzliche Konditionierung der Stiftoberfläche der CeraPost-Stifte verzichtet werden. Die Wahl des Befestigungsmediums hat laut Nothdurft et al. (2009) den größten Einfluß auf die Haftkraft zu Zirkonoxidoberflächen. Ein systemkongruenter Haftvermittler konnte eine zusätzliche Verstärkung des Haftverbundes erhöhen.

Erst die Kombination von adhäsiver Befestigung und Ferrule-Präparation führte in der vorliegenden Studie dazu, dass keine Stiftdezementierungen der CeraPost-Stifte mehr auftraten. Die zweithäufigste Ursache für den Ausfall der mit dem CeraPost-System versorgten Proben waren mit 17,5 % Frakturen der Stifte. Dieses Ergebnis mag in Anbetracht der Tatsache überraschen, daß CeraPost-Stifte eine wesentlich höhere Frakturfestigkeit (Biegefestigkeit) besitzen als faserverstärkte und metallische Stifte (Mc Laren und Sorensen, 1997). Allerdings beruhen diese Aussagen nur auf werkstoffkundlichen Daten aus 3-Punkt-Biegeversuchen unter Laborbedingungen.

In der vorliegenden Studie versagten lediglich konventionell befestigte CeraPost-Stifte durch Frakturen. Die adhäsive Befestigung verhinderte Frakturen der Zirkonoxidstifte vollständig.

Auch Nothdurft et al. (2008) konnten an wurzelbehandelten Zähnen präsentieren, dass mit plastischen Aufbauten versehene Zirkonoxidstifte nach adhäsiver Befestigung weniger gravierende Frakturen zeigten als bei konventioneller Zementierung. Die untersuchten Zähne wiesen allerdings nur zweiflächige Kavitäten auf.

Im Falle einer Stiftfraktur können Zirkonoxidstifte nicht in jedem Fall entfernt werden, da sie im Vergleich zu faserverstärkten Kompositstiften aufgrund der extremen Härte nicht ausgebohrt werden können (Peroz et al., 2005). Wegen der fast unmöglichen Entfernbarkeit frakturierter Zirkonoxidstifte aus dem Wurzelkanal, sind diese Zähne klinisch meistens nicht mehr erhaltungswürdig. Unter massiver Zahnhartsubstanzopferung besteht in seltenen Fällen die Möglichkeit, mit Hilfe von innenhohlen Reparaturstiften (RepairPost, Gebr. Brasseler

GmbH & Co. KG, Lemgo) das in situ verbliebene Fragment zu belassen. Es bleibt weiterhin der Versuch, den in der Wurzel verbliebenen Stiftrest mittels Ultraschall zu lockern (Horan et al., 2008).

Asmussen et al. (2005) und Toksavul et al. (2006) wiesen bei Analysen der Stressverteilung innerhalb des Dentins nach, dass Zirkonoxidstifte einen leicht geringeren Stress im Dentin verursachen als faserverstärkte Kompositstifte. Diese Aussage kann anhand des vorliegenden Versuchsaufbaus nicht unterstützt werden. Bei der Verwendung von CeraPost-Stiften traten mit 17,5 % häufiger Frakturen der Zahnwurzel im Bereich des Zahnhalses auf als bei den untersuchten faserverstärkten Stiften. Durch die ungünstige Kraftverteilung bei mechanischer Belastung kommt es bevorzugt in diesem Areal zu Kraftspitzen, die zu Frakturen führen können (Rundquist und Versluis, 2006). Die Rigidität von Keramikstiften wirkt sich somit zumindest bei erhöhtem Zerstörungsgrad des Zahnes vergleichsweise ungünstig auf die Prognose des versorgten Zahnes aus (Qualtrough und Mannocci, 2003, Barjau-Escribano et al., 2006).

Eine adhäsive Befestigung der CeraPost-Stifte konnte Wurzelfrakturen stark minimieren. Lediglich in einem Fall wurde postexperimentell eine Wurzellängsfraktur im Farbpenetrationstest detektiert. Da präexperimentell keine Anfärbung der Wurzeln stattgefunden hat, kann nicht eindeutig gesagt werden, ob diese Frakturlinie eventuell zu diesem Zeitpunkt schon vorhanden war. Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass diese Fraktur während der mechanischen Belastung aufgetreten ist. Möglicherweise ist die Ursache in einer Unvollständigkeit des adhäsiven Verbundes zu sehen.

Zwar lassen sich in der Literatur einige wenige Untersuchungen finden, in denen im direkten Verfahren angewendete adhäsiv befestigte Zirkonoxidstifte eine hohe Überlebensrate aufweisen (Rosentritt et al., 2000), jedoch kann anscheinend die Kombination von Zirkonoxidstiften mit angepressten keramischen Stumpfaufbauten die Misserfolgsrate zusätzlich minimieren (Butz et al., 2001; Strub et al., 2001).

Nothdurft und Pospiech (2006) konnten für die klinische Anwendung von Zirkonoxidstiften mit Glaskeramikaufbau im Frontzahnbereich auch bei konventioneller Befestigung keine Ausfälle feststellen. Allerdings bezieht sich diese Untersuchung auf einen relativ kurzen Beobachtungszeitraum von 29 Monaten.

In der vorliegenden Studie wiesen konventionell zementierte CeraPost-Stifte ohne Ferrule-Design die meisten Misserfolge unter allen Proben auf. Die Präparation eines Ferrule-Designs wirkte sich unabhängig vom Befestigungsmodus positiv auf die Überlebensrate der Proben

aus. Durch eine adhäsive Befestigung der CeraPost-Stifte konnten Stiftfrakturen und Wurzelfrakturen fast vollständig vermieden werden. Die Kombination mit einer Ferrule-Präparation verhinderte vollständig den Ausfall der Proben durch Stiftlockerung.

Bei der klinischen Verwendung der keramischen CeraPost-Stifte im direkten Verfahren sollten die Stifte in jedem Fall adhäsiv befestigt werden. Die Kombination von Zirkonoxidstiften mit konventioneller Zementierung führte in der vorliegenden Studie zu supra- sowie intraradikulären Stiftfrakturen.

Möglicherweise hätten die Ergebnisse verbessert werden können, wenn die CeraPost-Stifte im indirekten Verfahren mit angepresstem Glaskeramikaufbau verwendet worden wären. In diesem Fall erhöht der Hersteller die klinische Freigabe für Zähne mit einem Zerstörungsgrad der Zahnkrone mit bis zu 100 %.

DentinPost-Stifte:

Proben, welche mit DentinPost-Stiften restauriert wurden, erreichten zu 77,5 % die maximale Kauzyklenzahl; dies entspricht einer umgerechneten Verlustrate von 3,75 % per anno. Sie schnitten von allen in der vorliegenden Studie untersuchten Stiftsystemen am besten ab. Viele klinische Studien über die Leistungsfähigkeit von faserverstärkten Stiften geben eine jährliche Verlustrate zwischen 1 % (Signore et al., 2009) und 3 % (Cagidiaco et al., 2008) an. Hierbei handelt es sich jedoch um klinische Untersuchungen, bei denen sich das koronale Restdentin und die Approximalkontakte der Restauration positiv auf die Überlebensrate der Zähne auswirken können.

In der vorliegenden Studie überstanden alle Proben mit konventionell befestigten DentinPost - Stiften und Ferrule-Design die thermo-mechanische Wechsellast. Möglicherweise kann dies darauf zurückgeführt werden, dass der Elastizitätsmodul von Glasionomerezementen dem des Dentins sehr ähnelt (Magni et al., 2009). Kombiniert mit einem Stift, der ebenfalls ähnliche mechanische Eigenschaften hat, könnte sich dieses Verhalten sehr positiv auf den Langzeiterfolg der Restauration auswirken.

Die häufigste Ursache für vorzeitige Ausfälle der DentinPost-Proben war die Fraktur der Stifte (7,5 %). Unter Laborbedingungen besitzen DentinPost-Stifte die geringste Biegefestigkeit im Vergleich zu den beiden anderen untersuchten Stiftsystemen. Diese geringeren mechanischen Werte scheinen jedoch auf die Belastungsfähigkeit der Zähne keinen negativen Einfluß auszuüben. Die Stiftfraktur ist bei faserverstärkten Kompositstiften nicht mit einer infausten Prognose verbunden, da in der Wurzel verbliebene Stiftfragmente

vergleichsweise einfach durch Ausbohren entfernt werden können. Von Ferrari et al. (2000) wurde die leichte Entfernbarkeit von Wurzelkanalstiften im Frakturfall gefordert, die bei faserverstärkten Kompositstiften gegeben ist.

Verglichen mit den rigiden CeraPost-Stiften minimierte der dentinähnliche Elastizitätsmodul der DentinPost-Stifte in der vorliegenden Studie die Prävalenz von Wurzelfrakturen, die bei mit DentinPost-Stiften versorgten Proben nur in 5 % der Fälle auftraten. In der Literatur ist man sich einig darüber, dass adhäsiv befestigte glasfaserverstärkte Kompositstifte die Wurzel vor allem bei hohem Destruktionsgrad der klinischen Krone vor Frakturen schützen können (Cagidiaco et al., 2008). Nur in einem Fall kam es bei adhäsiver Befestigung von DentinPost-Stiften zu einer Wurzelfraktur in Form eines vestibulären „Chippings“.

Die Präparation eines Ferrule-Designs konnte auch bei DentinPost-Stiften die Misserfolgsrate minimieren und Retentionsverluste der Stifte sowie Stift- oder Wurzelfrakturen unabhängig von der Wahl des Befestigungsmaterials vollständig verhindern.

Bei mit DentinPost-Stiften versorgten Proben wurden die wenigsten Stiftdezementierungen im Vergleich mit den anderen verwendeten Stiftsorten registriert (5 %), unabhängig von der Befestigungsart. Kremeier et al. (2008) stellten in ihrer Untersuchung zur Retention von Stiften im Wurzelkanal fest, dass die Wahl des Stiftsystems wichtiger ist als die des Befestigungsmaterials. In der vorliegenden Studie waren die Ergebnisse der beiden unterschiedlichen Glasfaserstift-Fabrikate in Bezug auf das Befestigungsmedium genau entgegengesetzt. Bei DentinPost-Stiften konnte mit konventioneller Zementierung die höchste Überlebensrate erreicht werden, bei DT-Light Post-Stiften wurde dieser Effekt mit adhäsiver Befestigung erzielt. Primär verhindert die Präparationstechnik also Misserfolge wie Retentionsverlust oder Frakturen, sekundär beeinflusst jedoch die Wahl des Stiftsystems und die Kombination mit einem geeigneten Befestigungsmaterial ebenfalls die Überlebensrate.

Die in der vorliegenden In-vitro-Studie gewonnenen Ergebnisse in Bezug auf den positiven Effekt der konventionellen Befestigung bei DentinPost-Stiften stehen in Diskrepanz zur herstellerseitigen Verarbeitungsanleitung, die eine Befestigung mit dual- oder selbsthärtendem Komposit vorsieht. Die Ergebnisse sollten bei der klinischen Anwendung nicht dazu führen, von dieser Herstelleranweisung abzuweichen.

DT-Light Post-Stifte:

Mit DT-Light Post-Stiften versorgte Zähne erreichten nur zu 52,5 % die maximal möglichen 1.500.000 Kauzyklen. Damit liegen sie im Vergleich mit den beiden anderen untersuchten Stiftsystemen betreffend der Überlebensrate im Mittelfeld. Die umgerechnete jährliche Verlustrate ist mit 7,9 % deutlich höher als bei anderen Studien. Xu et al. (2007) geben beispielsweise in einer klinischen Studie eine jährliche Verlustrate für DT-Light Post-Stiften von 2,7 % an, wobei die Ergebnisse laut den Autoren stark abhängig vom koronalen Dentinangebot waren. In einer klinischen Studie von Monticelli et al. (2003) wurde eine Misserfolgsrate von immerhin 4,9 % angegeben. In diese Verlustrate waren ebenso wie in der vorliegenden Studie zugleich prothetische Komplikationen wie Retentionsverluste der koronalen Restauration eingerechnet. Als häufigste Ursache für den Misserfolg der endodontisch behandelten Zähne wird von Monticelli et al. der Retentionsverlust der Stifte benannt.

Auch in der vorliegenden Untersuchung war der häufigste Versagensmodus mit 25 % die Dezementierung der DT-Light Post-Stifte.

Hier stimmen die Ergebnisse mit denen von Cagidiaco et al. (2008) überein, die in einer Literaturrecherche herausfanden, dass besonders bei einem hohen koronalen Destruktionsgrad die Dezementierung des Stiftes die häufigste Ursache für Misserfolge bei der Verwendung von faserverstärkten Kompositstiften ist. Durch eine adhäsive Befestigung der DT-Light Post-Stifte konnte allerdings in der aktuellen Untersuchung der Retentionsverlust der Stifte vor allem in Kombination mit einer Ferrule-Präparation minimiert werden. Aksornmuang et al. (2008) fanden unter In-vitro-Bedingungen mittels REM heraus, dass bei der adhäsiven Befestigung von DT-Light Post-Stiften eine Schwachstelle im Haftverbund zwischen Stiftoberfläche und Komposit besteht. Möglicherweise hätte die Retention der adhäsiv zementierten faserverstärkten Kompositstifte im Wurzelkanal durch eine zusätzliche chemische Vorbehandlung der Stiftoberfläche erhöht werden können.

Das zweithäufigste Misserfolgsmuster waren bei den mit dem DT-Light Post-System versorgten Proben Stiftfrakturen (15 %). Im Vergleich brachen DT-Light Post-Stifte doppelt so häufig wie DentinPost-Stifte. Durch eine adhäsive Insertion der Stifte konnten solche Frakturen auch bei DT-Light Post-Stiften minimiert werden. Unabhängig vom Befestigungsmodus traten keine Stiftfrakturen beim DT-Light Post-System auf, wenn der plastische Aufbau durch eine Ferrule-Präparation gefasst wurde.

In 3-Punkt-Biegeversuchen schnitten DT-Light Post-Stifte oftmals besser ab, als andere faserverstärkte Kompositstifte (Grandini et al., 2005; Seefeld et al., 2007); auf die Häufigkeit von Wurzelfrakturen hatte dies jedoch keine Auswirkungen, denn bei 5 % der mit DT-Light Post-Stiften versorgten Proben wurden in der vorliegenden Studie Wurzelfrakturen diagnostiziert. Dieser Wert liegt gleichauf mit der entsprechenden Versagenshäufigkeit bei DentinPost-Stiften. Mit CeraPost-Stiften restaurierte Zähne zeigten doppelt so oft Wurzelfrakturen wie die Gruppen mit glasfaserverstärkten Stiften. Diese Ergebnisse decken sich mit den Erkenntnissen aus einer Studie von Cagidiaco et al. (2008), die herausfanden, dass faserverstärkte Wurzelkanalstifte besonders bei einem hohen Zerstörungsgrad der Zahnkrone vor Wurzelfrakturen schützen können.

Ausgehend von den in der vorliegenden Studie gewonnenen Erkenntnissen, sollten DT Light Post-Stifte im direkten Verfahren adhäsiv befestigt werden und die Aufbaufüllung im Sinne eines Ferrule-Designs gefasst werden.

5.4.2 Genereller Einfluss der Präparation (Ferrule-Design versus non-Ferrule-Design)

Die Präparation eines Ferrule-Designs führte bei allen drei verwendeten Stiftsystemen zu einer signifikant erhöhten Überlebensrate, unabhängig von der Befestigungsweise. Zu gleichen Ergebnissen kommen auch Mezzomo et al. (2003), die allerdings gegossene Stiftaufbauten verwendet haben.

Während der Auswertung der Ergebnisse zeigte sich, dass das Präparationsdesign einen signifikanten Einfluss auf den Zeitpunkt des Versagens, den Versagensmodus und die Erhaltungswürdigkeit der Zähne hat. Proben, deren Aufbaufüllung nicht mit einer Fassreifenpräparation eingesäumt wurde, wiesen in der vorliegenden Studie eine deutlich verminderte Erfolgsrate auf. Bereits Sorensen und Engelmann (1990) konnten zeigen, dass eine zirkuläre Restdentinfassung Wurzelfrakturen vermeiden kann. Dieser Aussage schließen sich Hemmings et al. (1991) in ihrer Studie zur Resistenz von Wurzelkanalstiften gegenüber Torsionskräften an. Milot und Stein (1992) sowie Torbjörner et al. (1995) konnten in weiteren Untersuchungen nochmalig den positiven Einfluss einer Fassreifenpräparation auf den klinischen Langzeiterfolg zeigen.

Isidor et al. (1999) konnten nachweisen, dass die Frakturresistenz endodontisch behandelter Zähne in Korrelation zur Ferrulelänge steigt. Klinisch lässt sich dieses Erkenntnis bei der Versorgung von äquigingival zerstörten Zähnen nicht immer umsetzen. Das auch als

biologische Breite bezeichnete supraalveoläre epitheliale Bindegewebe sollte bei der Präparation des Zahnes nicht verletzt werden (Gargiulo et al., 1961). Liegt der Kronenrand der prothetischen Versorgung zu weit subgingival, so kommt es zu chronischen und sogar destruktiven Entzündungsprozessen im Bereich des Zahnfleischsaumes (Newcomb, 1974).

Die Verlagerung des krestalen Alveolarknochens nach apikal ist in diesen Fällen die einzige Möglichkeit, die biologische Breite zu wahren. Diese chirurgische Kronenverlängerung ist jedoch nur durchführbar, wenn die Wurzellänge des betroffenen Zahnes ausreichend ist, um postoperativ stabile Verhältnisse zu gewährleisten. Eine ästhetische Vorhersagbarkeit nach chirurgischer Kronenverlängerung ist nicht immer möglich.

Trotz dieser eindeutigen Datenlage für die Präparation eines Ferrule-Designs sind laut einer Umfrage aus dem Jahr 2002 (Naumann und Lange, 2003) nur 76 % der deutschen Zahnärzte von dem stabilisierenden Effekt einer Ferrule-Präparation überzeugt. In der Schweiz sind es vergleichsweise 96,7 % aller Zahnärzte, die ein Ferrule-Design für sinnvoll erachten, während US-amerikanische Kollegen dies nur in 56 % der Fälle tun.

5.4.4 Einfluss der Kronenbefestigung

Saunders und Saunders (1994) fanden heraus, dass ein koronales Leakage häufig zum Misserfolg der endodontischen Therapie führt. Durch die Penetration von Mikroorganismen kann es zu einem Rezidiv der endodontischen Problematik kommen. Eine suffiziente Isolation des Endodonts zur Mundhöhle hin ist demnach eine *conditio sine qua non*. Deshalb wird empfohlen, wurzelbehandelte Zähne möglichst zeitnah nach der Wurzelkanalobturation mit einer definitiven koronalen Restauration zu versorgen.

Salameh et al. (2008) verglichen verschiedene Materialien der Kronen nach Restauration mit und ohne faserverstärkten Kompositstiften und konnte hinsichtlich der Kronen keine signifikanten Unterschiede in der Frakturresistenz der Zähne nachweisen. Unter klinischen Bedingungen scheint also ein möglichst dichter Randschluß und die bakterien-dichte Befestigung der Krone einen wichtigeren Effekt zu besitzen, als die Wahl des Kronenmaterials.

Naumann et al. (2006) untersuchten ebenfalls in einer In-vitro-Studie die Belastbarkeit wurzelkanalbehandelter oberer mittlerer Inzisivi in Abhängigkeit von der Befestigung der koronalen Restauration. Sie kommen zu dem Ergebnis, dass die Art der Kronenzementierung (konventionell versus adhäsiv) keinen maßgeblichen Einfluß auf die Belastbarkeit der endodontisch behandelten Zähne hat, wenn der glasfaserverstärkte Stiftaufbau adhäsiv

befestigt wurde, mit einem Kompositaufbau versehen und mit einer Vollkeramikkrone versorgt wurde.

In der vorliegenden Studie wurden alle Kronen konventionell zementiert. Insgesamt erreichten 70 % aller Proben mit adhäsiv befestigten Kompositstiften die maximale Zyklenzahl ohne Ausfälle. Ausgehend von den Ergebnissen von Naumann et al. (2006), hätte eine adhäsive Kronenbefestigung zu keiner Veränderung führen dürfen.

5.5 Zusammenfassende Bewertung der Ergebnisse - Schlussfolgerungen

Ausgehend von den gewonnenen Ergebnissen kann festgehalten werden, dass die Präparation eines Ferrule-Designs unabhängig von den übrigen untersuchten Parametern zu einer signifikanten Reduktion der Misserfolgsrate führte.

Unter den gewählten Versuchsbedingungen stellte die Verwendung von konventionell befestigten DentinPost-Stiften die beste Behandlungsmöglichkeit der dekapitierten Zähne dar. Bei konventioneller Zementierung lag die umgerechnete jährliche Verlustrate bei 0 %, wenn die Aufbaufüllung durch eine Ferrule-Präparation gefasst wurde. Eine adhäsive Befestigung brachte bei DentinPost-Stiften keine Verbesserung der Ergebnisse, hier lag die umgerechnete jährliche Verlustrate bei 3,3 %. Weine et al. (1991) gaben bei einer Literaturrecherche über klinische Studien zum Langzeiterfolg von faserverstärkten Kompositstiften eine generelle jährliche Verlustrate von nur 0,65 % bei einem Beobachtungszeitraum von 10 Jahren an. Ferrari et al. (2007) konnten in einer jüngeren klinischen Studie ebenfalls sehr gute Langzeiterfolge mit adhäsiv befestigten faserverstärkten Kompositstiften vorweisen. In der erwähnten Untersuchung wurden die Zähne über einen Zeitraum von 7-11 Jahren beobachtet, die jährliche Mißerfolgsrate belief sich auf 1 %, jedoch waren die Ergebnisse wie bei allen klinischen Studien abhängig vom koronalen Restdentin.

Die Verwendung von DT-Light Post-Stiften war in dieser Untersuchung als fast gleichwertig mit der von DentinPost-Stiften zu sehen, jedoch nur bei adhäsiver Befestigung des Stiftes und Ferrule-Präparation. Cagidiaco et al. (2008) geben in einer klinischen Untersuchung eine jährliche Verlustrate von 3,3 % für adhäsiv befestigte DT-Light Post-Stifte bei einem Beobachtungszeitraum von 3 Jahren an. Xu et al. (2007) gaben für die Verwendung von DT-Light Post-Stiften in Kombination mit adhäsiver Befestigung eine Erfolgsquote von 92 % über einen Zeitraum von 1-3 Jahren (dies entspricht einer jährlichen Verlustrate von 2,7 %)

an. Bei beiden genannten Studien variierten die Ergebnisse laut Angaben der Autoren abhängig vom koronalen Restdentin.

CeraPost-Stifte zeigten in der vorliegenden Untersuchung generell die meisten Misserfolge. Hier konnte nur eine akzeptable Überlebensrate von 80 % (entspricht 3,3 % jährlicher Verlustrate) erreicht werden, wenn die Zirkonoxidstifte adhäsiv inseriert und mit einem Ferrule-Design versehen wurden.

Das häufigste Versagensmuster war der Retentionsverlust der Stiftaufbauten; verglichen mit den anderen verwendeten Stiften kam es bei Zirkonoxidstiften insgesamt zu den meisten Dezementierungen (30 %). Al-Harbi und Nathanson (2003) kamen in ihrer Untersuchung ebenfalls zu dem Ergebnis, dass Zirkonoxidstifte generell weniger retentiv sind als Kompositstifte.

Möglicherweise ist hier auch ein Zusammenhang zur erreichbaren Polymerisationstiefe des Befestigungskomposites im Wurzelkanal zu sehen. Yoldas und Alaçam (2005) konnten bei Stiftsystemen mit niedrigerer Transluzenz eine geringere Mikrohärtigkeit des dualhärtenden Kompositzementes nach Polymerisation messen. Glasfaserverstärkte Kompositstifte und Quarzfaserverstärkte Kompositstifte besitzen im Vergleich zu Zirkonoxidstiften eine höhere Lichtdurchlässigkeit. Dies wirkt sich positiv auf den Elastizitätsmodul, die Vickers-Härte und die Kontinuität der Kompositfuge aus (Radovic et al., 2009).

Zirkonoxidstifte waren in der vorliegenden Studie ebenfalls Spitzenreiter bei Misserfolgen durch Stiffrakturen (17,5 %) und sogar bei Wurzelfrakturen. Dies könnte mit der Rigidität der Stifte zusammenhängen und ihrem Unvermögen, sich zusammen mit der Zahnwurzel bei Belastung zu verwinden und somit den entstehenden Stress abzuleiten.

Abschliessend kann anhand der in der vorliegenden Studie gewonnenen Daten empfohlen werden, bei endodontisch behandelten Zähnen mit geringem Angebot von koronalem Restdentin in jedem Fall eine Ferrule-Präparation anzulegen, wenn Wurzelkanalstift im direkten Verfahren zur Anwendung kommen. Die adhäsive Befestigung von faserverstärkten Kompositstiften erwies sich als zuträglich für die Langlebigkeit der restaurierten Proben. Ob und inwiefern die guten Ergebnisse von DentinPost-Stiften in Zusammenhang mit einer konventionellen Zementierung auch klinisch zu Langzeiterfolgen führen, kann zu diesem Zeitpunkt noch nicht beurteilt werden. Zur Anwendung von Zirkonoxidstiften bei massivem Zerstellungsgrad der Zahnkrone kann aufgrund der schlechten Ergebnisse empfohlen werden, diese bevorzugt im indirekten Verfahren mit einem angepressten Glaskeramikaufbau zu verwenden. In dieser Kombination konnten in anderen Studien gute Ergebnisse mit Stiften aus hochfester Keramik erzielt werden (Strub et al., 2001; Nothdurft und Pospiech, 2006).

6. Literaturverzeichnis

1. Adanir N, Belli S (2008) Evaluation of different post lengths' effect on fracture resistance of a glass-fiber post system. *Eur J Dent* 2:23-28
2. Ahn SG, Sorensen JA (2003) Comparison of mechanical properties of various post and core materials. *J Korean A Prosthodont* 41:288-299
3. Akgungor G, Sen D, Aydin M (2008) Influence of different surface treatments on the short-term bond strength and durability between a zirkonia post and a composite resin core material. *J Prosthet Dent* 99:388-399
4. Aksornmuang J, Nakajima M, Foxton RM, Pannyayong W, Tagami J (2008) Regional bond strength and failure of fiber posts bonded to root canal dentin. *Oper Dent* 33:636-643
5. Al-Harbi F, Nathanson D (2003) In vitro assessment of retention of four esthetic dowels to resin core foundation and teeth. *J Prosthet Dent* 90:547-555
6. Alves J, Walton R, Drake D (1998) Coronal leakage: endotoxin penetration from mixed bacterial communities through obturated, post-prepared root canals. *J Endod* 24:587-591
7. Aquilino SA, Caplan DJ (2002) Relationship between crown placement and the survival of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 87:256-263
8. Asmussen E, Peutzfeldt A, Heitmann T (1999) Stiffness, elastic limit and strength of newer types of endodontic posts. *J Dent* 27:275-278
9. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A (2005) Bonding of resin cements to post materials: influence to surface energy characteristics. *J Adhes Dent* 7:231-234
10. Asmussen E, Peutzfeldt A, Sahafi A (2005) Finite element analysis of stresses in endodontically treated dowel-restored teeth. *J Prosthet Dent* 94:321-329
11. Attin T, Hellwig E, Hilgers RD (1994) Der Einfluss verstärkender Wurzelstifte auf die Frakturanfälligkeit endodontisch versorgter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 49:586-589
12. Aversa R, Apicella D, Perillo L, Sorrentino R, Zarone F, Ferrari M, Apicella A (2009) Non-linear elastic three-dimensional finite element analysis on the effect of endocrown material rigidity on alveolar bone remodeling process. *Dent Mater* 25:678-690

13. Axelsson P, Nyström B, Lindhe J (2004) The long-term effect of a plaque control program on tooth mortality, caries and periodontal disease in adults. Results after 30 years of maintenance. *J Clin Periodontol* 31:749-757
14. Balkenhol M, Wöstmann B, Rein C, Ferger P (2007) Survival time of cast post and cores: a ten year retrospective study. *J Dent* 35:50-58
15. Barjau-Escribano A, Sancho-Bru JL, Forner-Navarro L, Rodríguez-Cervantes PJ, Pérez-González A, Sánchez-Marín FT (2006) Influence of prefabricated post material on restored teeth: fracture strength and stress distribution. *Oper Dent* 31:47-54
16. Barkhordar RA, Radke R, Abbasi J (1989) Effect of metal collars on resistance of endodontically treated teeth to root fracture. *J Prosthet Dent* 61: 676-678
17. Bartolotto T, Ferrari M, Susin A, Krejci I (2009) Morphology of the smear layer after the application of simplified self-etch adhesives on enamel and dentin surfaces created with different preparation methods. *Clin Oral Investig*
18. Beer R, Baumann MA, Kielbassa AM (2004) *Taschenatlas der Endodontie*. Thieme, Stuttgart, New York
19. Bergman B, Lundquist P, Sjogren U, Sundquist G (1989) Restorative and endodontic results after treatment with cast posts and cores. *J Prosthet Dent* 61:10-15
20. Blankenstein F, Naumann M, Lange KP (2002) Überlebenswahrscheinlichkeit endodontisch behandelter Zähne - Vorschlag zur klinischen Erfassung des Erhaltungsgrades. *Dtsch Zahnärztl Z* 57:558-561
21. Boldt J, Rottner K, Richter EJ (2007) Die Biomechanik von Stift-Stumpfaufbauten bei oberen Frontzähnen. *Dtsch Zahnärzteblatt* 116:484-487
22. Bourgeois RS, Lemon RR (1981) Dowel space preparation and apical leakage. *J Endod* 7:66-69
23. Buonocore MG (1955) A simple method of increasing the adhesion of acrylic filling materials to enamel surfaces. *J Dent Res* 34:849-853
24. Butz F, Lennon AM, Heydecke G, Strub JR (2001) Survival rate and fracture strength of endodontically treated maxillary incisors with moderate defects restored with different post and core systems: an in vitro study. *Int J Prosthodont* 14:58-64

25. Cagidiaco MC, Garcia-Godoy F, Vichi A, Grandini S, Goracci C, Ferrari M (2008) Placement of fiber prefabricated or custom made posts affects the three-year survival of endodontically treated premolars. *Am J Dent* 21:179-184
26. Cagidiaco MC, Goracci C, Garcia-Godoy F, Ferrari M (2008) Clinical studies of fiber posts: a literature review. *Int J Prosthodont* 21:328-336
27. Caplan DJ, Kolker J, Rivera EM, Walton RE (2002) Relationship between number of proximal contacts and survival of root canal treated teeth. *Int Endod J* 35:193-199
28. Caputo AA, Standlee JP (1976) Pins and posts- why, when and how. *Dent Clin North Am* 20:299-31
29. Standlee JP, Caputo AA (1992) Endodontic dowel retention with resinous cements. *J Prosthet Dent* 68:913-917
30. Cathro PR, Chandler NP, Hood JA (1996) Impact resistance of crowned endodontically treated central incisors with internal composite cores. *Endod Dent Traumatol* 12:124-128
31. Chailertvanitkul P, Saunders WP, Mackenzie D (1996) An assessment of microbial coronal leakage in teeth root-filled with gutta-percha and three different sealers. *Int Endod J* 29:387-392
32. Cohen BI, Pagnillo MK, Newman I, Musikant BL, Deutsch AS (2000) Retention of four endodontic posts cemented with composite resin. *Gen Dent* 48:320-324
33. Creugers NH, Mentink AG, Käyser AF (1993) An analysis of durability data on post and core restorations. *J Dent* 21:281-284
34. Cvetkovič T, Takmiscija H (1970) Restoration of damaged tooth crowns. *Stomatol Vjesn* 4:5-18
35. D' Arcangelo C, D' Amario M, De Angelis F, Zazzeroni S, Vadini M, Caputi S (2007) Effect of application technique of luting agent on the retention of three types of fiber-reinforced post systems. *J Endod* 33:1378-1382
36. Dean JP, Jeanson BG, Sarkar N (1998) In vitro evaluation of carbon fiber posts. *J Endod* 24:807-810
37. De Long R, Douglas WH (1991) An artificial oral environment for testing dental materials. *IEEE Trans Biomed Eng* 38:339-345
38. De Moor R, De Bruyn H (2008) The choice between conservation of a tooth using endodontic treatment and crown restoration or extraction of the tooth and its

- replacement by an implant. Recommendations for a single tooth. *Rev Belge Med Dent* 63:147-153
39. Dietschi D, Duc O, Krejci I, Sadan A (2007) Biomechanical considerations for the retoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature. Part 1: composition and micro- and macrostructure alterations. *Quintessence Int* 38:733-743
 40. Edelhoff D, Spiekermann H, Yildirim M (2000) Klinische Erfahrungen mit konfektionierten Wurzelstiften und individuellen Stumpfaufbauten aus Keramik. *Dtsch Zahnärztl Z* 55:746-750
 41. Edelhoff D, Heidemann D, Kern M, Weigl P (2003) Aufbau endodontisch behandelter Zähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 58:199-206
 42. Eichner K, Kappert HF (2000) Zahnärztliche Werkstoffe und ihre Verarbeitung. Band 1: Grundlagen und ihre Verarbeitung. Thieme, Stuttgart, New York
 43. Erkut S, Gulsahi K, Caglar A, Imirzalioglu P, Karbhari VM, Ozmen I (2008) Microleakage in overflared root canals restored with different fiber-reinforced dowels. *Oper Dent* 33:96-105
 44. Ferrari M, Cagidiaco MC, Goracci C, Vichi A, Mason PN, Radovic I, Tay F (2007) Long-term retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *Am J Dent* 20:287-291
 45. Feruse AY, Peutzfeldt A, Asmussen E (2008) Effect of evaporation of solvents from one-step, self-etching adhesives. *J Adhes Dent* 10:35-39
 46. Fokkinga WA, Kreulen CM, Vallittu PK, Creugers NH (2004) A structured analysis of in vitro failure loads and failure modes of fiber, metal and ceramic post-and-core systems. *Int J Prosthodont* 17:476-482
 47. Fox K, Gutteridge DL (1997) An in vitro study of coronal microleakage in root-canal-treated teeth restored by the post and core technique. *Int Endod J* 30:361-368
 48. Foxton RM, Nakajima M, Tagami J, Miura H (2003) Bonding of photo- and dual-cure adhesives to root canal dentin. *Oper Dent* 28:543-551
 49. Fusayama T, Maeda T (1969) Effect of pulpectomy on dentin hardness. *J Dent Res* 48:452-460
 50. Gargiulo AW, Wentz FM, Orban B (1961) Dimension and relations of the dento-gingival junction in humanes. *J Periodontol* 32:261

51. Gernhardt CR, Bekes K, Schaller HG (2005) Short-term retentive values of zirconium oxide posts cemented with glass-ionomer and resin cement: an in-vitro study and case report. *Quintessence Int* 36:593-601
52. Geßner TD (2007) Entwicklung einer Kaukraftmessapparatur zur Planung vollkeramischer Restaurationen im CAD-Verfahren. Zahnmed. Diss., Universität des Saarlandes
53. Goracci C, Sadek FT, Fabianelli A, Tay FR, Ferrari M (2005) Evaluation of the adhesion of fiber posts to intraradicular dentin. *Oper Dent* 30:627-635
54. Grandini S, Goracci C, Monticelli F, Tay FR, Ferrari M (2005) Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation. *Dent Mater* 21:75-82
55. Guzy GE, Nicholls JI (1979) In vitro comparison of intact endodontically treated teeth with and without endo-post reinforcement. *J Prosthet Dent* 42:39-44
56. Harris FL (1970) An efficient one-visit impression technique for gold-post and cast crown fabrication. *Dent Dig* 76:464-466
57. Hatzikyriakos AH, Reisis GI, Tsingos N (1992) A three-year postoperative clinical evaluation of posts and cores beneath existing crowns. *J Prosthet Dent* 67:454-458
58. Hemmings KW, King PA, Setchell DJ (1991) Resistance to torsional forces of various post and core designs. *J Prosthet Dent* 66:325-329
59. Heydecke G, Butz F, Strub JR (2001) Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems. *J Dent* 29:427-433
60. Heydecke G, Butz F, Hussein A, Strub JR (2002) Fracture strength after dynamic loading of endodontically treated teeth restored with different post and core systems. *J Prosthet Dent* 87:438-445
61. Heydecke G, Peters MC (2002) The restoration of endodontically treated single-rooted teeth with cast or direct post and cores: a systematic review. *J Prosthet Dent* 87:380-386
62. Holmes DC, Diaz-Arnold AM, Leary JM (1996) Influence of post dimension on stress distribution on dentin. *J Prosthet Dent* 75:140-147
63. Horan BB, Tordik PA, Imamura G, Goodell GG (2008) Effect of dentin thickness on root surface temperature of teeth undergoing ultrasonic removal of posts. *J Endod* 34:453-455

64. Howe CA, McKendry DJ (1990) Effect of endodontic access preparation on resistance to crown-root-fracture. *J Am Dent Assoc* 121:712-715
65. Hsu YB, Nicholls JI, Phillips KM, Libman WJ (2002) Effect of core bonding on fatigue failure of compromised teeth. *Int J Prosthodont* 15:175-178
66. Huysmans MC, Van der Varst PG (1995) Mechanical longevity estimation model for post-and-core restorations. *Dent Mater* 11:252-257
67. Iqbal MK, Johansson AA, Akeel RF, Bergenholtz A, Omar R (2003) A retrospective analysis of factors associated with the periapical status of restored, endodontically treated teeth. *Int J Prosthodont* 16:31-38
68. Isidor F, Brøndum K, Ravnholt G (1999) The influence of post length and crown length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts. *Int J Prosthodont* 12:78-82
69. Junge T, Nicholls JI, Phillips KM, Libman WJ (1998) Load fatigue of compromised teeth: a comparison of three luting cements. *Int J Prosthodont* 11:558-564
70. Kern M, Schaller HG, Strub JR (1993) Marginal fit of restorations before and after cementation in vivo. *Int J Prosthodont* 6:885-891
71. Khayat A, Lee SJ, Torabinejad M (1993) Human saliva penetration of coronally unsealed obturated root canals. *J Endod* 19:458-461
72. Kinney JH, Marshall SJ, Marshall GW (2003) The mechanical properties of human dentin: a critical review and re-evaluation of the dental literature. *Crit Rev Oral Biol Med* 14:13-29
73. Kovács DG, Fabián T (1966) The use of residual roots for anchoring post crowns. *Fogorv Sz* 57:353-357
74. Krejci I, Reich T, Lutz F, Albertoni M (1990) An in vitro test procedure for evaluating dental restoration systems. A computer controlled mastication simulator. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 100:953-960
75. Kremeier K, Fasen L, Klaiber B, Hofmann N (2008) 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
76. Lang M, Mc Hugh S, Burke FJT (2003) In vitro fracture resistance of teeth with dentin-bonded ceramic crowns and core build-ups. *Am J Dent* 16:88-96
77. Lang H, Raab WHM (2005) Auswirkung endodontisch-präparativer Maßnahmen auf die Stabilität von Frontzähnen. *Dtsch Zahnärztl Z* 60:26-31

78. Lang H, Korkmaz Y, Schneider K, Raab WH (2006) Impact of endodontic treatments on the rigidity of the root. *J Dent Res* 85:364-368
79. Lee JJ, Nettey-Marbell A, Cook A Jr, Pimenta LA, Leonard R, Ritter AV (2007) Using extracted teeth for research: the effect of storage medium and sterilization on dentin bond strengths. *J Am Dent Assoc* 138:1599-1603
80. Lehmann KM, Hellwig E (1998) Einführung in die restaurative Zahnheilkunde. Urban & Schwarzenberg, Kösel, Kempten
81. Lovdahl PE, Nicholls JI (1977) Pin-retained amalgam cores vs. Cast gold dowel cores. *J Prosthet Dent* 38:507-514
82. Luu KQ, Walker RT (1992) Corrosion of a nonprecious metal post: a case report. *Quintessence Int* 23:389-392
83. Madison S, Zakariasen KL (1984) Linear and volumetric analysis of apical leakage in teeth prepared for posts. *J Endod* 10:422-427
84. Magni E, Mazzitelli C, Papacchini F, Radovic I, Goracci C, Coniglio I, Ferrari M (2007) Adhesion between fiber posts and resin luting agents: a microtensile bond strength test and an SEM investigation following different treatment of the post surface. *J Adhes Dent* 9:195-202
85. Magni E, Ferrari M, Hickel R, Ilie N (2009) Evaluation of the mechanical properties of dental adhesives and glass-ionomer cements. *Clin Oral Investig*
86. Magura ME, Kafrawy AH, Brown CE Jr, Newton CW (1991) Human saliva coronal microleakage in obturated root canals: an in vitro study. *J Endod* 17:324-331
87. Mannocci F, Sherriff M, Watson TF, Vallittu PK (2005) Penetration of bonding resins into fibre-reinforced composite posts: a confocal microscopic study. *Int Endod J* 38:46-51
88. Martínez-Insua A, Da Silva L, Rilo B, Santana U (1998) Comparison of the fracture resistance of pulpless teeth restored with a cast post and core or carbon-fiber post with a composite core. *J Prothet Dent* 80:527-532
89. Mayhew JT, Windchy AM, Goldsmith LJ, Gettleman L (2000) Effect of root canal sealers and irrigation agents on retention of preformed posts luted with a resin cement. *J Endod* 26:341-344
90. Mc Laren EA, Sorensen JA (1997) Flexural strength of ceramic materials with different treatments. *J Dent Res* 76:392

91. Meira JB, Quitero MF, Braga RR, Placido E, Rodrigues FP, Lima RG, Ballester RY (2008) The suitability of different FEA models for studying root fractures caused by wedge effect. *J Biomed Mater Res A* 84:442-446
92. Mendoza DB, Eakle WS, Kahl EA, Ho R (1997) Root reinforcement with a resinbonded preformed post. *J Prosthet Dent* 78:10-14
93. Metha SB, Millar BJ (2008) A comparison of the survival rate of fibre posts cemented with two different composite resin systems. *Br Dent J* 13:205
94. Meyenberg KH, Lüthy H, Schärer P (1995) Zirconia posts: a new all-ceramic concept for nonvital abutment teeth. *J Esthet Dent* 7:73-80
95. Mezzomo E, Massa F, Líbera SD (2003) Fracture resistance of teeth restored with two different post-and-core designs cements with two different cements: An in vitro study. *Quintessence Int* 34:301-306
96. Milot P, Stein RS (1992) Root fracture in endodontically treated teeth related to post selection and crown design. *J Prosthet Dent* 68:428-435
97. Mörmann WH (2006) The evolution of the cerec system. *J Am Dent Assoc* 137:7-13
98. Monticelli F, Grandini S, Goracci C, Ferrari M (2003) Clinical behaviour of translucent fiber posts: a two year prospective study. *Int J Prosthodont* 16:593-596
99. Moosavi H, Maleknejad F, Kimyai S (2008) Fracture resistance of endodontically treated teeth restored using three root-reinforcement methods. *J Contemp Dent Pract* 1:30-37
100. Morneburg TR, Pröschel PA (2002) Measurement of masticatory forces and implant loads: a methodologic clinical study. *Int J Prosthodont* 15:20-27
101. Mues S, Mues A, Grüner M, Utz KH, Bayer S, Sobarzo V, Stark H, Helfgen EH (2007) Temperaturbelastung strukturell geschwächter oberer Incisivi bei der Stiftbohrung. *Dtsch Zahnärztl Z* 62:514-517
102. Nagai T, Kawamoto Y, Kakehashi Y, Matsumura H (2005) Adhesive bonding of a lithium disilicate ceramic material with resin-based luting agents. *J Oral Rehab* 32:598-605
103. Naumann M, Blankenstein F, Lange KP (2002) Vorschlag zur Standardisierung von in-vitro Belastbarkeitsuntersuchungen an endodontisch behandelten Zähnen. *Dtsch Zahnärztl Z* 57:554-557

104. Naumann M, Lange KP (2003) Ansichten und Techniken zur Rekonstruktion endodontisch behandelter Zähne- eine Umfrage unter Zahnärzten im Bundesgebiet. *Dtsch Zahnärztl Z* 58:280-285
105. Naumann M, Blankenstein F, Kießling S, Dietrich T (2005) Risk factors for failure of glass fibre-reinforced composite post restorations: a prospective observational clinical study. *Eur J Oral Sci* 113:519-524
106. Naumann M, Rosentritt M, Preuß A (2006) Belastbarkeit adhäsiv rekonstruierter oberer, mittlerer Schneidezähne in Abhängigkeit vom Material der Kronenzementierung: eine vergleichende In-vitro-Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 61:479-483
107. Naumann M (2007) Rekonstruktion endodontisch behandelter Zähne- glasfaserverstärkte Aufbaustifte in vivo und in vitro. Zahnmed. Habil., Universitätsmedizin Berlin
108. Naumann M, Reich RS, Nothdurft FP, Beuer F, Schirrmeister JF, Dietrich T (2008) Survival of glass fiber post restorations over five years. *Am J Dent* 21:267-272
109. Naumann M, Sterzenbach G, Rosentritt M, Beuer F, Frankenberger R (2008) Is adhesive cementation of endodontic posts necessary? *J Endod* 34:1006-1010
110. Nergiz I, Schmage P, Ozcan M, Platzer U (2002) Effect of length and diameter of tapered posts on the retention. *J Oral Rehabil* 29:28-34
111. Newcomb GM (1974) The relationship between the location of subgingival crown margins and gingival inflammation. *J Periodontol* 45:151-154
112. Nixon C, Vertucci FJ, Swindle R (1991) The effect of post space preparation on the apical seal of root canal obturated teeth. *Today's FDA* 3:1-6
113. Nothdurft FP, Gernet W, Pospiech PR (2003) In-vitro Untersuchungen zu vollkeramischen Stiftaufbauten aus Zirkonoxid. *Dtsch Zahnärztl Z* 58:451-456
114. Nothdurft FP, Pospiech PR (2006) Clinical evaluation of pulpless teeth restored with conventionally cemented zirconia posts: a pilot study. *J Prosthet Dent* 95:311-314
115. Nothdurft FP, Schmitt T, Motter PJ, Pospiech PR (2008) Influence of fatigue testing and cementation mode on the load-bearing capability of bovine incisors restored with crowns and zirconiumdioxide posts. *Clin Oral Investig* 12:331-336

116. Nothdurft FP, Seidel E, Gebhart F, Naumann M, Motter PJ, Pospiech PR (2008) The fracture behavior of premolar teeth with class II cavities restored by both direct composite restorations and endodontic post systems. *J Dent* 36:444-449
117. Nothdurft FP, Motter PJ, Pospiech PR (2009) Effect of surface treatment on the initial bond strength of different luting cements to zirconium oxide ceramic. *Clin Oral Investig* 13:229-235
118. Palmer DS, Barco MT, Billy EJ (1992) Temperature extremes produced orally by hot and cold liquids. *J Prosthet Dent* 67:325-327
119. Peroz I, Blankenstein F, Lange KP, Naumann M (2005) Restoring endodontically treated teeth with posts and cores: a review. *Quintessence Int* 36:737-746
120. Pfeiffer P, Schulz A, Nergiz I, Schmage P (2006) Yield strength of zirconia and glass fibre-reinforced posts. *J Oral Rehab* 33:70-74
121. Porciani PF, Vano M, Radovic I, Goracci C, Grandini S, Garcia-Godoy F, Ferrari M (2008) Fracture resistance of fiber posts: combinations of several small posts vs. standardized single post. *Am J Dent* 21:373-376
122. Portell FR, Bernier WE, Lorton L, Peters DD (1982) The effect of immediate versus delayed dowel space preparation on the integrity of the apical seal. *J Endod* 8:154-160
123. Pospiech P (2002) Die prophylaktisch orientierte Versorgung mit Teilprothesen. Thieme, Stuttgart, New York
124. Pospiech P (2004) Keramik-Vollkeramik. Ein Kompendium für die keramikgerechte Anwendung vollkeramischer Systeme in der Zahnmedizin. 3M ESPE AG, Seefeld
125. Pröbster L, Diehl J (1992) Slip-casting alumina ceramics for crown and bridge restorations. *Quintessence Int* 23:25-31
126. Quaas AC, Yang B, Kern M (2007) Panavia F 2.0 bonding to contaminated zirconia ceramic after different cleaning procedures. *Dent Mater* 23:506-512
127. Qualtrough AJ, Mannocci F (2003) Tooth-coloured post systems: a review. *Oper Dent* 28:86-91
128. Radovic I, Monticelli F, Papacchini F, Magni E, Cury A, Vulicevic ZR, Ferrari M (2007) Accelerated aging of adhesive-mediated fiber post-resin composite bonds: a modeling approach. *J Dent* 35:683-689

129. Radovic I, Corciolani G, Magni E, Krstanovic G, Pavlovic V, Vulicevic ZR, Ferrari M (2009) Light transmission through fiber posts: the effect on adhesion, elastic modulus and hardness of dual-cure resin cement. *Dent Mater* 25:837-844
130. Ring ME (1985) *Geschichte der Zahnmedizin*. Könenmann, Köln
131. Rosentritt M, Fürer C, Behr M, Lang R, Handel G (2000) Comparison of in vitro fracture strength of metallic and tooth-coloured posts and cores. *J Oral Rehab* 27:595-601
132. Rosentritt M, Sikora M, Behr M, Handel G (2004) In vitro fracture resistance and marginal adaptation of metallic and tooth-coloured post systems. *J Oral Rehab* 31:675-681
133. Rosentritt M, Behr M, Gebhard R, Handel G (2006) Influence of stress simulation parameters on the fracture strength of all-ceramic fixed-partial dentures. *Dent Mater* 22:176-182
134. Rundquist BD, Versluis A (2006) How does canal taper affect root stresses? *Int Endod J* 39:226-237
135. Sahafi A, Peutzfeldt A, Ravnholt G, Asmussen E, Gotfredsen K (2005) Resistance to cyclic loading of teeth restored with posts. *Clin Oral Investig* 9:84-90
136. Salameh Z, Sorrentino R, Ounsi HF, Sadig W, Atiyeh F, Ferrari M (2008) The effect of different full-coverage crown systems on fracture resistance and failure pattern of endodontically treated maxillary incisors restored with without glass fiber posts. *J Endod* 34:842-846
137. Santana FR, Pereira JC, Pereira CA, Fernandes Neto AJ, Soares CJ (2008) Influence of method and period of storage on the microtensile bond strength of indirect composite resin restorations to dentin. *Braz Oral Res* 22:352-357
138. Saunders WP, Saunders EM (1994) Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy- a review. *Endod Dent Traumatol* 10:105-108
139. Scharnagel P (1998) *Simulation der physiologischen Zahnbeweglichkeit bei der in-vitro Belastungsprüfung dentaler Restaurationen im "Regensburger Kausimulator". Untersuchung am Beispiel vollkeramischer In-Ceram-Brücken*. Zahnmed. Diss., Universität Regensburg
140. Schmage P, Pfeiffer P, Pinto E, Platzer U, Nergiz I (2009) Influence of oversized dowel space preparation on the bond strengths of FRC posts. *Oper Dent* 34:93-101
141. Schmeißner H (1979) Zur Belastbarkeit gegossener Stiftaufbauten in Abhängigkeit unterschiedlicher Präparationsgestaltung. *Dtsch Zahnärztl Z* 34:744

142. Schnell FJ (1978) Effect of immediate dowel space preparation on the apical seal of endodontically filled teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 45:470-474
143. Seefeld F, Wenz HJ, Ludwig K, Kern M (2007) Resistance to fracture and structural characteristics of different fiber reinforced post systems. *Dent Mater* 23:265-271
144. Sedgley CM, Messer HH (1992) Are endodontically treated teeth more brittle? *J Endod* 18:332-335
145. Shono Y, Ogawa T, Terashita M, Carvalho RM, Pashley EL, Pashley DH (1999) Regional measurement of resin-dentin bonding as an array. *J Dent Res* 78:699-704
146. Sidoli GE, King PA, Setchell DJ (1997) An in vitro evaluation of a carbon fiber-based post and core system. *J Prosthet Dent* 78:5-9
147. Signore A, Benedicenti S, Kaitsas V, Barone M, Angiero F, Ravera G (2009) Long-term survival of endodontically treated, maxillary anterior teeth restored with either tapered or parallel-sided glass-fiber posts and full-ceramic crown coverage. *J Dent* 37:115-121
148. Silness J, Gustavsen F, Hunsbeth J (1979) Distribution of corrosion products in teeth restored with metal crown retained by stainless steel posts. *Acta Odontol Scand* 37:317-321
149. Simonetti M, Radovic I, Vano M, Chieffi N, Goracci C, Tognini F, Ferrari M (2006) The influence of operator variability on adhesive cementation of fiber posts. *J Adhes Dent* 8:421-425
150. Snawder KD, Gonzalez WE Jr. (1975) Management of severely diseased primary anterior teeth. *ASDC J Dent Child* 42:181-185
151. Soares CJ, Santana FR, Pereira JC, Araujo TS, Menezes MS (2008) Influence of airborne-particle abrasion on mechanical properties and bond strength of carbon/epoxy and glass/ bis-GMA fiber-reinforced resin posts. *J Prosthet Dent* 99:444-454
152. Sorensen JA, Martinoff JT (1984) Clinically significant factors in dowel design. *J Prosthet Dent* 52:28-35
153. Sorensen JA, Martinoff JT (1984) Intracoronal reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 51:780-784
154. Sorensen JA, Engelman MJ (1990) Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Prosthet Dent* 63:529-536
155. Standlee JP, Caputo AA (1993) Effect of surface design on retention of dowels cemented with a resin. *J Proth Dent* 70:403-405

156. Strub JR, Türp JC, Blatz MB, Heydecke G (1999) Vorbehandlung. Aufbau vitaler und avitaler Pfeilerzähne. Praxis der Zahnheilkunde Band I, Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin
157. Strub JR, Pontius O, Koutayas S (2001) Survival rate and fracture strength of incisors restored with different post and core systems after exposure in the artificial mouth. J Oral Rehab 28:120-124
158. Strub JR, Türp JC, Witkowski S, Hürzeler MB, Kern M (2005) Curriculum Prothetik Band I-III. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin
159. Taira Y, Sakai M, Yang L, Sanase T, Atsuta M (2007) Bond strength between luting materials and fiber-reinforced resin composite for indirect restorations. Dent Mater J 26:628-634
160. Tan PL, Aquilino SA, Gratton DG, Stanford CM, Tan SC, Johnson WT, Dawson D (2005) In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configuration. J Prosthet Dent 93:331-336
161. Tay FR, Pashley DH (2007) Monoblocks in root canals: a hypothetical or a tangible goal. J Endod 33:391-398
162. Taylor JK, Jeansonne BG, Lemon RR (1997) Coronal leakage: effects of smear layer, obturation technique and sealer. J Endod 23:508-512
163. Thoma M (2008) Rasterelektronenmikroskopische Analyse des adhäsiven Verbundes konfektionierter zahnfarbener Wurzelstifte in formkongruenten und übergroßen Wurzelkanälen. Zahnmed. Diss., Universität des Saarlandes
164. Tjan AH, Whang SB (1985) Resistance to root fracture of dowel channels with various thickness of buccal dentin walls. J Prosthet Dent 53:496-500
165. Toksavul S, Zor M, Toman M, Güngör MA, Nergiz I, Artunç C (2006) Analysis of dental stress distribution of maxillary central incisors subjected to various post-and-core applications. Oper Dent 31:89-96
166. Torbjörner A, Karlsson S, Odman PA (1995) Survival rate and failure characteristics for two post designs. J Prosthet Dent 73:439-444
167. Torbjörner A, Fransson B (2004) A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth. Int J Prosthodont 17:369-376
168. Trajtenberg CP, Caram SJ, Kiat-Amnuay S (2008) Microleakage of all-ceramic-crowns using self-etching resin luting agents. Oper Dent 33:392-399
169. Trope M, Maltz DO, Tronstad L (1985) Resistance to fracture of restored endodontically treated teeth. Endod Dent Traumatol 1:108-111

170. Tschechne S, Gloerfeld H (2007) Zur Indikation von Wurzelstiften bei der Restauration endodontisch behandelter Zähne. *Dtsch Zahnärzteblatt* 116:460-470
171. Vano M, Goracci C, Monticelli F, Tognini F, Gabriele M, Tay FR, Ferrari M (2006) 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
172. Vano M, Cury AH, Goracci C, Chieffi N, Gabriele M, Tay FR, Ferrari M (2008) Retention of fiber posts cemented at different time intervals in canals obturated using an epoxy resin sealer. *J Dent* 36:801-807
173. Viguie G, Malquarti G, Vincent B, Bourgeois D (1994) Epoxy/ carbon composite resins in dentistry: mechanical properties related to fiber reinforcement. *J Prosthet Dent* 72:245-249
174. Vire DE (1991) Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. *J Endod* 17:338-342
175. Wattanawongpitak N, Nakajima M, Ikeda M, Foxton RM, Tagami J (2009) Microtensile bond strength of etch-and-rinse and self-etching adhesives to intrapulpal dentin after endodontic irrigation and setting of root canal sealer. *J Adhes Dent* 11:57-64
176. Wang YS, Zhang L, Chen JH Goracci C, Ferrari M (2008) Influence of c-factor on the microtensile bond strength between fiber posts and resin luting agents. *J Adhes Dent* 10:385-391
177. Watzke R, Blunck U, Frankenberger R, Naumann M (2008) Interface homogeneity of adhesively luted glass fiber posts. *Dent Mater* 24:1512-1517
178. Wegner PK, Freitag S, Kern M (2006) Survival rate of endodontically treated teeth with posts after prosthetic restoration. *J Endod* 32:928-931
179. Weigl P, Heidemann D (2001) *Restaurative Therapie des endodontisch behandelten Zahnes*. Endodontie, Urban & Fischer Verlag, München
180. Weine FS, Wax AH, Wenckus CS (1991) Retrospective study of tapered, smooth post systems in place for ten years and more. *J Endodont* 17:293-297
181. Wiland L (1966) A dimension-controlled and accurate procedure for a gold post restoration of an anterior tooth. *Dent Dig* 72:394-397
182. Wirz J, Johner M, Pohler O (1980) Corrosion behaviour of different screws and posts in the root canal. *SSO Schweiz Monatsschr Zahnheilkd* 90:217-242

183. Wrbas KT, Schirrmeister JF, Altenburger MJ, Agrafioti A, Hellwig E (2007) Bond strength between fibre posts and composite resin cores: effect of post surface silanization. *Int Endod J* 40:538-543
184. Xie D, Brantley WA, Culbertson BM, Wang G (2000) Mechanical properties and microstructure of glass-ionomer cements. *Dent Mater* 16:129-138
185. Xu WX, Xu K, Ruan DP (2007) DT Light-Post system for prosthodontic treatment of residual root and crown teeth. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue* 16:603-606
186. Yang B, Ludwig K, Adelung R, Kern M (2006) Micro-tensile bond strength of three luting resins to human regional dentin. *Dent Mater* 22:45-56
187. Yoldas O, Oztunc H, Tinaz AC, Alparslan N (2004) Perforation risk associated with the use of Masserann endodontic kit drills in mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 97:513-517
188. Yoldas O, Akova T, Uysal H (2005) An experimental analysis of stresses in simulated flared root canals subjected to various post-core applications. *J Oral Rehab* 32:427-432
189. Yoldas O, Alaçam T (2005) Microhardness of composites in simulated root canals cured with light transmitting posts and glass-fiber-reinforced composite posts. *J Endod* 31:104-106
190. Zadik Y, Sandler V, Bechor R, Salehrabi R (2008) Analysis of factors related to extraction of endodontically treated teeth. *Radiol Endod* 106:31-35
191. Zakariasen KL, Jordan R, Madison S (1983) Avoiding perforations during post preparation. *J Can Dent Assoc* 49:127-129
192. Zhang L, Magni E, Radovic I, Whang YJ, Chen JH, Ferrari M (2008) Effect of curing modes of dual-curing luting systems and root regions on retention of translucent fiber posts in root canals. *J Adhes Dent* 10:219-226
193. Zmener O (1980) Effect of dowel preparation on the apical seal of endodontically treated teeth. *J Endod* 6:687-690

7. Danksagung

Herrn Prof. Dr. Matthias Hannig, Direktor der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde des Universitätsklinikums des Saarlandes, möchte ich für die Bereitstellung des Themas und seine Unterstützung während der gesamten Arbeit danken.

Frau ZÄ Dr. Karin Huber danke ich herzlich für die Betreuung in der experimentellen Phase der Arbeit.

Frau Dipl. Math. Dr. Mei Fang Ong vom Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Medizinische Informatik des Universitätsklinikums des Saarlandes sei gedankt für die fundierte Einführung in die statistische Auswertung mittels SPSS.

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen einer gemeinschaftlichen Studie mit Frau ZÄ Lieselotte Popp. Für die gute Kooperation im gemeinsamen experimentellen Teil möchte ich mich bedanken.

Folgenden Firmen danke ich für die Bereitstellung von Materialien zur Herstellung der Prüfkörper:

- Gebr. Brassler GmbH & Co. KG, Lemgo (DentinPost- und CeraPost-System)
- VDW, München (DT-Light Post-System)
- Vita Zahnfabrik H. Rauter GmbH & Co. KG, Bad Säckingen (In-Ceram Blocs for Cerec, Keramikmassen für In-Ceram)
- 3M ESPE Deutschland GmbH, Neuss (Impregum, Ketac-Cem)
- Kuraray Europe GmbH, Frankfurt/ Main (Clearfil Photocore, Clearfil SE Bond, Panavia F 2.0)
- Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim (Cerec 3D)

Herrn Axel Rüsicke, Mitarbeiter der Firma Sirona Dental Systems GmbH, bin ich für die Organisation der Termine und seine Unterstützung bei der Nutzung der Cerec 3 D-Einheiten in Bensheim zu großem Dank verpflichtet.

Dem Dentallabor Schappé, Bexbach, danke ich für die Hilfestellung bei der Glasinfiltration der InCeram-Kronengerüste.

Mein besonderer Dank gilt Frau Zahntechnikerin Nicole Bartoli, Praxislabor Dr. Michael Laufersweiler, für ihre tatkräftige Unterstützung bei der Verblendung sämtlicher In-Ceram-Kronen.

8. Lebenslauf

Zur Person: Andrea Isabelle Laufersweiler, geb. am 01.03.1979 in Saarbrücken

Eltern: Evelyne Laufersweiler, geb. Bartoli
Dr. med. dent. Peter Michael Laufersweiler

Schulbildung:

1985 bis 1989 Grundschule Hohe Wacht in Saarbrücken
1989 bis 1998 Deutsch-Französisches Gymnasium in Saarbrücken
19.06.1998 Zeugnis der Allgemeinen Hochschulreife und des
Baccalauréat Français

Studium:

WS 1998 bis WS 2005 Studium der Zahnheilkunde, Universitätsklinikum des Saarlandes
WS 2001/2002 Naturwissenschaftliche Vorprüfung
17.09.2002 Zahnärztliche Vorprüfung
29.11.2005 Approbation

Berufsausübung:

01.01.2006 Vorbereitungsassistentin (Praxis Dr. Michael Laufersweiler,
Bahnhofstrasse 78, 66111 Saarbrücken)
Seit 01.01.2008 Angestellte Zahnärztin (Praxis Dr. Michael Laufersweiler,
Bahnhofstrasse 78, 66111 Saarbrücken)