

Aus dem Institut für zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin  
und Funktionslehre  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Einfluss des Stiftmaterials  
auf die Überlebenswahrscheinlichkeit  
postendodontischer Restaurationen - Ergebnisse  
einer randomisierten, kontrollierten klinischen Studie

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von  
Alexandra Franke-Hums

aus Berlin

Datum der Promotion: 02.03.2018



---

## **Widmung**

Meiner Familie in Liebe und Dankbarkeit.



---

## Zusammenfassung

Diese randomisierte, kontrollierte klinische Studie wurde mit der Fragestellung durchgeführt, welchen Einfluss das Material von adhäsiv befestigten, konfektionierten Aufbaustiften [Titan versus glasfaserverstärktes Komposit (engl.: glass fiber reinforced composite - GFRC)] auf die Überlebenswahrscheinlichkeit postendodontischer Restaurationen bei ausgeprägtem Zahnhartsubstanzverlust hat.

Achtundneunzig Patienten, bei denen die postendodontische Versorgung mit Aufbaustiften indiziert war, wurden auf ihre Studientauglichkeit hin untersucht. Einundneunzig Patienten erfüllten die Einschlusskriterien. Durch Randomisierung erfolgte die Einteilung der Studienteilnehmer in zwei Therapiegruppen. Sechsvierzig Patienten erhielten Titanaufbaustifte und 45 Patienten glasfaserverstärkte Kompositstifte (GFRC-Stifte) in Kombination mit einem autokatalytisch polymerisierenden Kompositaufbau. Alle Stifte wurden mit dem selbsthaftenden Befestigungskomposit RelyX Unicem™ (3M ESPE) adhäsiv befestigt. Im Rahmen der definitiven Versorgung wurde in allen Fällen eine zirkulär angelegte Fassreifenpräparation (engl.: Ferrule-Design) von 2 mm sichergestellt. Es erfolgten Nachuntersuchungen im Abstand von 3, 6 und 12 Monaten und jährlich bis zu 84 Monate nach Stiftinsertion. Von 91 Patienten, welche die Einschlusskriterien erfüllten, wurden 4 Patienten für den weiteren Studienverlauf ausgeschlossen, da sie nicht der Basis-Nachuntersuchung (U1 drei Monate nach Intervention) zur Verfügung standen. Von 87 Probanden erfolgte nach 84 Monaten Nachuntersuchungszeit die Datenanalyse. Die Überlebensrate nach sieben Jahren betrug für die Titanstiftgruppe 93,5 % und für die GFRC-Stiftgruppe 90,2 %. Es gab insgesamt sieben Misserfolge zu verzeichnen; davon ereigneten sich drei als endodontisches Versagen im Therapiearm B (Titan). Im Therapiearm A (GFRC) wurden insgesamt 4 Ereignisse beobachtet, davon eine Wurzelfraktur im zervikalen Drittel, eine Wurzelfraktur im mittleren Drittel, eine Aufbaufaktur bei dem endständigen Pfeiler einer Extensionsbrücke und ein Zahnverlust aufgrund erhöhter Zahnlockerung. Die Überlebensraten beider Stiftmaterialien zeigten keinen statistisch signifikanten Unterschied. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass beide Stiftmaterialien zur Rekonstruktion endodontisch behandelte Zähne gleichermaßen geeignet sind, wenn sie adhäsiv im Wurzelkanal befestigt werden und eine 2 mm Fassreifenpräparation angelegt wird.

Schlagwörter: klinische Studie, endodontisch behandelte Zähne, Glasfaser-Aufbaustift, Titan-Aufbaustift, adhäsive Befestigung



---

## Abstract

This randomized controlled trial aimed to compare the clinical outcome of post-endodontic restored abutment teeth with severely coronal hard tissue loss with prefabricated titanium or glass fibre-reinforced composite posts (GFRC-posts) adhesively luted with self-adhesive universal resin composite RelyX Unicem™ (3M ESPE). Ninety-eight patients with need of postendodontic restorations were assessed for eligibility. Ninety-one patients met the selection criteria and were randomized allocated to two intervention groups. Forty-five participants were treated using a glass fibre-reinforced composite post and 46 participants received titanium posts, each in combination with composite core build-ups for postendodontic restoration. All posts were adhesively luted within the root canal using RelyX Unicem™ (3M ESPE). A circumferential ferrule of 2 mm was always provided, if necessary with surgical crown lengthening. Patients were observed in intervals of 3, 6 and 12 month and annually up to 84 month after post placement. Four patients were lost to follow-up.

The overall 84-month survival rate was 92 %. The 84-month survival rate for titanium was 93.5 % and 90.2 % for GFRC-posts. Seven failures were observed: three due to endodontic reason (titanium), three post-related failures (GFRC), which occurred as root fracture (n=2) and as core fracture (n=1) and one failure was observed due to parodontic reason (GFRC). There is no statistically significant difference in the mid-term survival of titanium and glass fibre-reinforced composite posts. Both, titanium and glass fibre-reinforced composite posts, result in successful treatment outcomes after seven years when luted with self-adhesive universal resin composite RelyX Unicem™ (3M ESPE).

Keywords: clinical trial, endodontically treated teeth, glass fibre post, titanium post, adhesive cementation

---

# Inhaltsverzeichnis

Widmung		III
Zusammenfassung		V
Abstract		VII
Abkürzungsverzeichnis		XII
1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Der endodontisch behandelte Zahn	3
2.1.1	epidemiologische Daten	3
2.1.2	Frakturrisiko EBZ	4
2.1.3	Faktoren des endodontischen Erfolges	6
2.2	postendodontische Versorgung	7
2.3	Indikation und Funktion von Wurzelstiften	9
2.4	Klassifikation von Wurzelstiften	10
2.5	Stiftmaterialien	11
2.5.1	Metall-Wurzelstifte	11
2.5.1.1	Aktive Metall-Wurzelstifte	11
2.5.1.2	Passive Metall-Wurzelstifte	12
2.5.2	Nichtmetall-Wurzelstifte	13
2.5.2.1	Keramik-Wurzelstifte	14
2.5.2.2	Stiftsysteme mit Kunststoffmatrix	15
2.5.2.2.1	konfektionierte Kohlenfaser-Wurzelstifte	16
2.5.2.2.2	konfektionierte Quarz- und Glasfaser-Wurzelstifte	17
2.6	Befestigung von Wurzelstiften	17
2.6.1	Besonderheiten des adhäsiven Verbundes im Wurzelkanal	20
2.7	Fassreifeneffekt	22

---

2.8	Die Problematik der Stiftauswahl	24
2.8.1	Einflussfaktoren auf die Überlebensraten stiftversorgter EBZ	24
2.8.2	Rigidität versus Flexibilität	25
2.8.2.1	in vitro-Studien	26
2.8.2.2	klinische Studien	28
3	Problemstellung	31
3.1	Studienziele	31
3.2	Nullhypothese	32
4	Material und Methode	33
4.1	Studiendesign	33
4.2	Auswahl der Probanden	33
4.3	Intervention	35
4.3.1	Stiftbettpräparation	36
4.3.2	Stumpfaufbau	38
4.3.3	Stumpfpräparation	39
4.4	Ergebnisse	39
4.4.1	primäre und sekundäre Endpunkte	39
4.4.2	Nachuntersuchungen	40
4.4.3	Auswertungen	41
4.5	Fallzahlbestimmung	41
4.6	Randomisierung	41
4.7	Verblindung	42
4.8	statistische Methoden	42
5	Ergebnis	43
5.1	Ein- und Ausschlüsse	43
5.2	Patientenaufnahme und Nachbeobachtung	45
5.3	Patientencharakteristika zu Studienbeginn	45

---

5.4	Anzahl der ausgewerteten Probanden	49
5.5	Ergebnisse und Schätzmethoden	49
5.6	Zusätzliche Analysen	53
5.7	unerwünschte Wirkungen	53
6	Diskussion	54
6.1	Methodenkritik	54
6.2	Generalisierbarkeit	56
6.3	Ergebniskritik	57
7	Schlussfolgerung	64
8	Literaturverzeichnis	65
	Danksagung	74
	Lebenslauf	76
	Votum der Ethikkommission	78
	Eidesstattliche Erklärung	80
	Anteilsklärung an erfolgten Publikationen	82

## **Abkürzungsverzeichnis**

AFM	atomic force microscope
CCM	Campus Charité Mitte
CONSORT	Consolidated Standards Of Reporting Trials
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EBZ	Endodontisch behandelter Zahn
EDTA	Ethylenediaminetetraacetic acid
EM	Edelmetall
E-Modul	Elastizitätsmodul
CHX	Chlorhexidin
FEA	Finite-Elemente-Analyse
FRC	fiber reinforced composite
FRC-Stift	Faserverstärkter Kompositstift
GFRC	glasfiber reinforced composite
GFRC-Stift	Glasfaserverstärkter Kompositstift
HTA	Health Technology Assessment
KV	Knochenverlust
MOD	mesial-okklusal-distal
NADENT	Normenausschuss Dental
NEM	Nicht-Edelmetall
NLM	United States National Library of Medicine
Pat - ID	Patienten - Identifikationsnummer

---

PL	periapikale Läsion
RCT	randomized controlled trial
REM	Raster-Elektronen-Mikroskop
SAR	self-adhesive resin
SSA	Stift-Stumpf-Aufbau
SR	systematic review
TCML	thermal cycling and mechanical loading
WF	Wurzelfüllung
WKB	Wurzelkanalbehandlung
ZE	Zahnersatz
ZHS	Zahnhartsubstanz



### **1 Einleitung**

*Wie können endodontisch behandelte Zähne bestmöglich rekonstruiert werden?*

Ein Blick auf die Entwicklung der Zahnheilkunde in Deutschland und auch weltweit in den Industrienationen offenbart die zentrale Bedeutung dieser Frage. So ist in den letzten Jahrzehnten ein Trend hin zur maximalen Zahnhartsubstanzschonung zu beobachten (Ashley and Harris 2001). Moderne Behandlungskonzepte präferieren minimal-invasive Therapieansätze zur Rekonstruktion verloren gegangener Zahn-hartsubstanz (ZHS). Hauptursache für Zahndefekte sind kariesbedingte Schäden gefolgt von Zahnhartsubstanzerosionen und Attritionen aber auch Traumata. Zeitgemäße Füllungsmaterialien wie Komposite zur direkten- und keramische Restaurationen zur indirekten Defektversorgung bieten in Kombination mit der Adhäsivtechnik zahnhartsubstanzschonende Therapieoptionen, um die funktionellen und ästhetischen Anforderungen für die Rekonstruktion verlorener Zahnhartsubstanz zu erfüllen. Ist in Folge einer caries profunda oder eines traumatischen Ereignisses eine irreversible Schädigung der Pulpa eingetreten, so ist eine Wurzelkanalbehandlung erforderlich (G. Heydecke 2002). Wurzelstifte (Synonym: Aufbaustifte) kommen zum Einsatz, um bei einem unzureichendem Maß an Restzahnhartsubstanz endodontisch behandelte Zähne (EBZ) die adäquate Retention des postendodontischen Aufbaus zu gewährleisten (Gutmann 1992). Die Indikation zur Stiftinsertion sollte streng in Abhängigkeit von der residualen ZHS gestellt werden, um die strukturelle Integrität des zu versorgenden Zahnes nicht zusätzlich durch die Kanalbettpräparation zur Aufnahme des Stiftes zu gefährden (Baratieri, De Andrada et al. 2000; Bolhuis, De Gee et al. 2001). Industriell gefertigte, konfektionierte Stifte haben die früher üblichen gegossenen Stift-Stumpfaufbauten verdrängt, da diese in der Herstellung zeitintensiver sind und mit einem erhöhten Laboraufwand einhergehen (De Sort 1983). Die Wahl eines geeigneten Stiftmaterials bleibt nach wie vor umstritten (Torbjørner and Fransson 2004; Bolla, Müller-Bolla et al. 2007). Aktuelle Forschungen widmen sich der Frage, ob rigiden oder eher flexiblen Materialien der Vorzug gegeben werden sollte (Zhou and Wang 2013). Rigide Stiftmaterialien sind Dentalmaterialien mit einem hohen Elastizitätsmodul (E-Modul) wie Zirkondioxid oder Metalle. Demgegenüber kamen in den 1990er-Jahren Materialien mit einem dentinähnlichen E-Modul [ $\sim 19$  GPa (Craig 2006)] auf den Markt (Duret, Reynaud et al. 1990). Diese Aufbaustifte bestehen aus Carbon-, Quarz- oder

## *Einleitung*

---

Glasfasern, die in eine Kunststoffmatrix eingebettet sind. Es wurde die Theorie entwickelt, dass sich ein dentinähnlicher E-Modul von Wurzelstiften positiv auf das klinische Verhalten stiftversorgter EBZ auswirkt (Naumann 2007). Bedingt durch ihre Flexibilität soll es unter Belastung zu einer dem natürlichen Zahn vergleichbaren Stressverteilung kommen (Pegoretti, Fambri et al. 2002). Klinische Studien belegen, dass mit dem Einsatz von faserverstärkten Stiften hohe Erfolgsraten erzielt werden können (Ferrari, Vichi et al. 2002b; Piovesan, Demarco et al. 2007). Es stellt sich die Frage, ob faserverstärkte Stiftsysteme einen klinischen Vorteil gegenüber metallischen, rigiden Stiftsystemen bieten.

## **2 Literaturübersicht**

### **2.1 Der endodontisch behandelte Zahn**

Die endodontische Behandlung ist die einzige zahnerhaltende, medizinische Behandlungsmethode, die bei einer irreversiblen Schädigung der Pulpa angewendet werden kann. Eine irreversible Schädigung der Pulpa ist meist die Folge einer caries profunda oder eines traumatischen Ereignisses, gefolgt von einer pulpalen bakteriellen Infektion (G. Heydecke 2002). Eine aufsteigende Parodontitis (Paro-Endo-Läsion) sowie im Ausnahmefall die Devitalisierung für prothetische Zwecke können ebenso eine Wurzelkanalbehandlung (WKB) erfordern. Die endodontische Behandlung beinhaltet die mechanische Eliminierung des infizierten Pulpagewebes, die chemische Desinfektion, die Formgestaltung sowie die Füllung und Versiegelung des Wurzelkanalsystems.

#### **2.1.1 epidemiologische Daten**

Endodontische Zahnerkrankungen sind weltweit verbreitet. Dabei steigt die Morbidität mit zunehmendem Alter. Eine fachspezifische epidemiologische Studie zeigt, dass jeder zweite 50-Jährige eine behandelte oder unbehandelte endodontische Erkrankung aufweist. Bei den über 60-Jährigen steigt der Anteil der Betroffenen bereits auf 62 % (Eriksen 1991). Erhebungen zur Ermittlung der Häufigkeit endodontischer Erkrankungen, die das Österreichische Institut für Gesundheitswesen (ÖBIG) in den Jahren 1998 und 2000 durchführen ließ, zeigen selbst in einem hochentwickelten Land wie Österreich eine ähnliche Situation. Während 18 % der Erwachsenen im Alter von 18 Jahren mindestens einen wurzelbehandelten Zahn aufweisen (Sax 1999), sind es bereits 58 % bei den 65- bis 74-Jährigen (Sax and Städler 2001). Erwachsene im Alter von 35- bis 44 Jahren haben in ihren Gebissen durchschnittlich 1,7 wurzelbehandelte, devitale Zähne (Sax and Städler 2001). Die Zahl der mit den Primär- und Ersatzkassen abgerechneten Wurzelkanalfüllungen in Deutschland (alte Bundesländer) im Jahre 2002 berief sich auf rund 6,8 Millionen. Seit 1975 ist die Zahl der Wurzelkanalfüllungen um rund drei Millionen kontinuierlich angestiegen, wohingegen die Zahl der Extraktionen deutlich gesunken ist (Habl, Bodenwinkler et al. 2006).

### 2.1.2 Frakturrisiko EBZ

In vitro-Ergebnisse bestätigen eine reduzierte Frakturresistenz EBZ gegenüber Nicht-EBZ (Reeh, Douglas et al. 1989; Nothdurft, Seidel et al. 2008; Bitter, Meyer-Lueckel et al. 2010). Basierend auf einer Studie von HELFER et al. (Helfer, Meinick et al. 1972), in der bei devitalen Zähnen ein Feuchtigkeitsverlust von etwa 10 % nachgewiesen werden konnte, ging die Fachwelt lange davon aus, dass die erhöhte Frakturanfälligkeit EBZ der Austrocknung von Dentin und einer damit einhergehenden Sprödigkeit geschuldet ist (Assif and Gorfil 1994; Dietschi, Duc et al. 2007; Faria, Rodrigues et al. 2011). In den neunziger Jahren wurde eine signifikante Änderung des Feuchtigkeitsgehaltes durch den Wegfall der pulpalen Zirkulation bei marktoten Zähnen widerlegt (Papa, Cain et al. 1994). In vitro-Studien zum Vergleich der physikalischen Eigenschaften von Dentin (z. B. Mikrohärtigkeit, Elastizitätsmodul (E-Modul), Zug- und Druckfestigkeit) bei EBZ und Nicht-EBZ Zähnen kamen in ihren Resultaten überein, dass die strukturellen Veränderungen im Dentin, die mit einem Vitalitätsverlust einhergehen, so gering sind, dass die Frakturfestigkeit EBZ durch diese Parameter nicht beeinflusst wird (Lewinstein and Grajower 1981; Huang, Schilder et al. 1992; Sedgley and Messer 1992).

CHERON et al. (Cheron, Marshall et al. 2011) untersuchten die nanomechanischen Veränderungen im radikulären intertubulären Dentin von EBZ im Rasterkraftmikroskop (AFM - atomic force microscope) und verglichen sie mit einer Kontrollgruppe Nicht-EBZ. Es konnten keine signifikanten Veränderungen hinsichtlich E-Modul und Nanohärte ermittelt werden. Die Studie ist in der Hinsicht limitiert, dass aus ihr nicht hervorgeht, ob und mit welchen Chemikalien die vorausgegangene WKB erfolgt ist und somit der eventuelle Einfluss aggressiver Chemikalien nicht berücksichtigt wurde. Diverse Chemikalien, die zum Entfernen der Schmierschicht oder als Desinfektionsmittel während der endodontischen Behandlung dienen, können Strukturänderungen im Wurzelkanaldentin hervorrufen. Chelatoren wie Ethylendiamin-tetraessigsäure (EDTA – Ethylenediamine-tetraacetic acid) beispielsweise interagieren mit anorganischen Dentinbestandteilen und führen zur Demineralisation von intertubulärem Dentin und zu einer Dentinerweichung durch Bindung von Kalziumionen (Kawasaki, Ruben et al. 1999; Hulsmann, Heckendorff et al. 2003). Natriumhypochlorit (NaOCl) hingegen hat einen Gewebe auflösenden Effekt (Gordon, Damato et al. 1981) und

interagiert mit organischen Dentinbestandteilen indem es die Proteolyse von langkettigen Peptiden wie Kollagen induziert (Gordon, Damato et al. 1981; Mountouris, Silikas et al. 2004). Wasserstoffperoxid ( $H_2O_2$ ) reagiert sowohl mit anorganischen (Demineralisierung) als auch mit organischen Dentinbestandteilen (Denaturierung) und reduzierte im Laborversuch die Mikrohärtigkeit sowohl von Dentin als auch von Schmelz signifikant (Lewinstein, Hirschfeld et al. 1994). Die Spülung des Wurzelkanals mit EDTA (17 %, 1 ml) reduzierte die Mikrohärtigkeit signifikant stärker als eine Wechselspülung mit Wasserstoffperoxid (3 %, 1 ml) und Natriumhypochlorit (5 %, 1 ml) (Saleh and Ettman 1999). Es sind weitere Studien erforderlich, um den Einfluss der während der endodontischen Behandlung verwendeten Chemikalien auf die Frakturfestigkeit EBZ abschließend zu bewerten.

Einigkeit besteht in der Literatur darüber, dass der durch Karies oder Traumata verursachte, der endodontischen Behandlung vorausgegangene sowie der durch die WKB erfolgte Zahnhartsubstanzverlust durch Präparation der Zugangskavität und Aufbereitung der Wurzelkanäle eine entscheidende Einflussgröße auf die Frakturresistenz EBZ ist (Sorensen and Martinoff 1984; Peroz, Blankenstein et al. 2005; Dietschi, Duc et al. 2007; Dietschi, Duc et al. 2008). Die Belastbarkeit des postendodontischen Komplexes gilt als kritisch, wenn durch Kariesexkavation oder endodontische Maßnahmen der Kanaleingang so stark aufgeweitet (engl.: flared) wird, dass die verbliebene Wurzelkanalwandstärke auf unter 1 mm reduziert ist (Naumann, Preuss et al. 2006). REEH et al. (Reeh, Douglas et al. 1989) konnten nachweisen, dass die Präparation der Trepanationsöffnung und die endodontische Behandlung per se die Strukturstabilität EBZ nur um ca. 5 % reduzierte, wohingegen die Präparation einer MOD-Kavität (ohne restaurative Versorgung) einen 67-69%igen Stabilitätsverlust verursachte. Davon konnten 63 % Stabilitätsverlust auf den substantiellen Verlust der ZHS zurück geführt werden. Da der Stabilitätsverlust unabhängig von der Art der MOD-Kavitätenpräparation war (Präparation für Onlay, Amalgam, Komposit) schlussfolgerten die Autoren, dass der Verlust der circumferalen Integrität primär verantwortlich für eine reduzierte Frakturfestigkeit EBZ ist.

Die Abwesenheit schützender Feedback-Mechanismen durch den Verlust der Pulpa mit ihrer propriozeptiven Funktion könnte ein zusätzlicher Risikofaktor für die erhöhte Frakturanfälligkeit EBZ sein. So zeigten RANDOW und GLANTZ (Randow and Glantz

1986) in einer experimentellen klinischen Studie auf, dass devitale Zähne unter Belastung bis zur Schmerzgrenze ein mehr als doppelt so hohes Belastungslevel akzeptierten als vitale Zähne. Zwischen anästhesierten vitalen und devitalen Zähnen gab es demgegenüber keinen Unterschied. Die Ergebnisse dieser Studie suggerieren, dass die propriozeptive Funktion der vitalen Pulpa effektiver ist als die propriozeptive Funktion des Parodontiums.

Die Vermutung liegt nahe, dass die Kombination aus dem Verlust der Propriozeption und einer reduzierten Strukturstabilität hauptverantwortlich für das erhöhte Frakturrisiko von endodontisch behandelten Zähnen ist. Der Erhalt und Schutz von verbliebener Zahnhartsubstanz und die indikationsgerechte Rekonstruktion verloren gegangener ZHS ist daher zu gewährleisten, um die biomechanischen Eigenschaften EBZ zu optimieren.

### 2.1.3 Faktoren des endodontischen Erfolges

Die Entzündungsfreiheit nach abgeschlossener Wurzelbehandlung ist neben Erhalt und Schutz von verbliebener ZHS ein bedeutsamer Faktor für die Prognose EBZ. Vier Parameter für die Entzündungsfreiheit EBZ haben HABL et al. (Habl, Bodenwinkler et al. 2006). in ihrem Technologiefolgenbericht (Health Technology Assessment - HTA) für die DAHTA<sup>1</sup> als prognostisch besonders bedeutsam herausgearbeitet:

- a) Der präoperative Ausgangsbefund (Pulpastatus, periapikaler Status)
- b) Die Qualität der Wurzelfüllung (WF)
- c) Der Zahntyp (Frontzahn, Prämolare, Molar)
- d) Der Verschluss der koronalen Zugangskavität und die endgültige Restauration des EBZ

Konsens herrschte unter den Autoren der für den HTA-Bericht eingeschlossenen 18 Studien (elf zur konventionellen und sieben zur chirurgischen WKB) hinsichtlich der

---

<sup>1</sup> Deutsche Agentur für Health Technology Assessment des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information (DIMDI)

prognostischen Bedeutung des Faktors *präoperativer Ausgangsbefund (a)*.

Zähne mit Pulpanekrose und gleichzeitiger periapikaler Läsion (PL) weisen nach Ansicht der Autoren deutlich niedrigere Erfolgsquoten auf als Zähne mit vitaler Pulpa oder Pulpanekrose ohne assoziierte PL. HABL et al. (Habl, Bodenwinkler et al. 2006) zitieren SJÖGREN et al. (Sjogren, Hagglund et al. 1990) mit einer Erfolgsrate von 96 % bei Zähnen ohne nachweisbare PL und einer statistisch signifikant niedrigeren Erfolgsrate von 86 % bei Zähnen mit assoziierter PL.

Die *Wurzelfüllung (b)* in hoher Qualität, d. h. dicht, homogen und wandständig und optimal extendiert (0 bis 2 mm vor radiologisch sichtbaren Apex) schützt nach sorgfältiger Kanalaufbereitung und -desinfektion in Kombination mit der koronalen Restauration das Wurzelkanalsystem vor einer bakteriellen Reinfektion.

Hinsichtlich des *Zahntypus (c)* ist festzuhalten, dass Molaren aufgrund ihrer Stellung im Kiefer, ihrer vermehrten Anzahl von Wurzeln und meist komplizierten Wurzelanatomie mit starken Verzweigungen und Seitenkanälen eine tendenziell schlechtere Prognose als Prämolaren oder Frontzähne aufweisen.

Zur Sicherstellung des endodontischen Erfolges muss nach übereinstimmender Ansicht der Autoren der EBZ durch eine geeignete *definitive postendodontische Restauration (d)* bakteriendicht versiegelt werden.

## **2.2 postendodontische Versorgung**

Eine essentielle Aufgabe der postendodontischen Versorgung ist es, den bakteriendichten Verschluss des koronalen Defektes zu gewährleisten, um eine Reinfektion des Endodonts zu vermeiden. Die Versorgung sollte daher definitiv und nicht provisorisch sein. Provisorien und temporäre Befestigungsmaterialien sind permeabel für Speichel, Mikroorganismen und Toxine. Eine undichte koronale Restauration führt zu koronalen Mikrospalten (engl.: coronal leakage), welche als ein wesentlicher Faktor für das Versagen einer endodontischen Behandlung angesehen werden (Saunders and Saunders 1994; Basaran, Ayna et al. 2012). In einer prospektiven klinischen Studie war die Erfolgsrate nach endodontischer Behandlung bei Zähnen, die unmittelbar nach Einbringen der Wurzelfüllung definitiv versorgt werden konnten signifikant höher als bei EBZ, die nur eine provisorische Kronenrestauration erhielten (Friedman, Abitbol et al. 2003).

Des Weiteren kann die indikationsgerechte postendodontische definitive Versorgung

## Literaturübersicht

die verminderte Strukturstabilität EBZ bei Verlust der circumferalen Integrität weitgehend ausgleichen (Reeh, Douglas et al. 1989). Zur Reduktion des Frakturrisikos (siehe 2.1.2) sollte sie sich daher nach dem Ausmaß des Zerstörungsgrades richten. NAUMANN (Naumann 2003) evaluierte hierfür eine quantitative Bestimmung der residualen Zahnhartsubstanz und ordnete den Befundklassen eine Therapieempfehlung zu. Das vorgestellte Therapiekonzept ist in wesentlichen Elementen kohärent zu der gemeinsamen Stellungnahme der DGZMK<sup>2</sup>, der DGZPW<sup>3</sup> und der DGZ<sup>4</sup> (Edelhoff 2003). Die Therapieempfehlungen orientieren sich am Grad der Defektausdehnung (Abbildung 1).

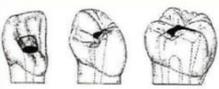
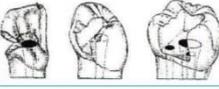
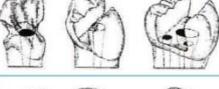
Defektausdehnung	Kavitätenkonfiguration	Klasse	Stift	Aufbau	Definitive Versorgung
	Zugangskavität, alle Kavitätenwände vorhanden	I	nein	-	Bevorzugt direkt adhäsiv (Komposit), indirekt (Inlay) möglich
	Zugangskavität, drei Kavitätenwände vorhanden	II	nein	-	Bevorzugt direkt adhäsiv (Komposit), indirekt (Inlay) möglich
	Zugangskavität, zwei Kavitätenwände vorhanden	III	nein	adhäsiv	Adhäsiv (direkt = Komposit, indirekt = Inlay)
	Zugangskavität, eine Kavitätenwand vorhanden	IV	FRC*, Titan (konfektioniert)	Komposit	stets indirekte Versorgung: Frontzahn = Krone, Seitenzahn = Teilkrone, (Krone)
			gegossener SSA denkbar		
	Zugangskavität, keine Kavitätenwand vorhanden (dekapitiert)	V	FRC, Titan (konfektioniert)	Komposit	Krone
			gegossener SSA denkbar		
*FRC (Fiber reinforced composite post) = Faserverstärkter Kompositstift					

Abbildung 1: Klassifikation der Defektausdehnungen und entsprechende Therapieempfehlungen nach NAUMANN (Naumann 2003).

<sup>2</sup> Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

<sup>3</sup> Deutsche Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde

<sup>4</sup> Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung

### **2.3 Indikation und Funktion von Wurzelstiften**

Entgegen der weitläufig verbreiteten Meinung unter deutschen Zahnärzten (55 % gemäß einer deutschlandweiten Umfrage 2006 (Naumann, Kiessling et al. 2006)) führt die Anwendung von Wurzelstiften nicht per se zu einer Stabilisierung des Wurzelkomplexes und somit zu einer gesteigerten Frakturresistenz EBZ (Sorensen 1990). Laborstudien haben gezeigt, dass durch eine exzessive Kanalbettpräparation zur Aufnahme des Stiftes eine Schwächung der Wurzel eintreten kann (Baratieri, De Andrada et al. 2000; Bolhuis, De Gee et al. 2001). Die Indikation zur Stiftinsertion sollte daher streng in Abhängigkeit von der residualen ZHS gestellt werden, um die strukturelle Integrität des zu versorgenden Zahnes nicht zusätzlich zu gefährden. NAUMANN (Naumann 2003) empfiehlt die Anwendung von Wurzelstiften nur in den Kavitätenkonfigurationen Klasse IV (Zugangskavität und eine verbliebene Kavitätenwand) und Klasse V (Zugangskavität und keine verbliebene Kavitätenwand). Bei stark zerstörten Pfeilerzähnen (Klasse IV und V) übernehmen Wurzelstifte (Synonym Aufbaustifte) die Funktion, dem Aufbaumaterial Retention zu bieten und somit eine weitere prothetische Versorgung des EBZ zu ermöglichen (Gutmann 1992; Goracci and Ferrari 2011).

Ergebnisse verschiedener Studien deuten darauf hin, dass durch indikationsgerechtes Inserieren eines Wurzelstiftes bei tief zerstörten Pfeilerzähnen neben der Funktion dem Aufbau Retention zu bieten, auch Frakturprophylaxe betrieben werden kann (Bitter, Noetzel et al. 2009; Ferrari, Vichi et al. 2012). STERZENBACH et al. (Sterzenbach, Rosentritt et al. 2012) untersuchten die Ermüdungsbelastung durch thermomechanische Wechsellast (engl.: thermal cycling and mechanical loading - TCML) an dekapierten EBZ (Klasse V) unterschiedlicher Restaurationsphasen. Die Ergebnisse der Studie verdeutlichen, dass mit jedem Restaurationsschritt (adhäsiv befestigter FRC-Aufbaustift, adhäsiver plastischer Stumpfaufbau, und Ferrule-Effekt nach definitiver Kronenversorgung) die Belastbarkeit des postendodontischen Komplexes signifikant ansteigt.

Diesen Sachverhalt unterstützen die Beobachtungen einer klinischen Studie, in deren Verlauf ersichtlich wurde, dass EBZ (Klasse V) in Anwesenheit eines (adhäsiv befestigten) Wurzelstiftes eine signifikant höhere Überlebensrate haben als EBZ (Klasse V), die nicht mit einem Wurzelstift versorgt werden (Bitter, Noetzel et al. 2009).

Demgegenüber konnte bei Vorhandensein von bereits zwei residualen Kavitätenwänden (Klasse III) kein positiver Einfluss auf die Frakturresistenz EBZ durch die Anwesenheit eines Wurzelstiftes ermittelt werden (Bitter, Meyer-Lueckel et al. 2010). Die Studie untersuchte die Effekte der endodontischen Behandlung, der Anwesenheit von Wurzelstiften aus faserverstärktem Komposit (engl.: fiber reinforced composite - FRC) und der Art der keramischen Versorgung auf die Frakturresistenz von EBZ mit zwei residualen Kavitätenwänden (MOD-Kavität mit einer Restwandstärke von 2 mm) im zyklischen thermo-mechanischen Belastungstest. Einen positiven Einfluss auf die Frakturresistenz hatte in allen drei Gruppen (Nicht-EBZ / EBZ / EBZ mit Stift) die Überkuppelung der tragenden Höcker mit einer Krone oder Teilkrone gegenüber der Versorgung mit einem MOD-Inlay oder einem partiellen Onlay. Zwischen EBZ mit und ohne Stift war dieser Effekt ähnlich groß.

Mit Hilfe statischer Frakturfestigkeitstests konnte nachgewiesen werden, dass die Frakturresistenz EBZ unabhängig von einer Stiftinsertion mit der Anzahl der residualen Kavitätenwände steigt (Sorrentino, Monticelli et al. 2007). Dies bedeutet auch, dass kein Wurzelstift benötigt wird, wenn genügend Zahnhartsubstanz erhalten ist, um dem Aufbaumaterial und der definitiven Versorgung adäquaten Halt zu bieten. Die Indikation zur Insertion eines Wurzelstiftes ist nach heutigem Erkenntnisstand auf tief zerstörte EBZ (Klasse IV und V) limitiert.

### **2.4 Klassifikation von Wurzelstiften**

Stiftsysteme können nach verschiedenen Parametern eingeteilt werden. Eine Klassifikation ist sinnvoll, da jeder Parameter einen mehr oder minder starken Einfluss auf den Erfolg oder Misserfolg einer Stift-Stumpf-Aufbauversorgung haben kann. Eine klare Einteilung und eindeutige Nomenklatur wurde vom Normenausschuss Dental (NADENT) des Deutschen Institutes für Normung e. V. (DIN) im Zuge der Normierung für Aufbaustifte vorgenommen (Abbildung 2). Die Einteilung erfolgt hierbei hierarchisch nach Art der Herstellung (direkt/indirekt), nach Art des Einbringens in den Wurzelkanal (aktiv/passiv), nach der Verwendung der vorgefertigten Anteile (vollkonfektioniert/teilkonfektioniert/individuell) und nach der Geometrie des Stiftkörpers (konisch/zylindrisch/stufenförmig-zylindrisch/zylindrokonisch).

Die Einteilung nach Art des Materials in Metall-Wurzelstifte und Nichtmetall-Wurzelstifte wurde in der DIN-Klassifikation nicht explizit vorgenommen, erscheint durch die

fortlaufende Entwicklung neuer Materialien jedoch sinnvoll. Metall-Wurzelstifte können weiter in Gewindeanker und in passive Stiftsysteme und Nichtmetall-Wurzelstifte in Keramik-Wurzelstifte und Stiftsysteme mit Kunststoffmatrix unterteilt werden (Naumann 2005).

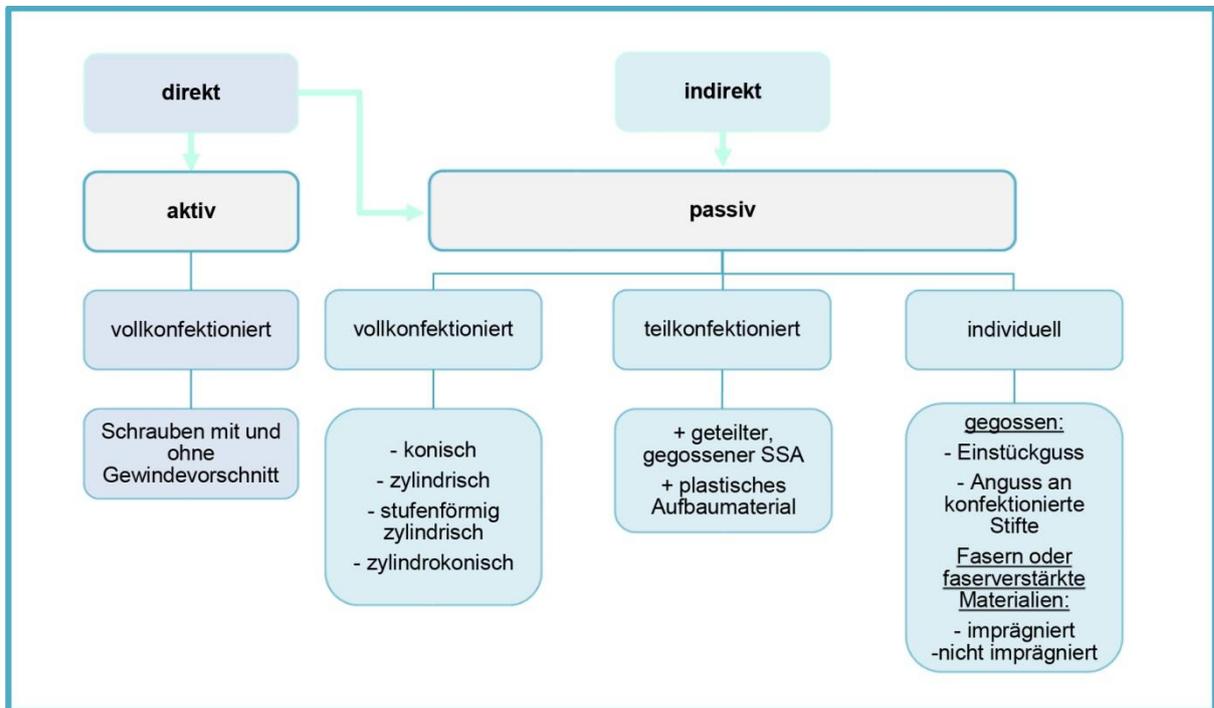


Abbildung 2: DIN-Klassifikation von Aufbaustiften, modifiziert nach (Naumann 2011).

## 2.5 Stiftmaterialien

### 2.5.1 Metall-Wurzelstifte

Metall-Wurzelstifte können in aktiver Form als Gewindeanker (Schrauben) oder in passiver Form als konfektionierte, teilkonfektionierte oder individuell hergestellte Stift-Stumpf-Aufbauten (SSA) vorliegen.

#### 2.5.1.1 Aktive Metall-Wurzelstifte

Aktive Metall-Wurzelstifte sind alle Arten von Schraubensystemen. Sie können sich entweder durch ein selbstschneidendes Gewinde im Wurzelkanal verankern oder in ein bereits durch einen genormten Hand-Gewindeschneider vorgebohrtes Gewinde eingeschraubt werden. Gewindeanker wurden bereits Ende des 19. Jahrhunderts

entwickelt und wurden laut einer Umfrage noch im Jahr 2002 von 47 % der befragten praktisch tätigen Zahnärzte in Deutschland verwendet (Naumann, Kiessling et al. 2006). Dies könnte der guten Retention von Schraubensystemen (Standlee, Caputo et al. 1978) und der schnellen Durchführbarkeit geschuldet sein. Gewindeanker haben jedoch den entscheidenden Nachteil, dass sie im Wurzelkambium deutlich höhere Spannungen induzieren als passive Stiftsysteme (Standlee, Caputo et al. 1980) und somit Wurzelfrakturen provozieren können (Standlee, Collard et al. 1970; Schmitter, Lippenberger et al. 2010). Vor allem konische, selbstschneidende Stifte stellen ein hohes Frakturrisiko für die Wurzel dar, da sie einerseits durch das Einschrauben in den Wurzelkanal Spannungen erzeugen und andererseits formbedingt eine Keilwirkung ausüben (Naumann 2011). Die Kraft, die zum Eindrehen eines Stiftes aufgewendet werden muss entspricht 25% der Krafteinwirkung, die zur Fraktur eines Zahnes führt. Werden beim Einschrauben stärkere Kräfte entwickelt, dann können bereits beim Einschrauben des Gewindeankers Wurzelsprengungen hervorgerufen werden (Standlee, Collard et al. 1970). Klinische Studien zur Untersuchung der Überlebensraten von Stiftsystemen bestätigen, dass durch den Einsatz von Schrauben das Misserfolgsrisiko EBZ signifikant steigt (Schmitter, Rammelsberg et al. 2007; Schmitter, Hamadi et al. 2011). Ein neuer Ansatz könnte die Verwendung von parallelwandigen, kurzen Schraubensystemen bei Zähnen mit kurzer Wurzel und Oberkiefer-Frontzähnen sein. In einer in vitro-Studie erreichten diese Systeme vergleichbar hohe Frakturfestigkeitswerte wie vorbehandelte FRC-Wurzelstifte und signifikant bessere Ergebnisse als unbehandelte FRC-Wurzelstifte (Schmitter, Lippenberger et al. 2010).

### 2.5.1.2 Passive Metall-Wurzelstifte

Passive Metall-Wurzelstifte werden ausschließlich durch einen Befestigungszement in der Zahnwurzel verankert. Hierbei wurde nachgewiesen, dass ein passgenauer Sitz im Wurzelkanal mit Kontakt zur Wurzelkanalwand keine verbesserte Retention bewirkt (Standlee, Caputo et al. 1972), sondern durch Klemmpassung ein Keileffekt auf die Wurzelwände ausgeübt wird, der als eine Ursache für Längsfrakturen der Wurzel gilt (Assif and Gorfil 1994). Passive Metall-Wurzelstifte können laborgefertigte metallische SSA sein, die im indirekten Verfahren hergestellt werden oder konfektionierte Stifte, die im direkten Verfahren zur Aufbauretention verwendet werden.

Laborgefertigte metallische SSA werden entweder nach Abformung des

Wurzelkanallumens aus einem Stück gegossen (individuell) oder werden an einen konfektionierten angussfähigen Stift angegossen (teilkonfektioniert). Zur indirekten Fertigung werden Nicht-Edelmetalllegierungen (NEM-Legierungen) oder hochgoldhaltige Legierungen im Angussverfahren angewendet. Der gegossene SSA war bis zur Einführung der direkten Verfahren zur Stiftverankerung viele Jahre Standard und ist bis heute im klinischen Alltag eine verbreitete Methode zur Versorgung EBZ (Naumann, Kiessling et al. 2006). Er gilt in der Fachwelt jedoch als nicht mehr zeitgemäß, da er gegenüber konfektionierten Metall-Wurzelstiften in Verbindung mit einem plastischen adhäsiven Kompositaufbau keinen klaren klinischen Vorteil bietet und im Herstellungsprozess aufwändig und fehlerbehaftet ist (Naumann 2005). So kann es durch kleinste Gussperlen an Stift oder Aufbau, die während des Gussprozesses entstehen können, zu der bereits erwähnten Klemmpassung im Wurzelkanal und infolgedessen zu Wurzelfrakturen kommen. Lunkerbildung kann die Materialintegrität gefährden und somit auch die Stiftstabilität. Die Versorgung des EBZ mit einem Stiftprovisorium während der Herstellung des gegossenen SSA im zahntechnischen Labor erhöht zusätzlich das Risiko einer bakteriellen Reinfektion des Endodonts.

Konfektionierte Metall-Wurzelstifte werden industriell vorgefertigt, sind daher konstant in ihrer Qualität, einfach in der Anwendung sowie zeit- und kostensparend. Sie bestehen entweder aus Titan, Titanlegierungen oder Edelstahl und können verschiedene Geometrien aufweisen (konisch, zylindrisch, stufenförmig-zylindrisch, zylindrokönisch).

Titan, ein Nicht-Edelmetall, ist derzeit das bevorzugte Material für konfektionierte Metall-Wurzelstifte. Wurzelstifte aus Titan verfügen über eine hohe mechanische Festigkeit [E-Modul 110 GPa (Craig 2006)] und sind aufgrund ihrer Eigenschaft unter Kontakt mit Sauerstoff (O<sub>2</sub>) eine Passivschicht (TiO<sub>2</sub>) auszubilden biokompatibel und korrosionsbeständig.

### 2.5.2 Nichtmetall-Wurzelstifte

Nichtmetall-Wurzelstifte sind immer passive Stiftsysteme, die meistens im direkten Verfahren zur Aufbauretention verwendet werden. Nach der Stiftzementierung des konfektionierten Stiftes erfolgt die Herstellung des Aufbaus im direkten Verfahren am Patienten (engl.: chairside). Dies hat im Gegensatz zum indirekt hergestellten SSA

eine Zeitersparnis zum Vorteil, da in einer Sitzung die Stiftinsertion, die Aufbauherstellung, und ggf. die definitive Versorgung erfolgen kann, wodurch das Risiko einer endodontischen Reinfektion minimiert wird.

### 2.5.2.1 Keramik-Wurzelstifte

Zur Herstellung von vollkeramischen Stiftkernaufbauten können im indirekten Verfahren hergestellte individuelle SSA aus Glaskeramik, glasinfiltrierter Aluminiumoxidkeramik oder zirkondioxidverstärkter glasinfiltrierter Aluminiumoxidkeramik Anwendung finden (1-Schritt-Technik). Klinisch relevanter ist jedoch die Kombination von konfektionierten, mit Yttriumoxid (Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) verstärkten Zirkondioxidstiften mit einem direkten Kompositaufbau oder einem im indirekten Verfahren hergestellten keramischen Aufbau (2-Schritt-Technik) (Goracci and Ferrari 2011). Die Kombination aus einem konfektioniertem Zirkondioxidstift mit einem adhäsiv an den Stift befestigten, gefrästen Aufbau aus Aluminiumoxidkeramik (2-Schritt-Technik) erreichte signifikant höhere Frakturfestigkeitswerte nach Kausimulation als Stiftkernaufbauten, die mit der 1-Schritt-Technik (zirkondioxidverstärkte glasinfiltrierte Aluminiumoxidkeramik) oder semikonfektioniert mit einem direkten Kompositaufbau hergestellt wurden (Friedel and Kern 2006).

Keramiken (griech.: keramos -Tongegenstand) im Allgemeinen zeichnen sich in der dentalen Anwendung durch eine sehr hohe Biokompatibilität bedingt durch ihre chemische Stabilität und gute ästhetische Eigenschaften aus (Edelhoff and Kern 2003). Ein entscheidender Nachteil des Werkstoffes ist die hohe Sprödigkeit und kritische Risszähigkeit.

Da sich Keramiken im Gegensatz zu Metallen nicht plastisch verformen lassen, können Spannungsspitzen nicht abgebaut werden und es kommt zur Rissbildung. Zunächst wächst ein Riss in der Keramik nur langsam; überschreitet er jedoch einen kritischen Punkt, dann setzt er sich schnell fort und die Keramik versagt schon bei geringer Belastung (Fischer, Edelhoff et al. 1998).

Besondere Vorteile von Zirkondioxid als Restaurationsmaterial sind eine hohe mechanische Festigkeit (E-Modul~200 GPa nach Herstellerangaben für den konfektionierten Zirkondioxid-Wurzelstift ER CeraPost, Gebr. Brasseler, Lemgo) und vor allem eine gesteigerte Biegefestigkeit im Vergleich zu anderen Dentalkeramiken (Fischer, Edelhoff et al. 1998). In Bezug auf die Frakturfestigkeit sind Keramik-Wurzelstifte anderen

rigiden Stiftmaterialien (Metall-Wurzelstifte) unterlegen (Butz, Lennon et al. 2001). Es wird in der Literatur derzeit kontrovers diskutiert, ob eine erhöhte Rigidität von Wurzelstiften zu einem erhöhten Wurzelfrakturrisiko führt (siehe 2.8.2).

#### 2.5.2.2 *Stiftsysteme mit Kunststoffmatrix*

##### **konfektioniert**

Allen konfektionierten Nichtmetall-Wurzelstiften mit Kunststoffmatrix, auch faserverstärkte Kompositstifte genannt (engl.: fiber reinforced composite posts), ist gemeinsam, dass sie aus einer Polymermatrix bestehen, in die synthetische Fasern eingebettet sind. Die synthetischen Fasern können Karbon-, Quarz- oder Glasfasern sein und die Polymermatrix kann aus Epoxidharz oder Methacrylaten bestehen (Goracci and Ferrari 2011). Durch den Zusatz von synthetischen Fasern werden die mechanischen Eigenschaften der Kunststoffe verbessert. Eine signifikante Steigerung der Bruchfestigkeit, der Steifigkeit und der Ermüdungsbeständigkeit werden berichtet (Drummond 2000). Der Durchmesser einer Faser variiert zwischen 6-15  $\mu\text{m}$ . Die Fasern sind meist parallel zur Längsachse des Stiftes angeordnet (Goracci and Ferrari 2011). Durch die longitudinale Faseranordnung wird eine Stressabsorption und Stressverteilung entlang der Längsachse des Stiftes erreicht (Fernandes, Shetty et al. 2003; Baba, Golden et al. 2009). Durch eine Vordehnung der Fasern vor Einbettung in die Komposit-Matrix können die mechanischen Eigenschaften zusätzlich verbessert werden (Baba, Golden et al. 2009). Die Faserdichte variiert je nach Stiftart zwischen 25 und 35 Fasern pro  $\text{mm}^2$ , das bedeutet, dass im Querschnitt betrachtet 30-50 % pro  $\text{mm}^2$  von Fasern eingenommen sind (Goracci and Ferrari 2011). Ein starker Verbund zwischen den synthetischen Fasern und der Kunststoffmatrix ist essentiell, um Kräfte von der Matrix auf die Fasern zu transferieren. Der Verbund kann durch eine raue Faseroberfläche oder durch Silanisierung der Fasern optimiert werden (Grandini, Goracci et al. 2005). Die faserverstärkten Aufbaustifte unterscheiden sich abgesehen von den Faserarten vor allem durch die Mikrostruktur. Der Durchmesser der Einzelfasern, die Faserlänge, der Faserverlauf und die Faserkonzentration variieren und bestimmen die Eigenschaften der FRC-Stifte. Die Stiftzusammensetzung hat auch Einfluss auf die Röntgenopazität. Sie ist in der Gruppe der konfektionierten FRC-Stifte bei Glasfaserstiften am geringsten, gefolgt von Quarzfaserstiften; Karbonfaserstifte haben die größte Röntgenopazität (Goracci and Ferrari 2011). Die Makroform wird durch die Geometrie des

Aufbaukörpers bestimmt und lässt sich analog zu den metallischen konfektionierten Aufbaustiften in konische, zylindrische, stufenförmig-zylindrische und zylindrokönische Stifte einteilen. Das statische und dynamische Verhalten von FRC-Stiften ist variabel und hängt von verschiedenen Faktoren, wie der Materialzusammensetzung (Faserart und Dichte) und dem Fabrikationsprozess ab (Dietschi, Duc et al. 2007).

### **individuell**

Ein individuelles Verfahren zur passiven Verankerung von Aufbaustiften ist das Einbringen von Polyethylenfasern in den Wurzelkanal und Schaffung eines Monoblocks unter Anwendung der Adhäsivtechnik. Die Polyethylenfasern werden industriell zu Bändern gewebt (Ribbond®, Ribbond Inc, Seattle, WA) (Baba, Golden et al. 2009). Ein Vorteil dieses Verfahrens ist das direkte Einpassen der Fasern in den Wurzelkanal, wodurch eine Kanalerweiterung nicht nötig ist. Der Nachteil ist eine sehr geringe Röntgenopazität (Goracci and Ferrari 2011) und eine geringere Frakturfestigkeit gegenüber konfektionierten FRC-Stiften (Jindal, Jindal et al. 2011).

#### 2.5.2.2.1 konfektionierte Karbonfaser-Wurzelstifte

Karbonfaserverstärkte Komposit-Wurzelstifte wurden Ende der 1980er-Jahre von DURET und REYNAUD (Duret, Reynaud et al. 1990) entwickelt und Anfang der 1990er-Jahre in Europa auf dem Dentalmarkt eingeführt (Bateman, Ricketts et al. 2003; Baba, Golden et al. 2009). Sie bestehen zu einem Gewichtsanteil von 64 % aus Karbonfasern mit einem Durchmesser von 8 µm, die unidirektional in Längsrichtung des Stiftes angeordnet sind. Die Herstellung der Karbonfasern erfolgt durch Erhitzung von Polyacrylnitril zuerst an Luft und nachfolgend unter inerter Atmosphäre. Bei dem Herstellungsprozess werden Wasserstoff, Stickstoff und Sauerstoff entfernt und Ketten von Kohlenstoffatomen bleiben übrig, welche die Karbonfasern formen. Die Makroform der Karbonfaser-Stifte ist variabel, ihre Oberfläche glatt oder mit Einkerbungen versehen und insgesamt angeraut, um die mechanische Retention zum Befestigungszement zu verbessern. Ursprünglich wurden Karbonfaser-Stifte radiotransluzent hergestellt; eine Radioopazität konnte jedoch durch den Zusatz von Bariumsulfat oder Silikaten realisiert werden (Baba, Golden et al. 2009). Karbonfaserstifte sind rigider als andere FRC-Stifte und zeichnen sich insgesamt durch eine hohe Ermüdungsbeständigkeit und Zugfestigkeit aus (Bateman, Ricketts et al. 2003; Baba, Golden et al. 2009).

Ihrer dunklen Farbe wegen genügten sie jedoch nicht den ästhetischen Ansprüchen und wurden bald von transluzenten und zahnfarbenen Quarz- und Glasfaserstiften abgelöst.

#### 2.5.2.2.2 konfektionierte Quarz- und Glasfaser-Wurzelstifte

Der Faseranteil bei diesen Stiftarten besteht aus Glas- oder Quarzfasern. Hauptsächlich werden Silikatbasierte Fasern mit einem Siliziumdioxidanteil von 50-70 % verwendet (Baba, Golden et al. 2009). Sie können daher auch unter dem Begriff „Silikatfaser-Wurzelstifte“ zusammengefasst werden (Bateman, Ricketts et al. 2003). Sie vereinigen gute mechanische Eigenschaften und eine hervorragende Ästhetik. Je größer der Faseranteil ist, desto größer ist die Frakturfestigkeit (Baba, Golden et al. 2009). Ein Vorteil dieser Stifte ist die im Vergleich zu Metall- oder Keramik-Wurzelstiften relativ gute Entfernbarkeit mit Hilfe eigens für diese Anwendung entwickelter Reamer (Bateman, Ricketts et al. 2003).

## 2.6 Befestigung von Wurzelstiften

Bei der passiven Verankerung von Aufbaustiften im Wurzelkanal ist die Effektivität des Befestigungszementes und der Zementierungsprozess entscheidend. Konventionelle Befestigungszemente (Zink-Phosphat-Zemente) haben eine lange Tradition in der Zahnheilkunde, sind aber nicht zur Befestigung von Stiftsystemen geeignet, da sie wasserlöslich sind und schwache adhäsive Eigenschaften aufweisen. Polycarboxylat-Zemente und Glasionomer-Zemente haben zwar verbesserte adhäsive Eigenschaften und eine geringere Wasserlöslichkeit sind den Befestigungskompositen in ihren mechanischen Eigenschaften jedoch unterlegen (Rasimick, Wan et al. 2009). Die Retention von Wurzelstiften, die mit Kompositen befestigt werden, beruht nicht auf rein mechanischer Friktion, sondern auf Mikroretention und Adhäsion, wodurch es zu einer signifikanten Verbesserung der Haftwerte kommt (Naumann, Sterzenbach et al. 2008), selbst bei reduzierter Stiftlänge (Nissan, Dmitry et al. 2001). Durch diese sogenannte *adhäsive Befestigung* von Wurzelstiften mit Kompositen steigt die Frakturfestigkeit stiftversorgter EBZ signifikant (Mendoza, Eakle et al. 1997; Naumann, Sterzenbach et al. 2008). Es wird zudem vermutet, dass die adhäsive Befestigung als stressabsorbierende Schicht zwischen Materialien mit unterschiedlichen E-Modulen (Stift und Dentin) fungiert, also quasi eine Pufferfunktion erfüllt (Edelhoff 2000; Naumann, Preuss et al.

2006). Dieser Effekt ist dem niedrigen E-Modul von Befestigungskompositen und wird bedeutsamer, je rigider das Stiftmaterial ist (Lanza, Aversa et al. 2005). Für FRC-Stifte ist eine adhäsive Befestigung obligat, da sie eine Isolation gegen Speichel bewirkt und sich bei Wasserzutritt die biomechanischen Eigenschaften der FRC-Stifte verschlechtern (Peroz, Blankenstein et al. 2005). Prinzipiell wird durch die adhäsive Befestigung des Aufbaustiftes im Wurzelkanal die marginale Adaptation verbessert, wodurch das Risiko der Entstehung koronaler Mikrospalten minimiert wird (Bachicha, DiFiore et al. 1998; Reid, Kazemi et al. 2003). Hierbei gibt es keinen signifikanten Unterschied zwischen konfektionierten Wurzelstiften und individuell eingepassten Polyethylenfasern (Basaran, Ayna et al. 2012).

### **Befestigungskomposite**

Zur adhäsiven Befestigung von Wurzelstiften kann zwischen licht-initiierten, autokatalytisch-initiierten und dual-initiierten Befestigungskompositen in Kombination mit einem geeigneten Adhäsivsystem gewählt werden. Licht-initiierte Befestigungskomposite sind zur Anwendung im Wurzelkanal jedoch nicht zu empfehlen, da das Licht selbst unter Verwendung transluzenter Stifte nicht zuverlässig das gesamte Stiftbett erreichen kann (Goracci, Corciolani et al. 2008; Wu, Hayashi et al. 2009). Bei chemisch oder dualhärtenden Befestigungskompositen gilt eine Aushärtung auch im apikalen Drittel des Wurzelkanals als gesichert (Goracci, Corciolani et al. 2008). Dualhärtende Befestigungskomposite sollten nicht nur chemisch aushärten, sondern zusätzlich auch licht-gehärtet werden, da sich dadurch ihre mechanischen Eigenschaften verbessern (Kumbuloglu, Lassila et al. 2004). Der chemischen Zusammensetzung nach kann zwischen konventionellen bis-GMA-basierten Befestigungskompositen und sogenannten adhäsiven Befestigungskompositen, die funktionelle Monomere wie z. B. 10-MDP<sup>5</sup> oder 4-META<sup>6</sup> enthalten, unterschieden werden. BITTER et al. evaluierten im Vergleich konventioneller und adhäsiver Befestigungskomposite signifikant höhere Haftwerte für

---

<sup>5</sup> 10-Methacryloyloxydecyl Hydrogen Phosphat

<sup>6</sup> 4-Metacryloxyethyl Trimellitat Anhydrid

adhäsive Befestigungskomposite zu FRC-Stiften (Bitter, Meyer-Luckel et al. 2006). Der Trend zur Vereinfachung hat zur Markteinführung von hochgefüllten Befestigungskompositen, die gleichzeitig als Aufbaumaterialien dienen können und von selbsthaftenden Befestigungskompositen, die den Zementierungsprozess vereinfachen und beschleunigen, geführt. Die Anwendung von Befestigungskompositen mit einem höherem Füllstoffanteil führten im Laborversuch zu höherem Kontraktionsstress im Wurzelkanal, wodurch mehr defekte Grenzflächen und geringere Haftwerte im Vergleich zu Befestigungskompositen mit einem niedrigeren Füllstoffanteil zu verzeichnen waren (Ferrari, Carvalho et al. 2009).

### **selbsthaftende Befestigungskomposite**

Selbsthaftende Befestigungskomposite (engl.: self-adhesive resin - SAR) haben den Vorteil, dass sie durch ihre chemische Zusammensetzung selbstkonditionierende Eigenschaften aufweisen, wodurch eine Vorbehandlung des Dentins zur Haftvermittlung überflüssig wird. Der adhäsive Verbund herkömmlicher Befestigungskomposite zum Zahn beruht auf zwei verschiedenen Strategien. Es wird entweder (1) die bei der Kanalbettpräparation entstandene Schmierschicht (engl.: Smear Layer) entfernt („etch-and-rinse“-Verfahren - E&R) oder (2) der Smear Layer bleibt erhalten („self-etch“-Verfahren - SE). Bei dem „etch-and-rinse“-Verfahren wird das Substrat durch Phosphorsäureeinwirkung demineralisiert und die bindenden Monomere des Adhäsivs dringen in das poröse Substrat ein. Das „self-etch“-Verfahren beruht auf der Demineralisierung des Dentins durch saure Monomere des Adhäsivsystems. In beiden Fällen wird der Haftverbund durch eine Imprägnierung des Dentins mit Komposit-Monomeren und die Ausbildung einer Hybridschicht bewirkt. Die Hybridschicht ist eine Mischung aus organischen Bestandteilen des Dentins, residualen Hydroxylapatitkristallen, Komposit-Monomeren und Lösungsmitteln. Die Stabilität des Haftverbundes hängt von der adäquaten Imprägnierung des Dentinsubstrates und von einer kompakten, homogenen Hybridschicht ab (Breschi, Mazzoni et al. 2008). Die selbstkonditionierenden Eigenschaften von selbsthaftenden Befestigungskompositen (engl.: self-adhesive resin - SAR) sind auf die sauren, multifunktionellen Monomere zurückzuführen, die gleichzeitig das Substrat (Dentin/Schmelz) demineralisieren und infiltrieren. Die Adhäsion beruht auf mikromechanischer Retention und chemischer Interaktion zum Hydroxylapatit (Radovic, Monticelli et al. 2008). Durch selektive Schmelzätzung

mit 35-37%iger Phosphorsäure kann die Haftung zum Schmelz gesteigert werden, eine Dentinätzung bewirkt jedoch einen gegenteiligen Effekt (De Munck, Vargas et al. 2004). Ein Vergleich der Adhäsionsstrategien E&R vs. SE vs. SAR hinsichtlich der Haftwerte zwischen FRC-Wurzelstift und Wurzelkanaldentin ergab eine signifikante Abhängigkeit der Haftwerte vom verwendeten Befestigungssystem. Die höchsten Haftwerte wurden hierbei von SAR-Kompositen erzielt (Sterzenbach, Karajouli et al. 2011). Das erste Produkt dieser Kompositklasse war das dualhärtende selbsthärtende Befestigungskomposit RelyX Unicem™ (3M ESPE). Tabelle 5 (siehe 4.3.1) listet die chemische Zusammensetzung nach Herstellerinformation auf.

### 2.6.1 Besonderheiten des adhäsiven Verbundes im Wurzelkanal

Die Adhäsion zum radikulären Dentin stellt eine klinische Herausforderung dar, da das Wurzelkanaldentin strukturelle Eigenarten aufweist. Zum Einen variiert die Kollagenetzwerkstruktur in verschiedenen Dentinlokalisationen und zum Anderen nimmt die Anzahl und Dichte der Dentintubuli apikalwärts und ebenfalls mit zunehmenden Alter ab (Carrigan, Morse et al. 1984; Tidmarsh and Arrowsmith 1989).

Der Verdacht besteht, dass bestimmte endodontische Spüllösungen, die strukturelle Veränderungen im Dentin hervorrufen (siehe 2.1.2) den Haftverbund vom Befestigungskomposit zum Wurzelkanaldentin reduzieren können. Ein negativer Effekt von Natriumhypochlorit (NaOCl) auf den Haftverbund wird vermutet (Ari, Yasar et al. 2003). Chlorhexidin (CHX) hingegen konnte kein negativer Einfluss auf den adhäsiven Verbund zum Wurzelkanaldentin nachgewiesen werden (Cecchin, de Almeida et al. 2011; Santos, Bapoo et al. 2011).

Der Haftverbund einer Restauration wird zudem von dem Verhältnis zwischen adhäsiv befestigten zu freien Oberflächen, dem sogenannten C-Faktor (engl.: configuration factor), beeinflusst und ist im Wurzelkanal durch die hohe Anzahl gebundener Flächen (hoher C-Faktor) besonders ungünstig (Jongsma, Kleverlaan et al. 2012). Die Stabilität des adhäsiven Verbundes ist limitiert durch physikalische und chemische Faktoren, denen ein postendodontisch versorgter EBZ während seiner Funktionsperiode ausgesetzt ist (Breschi, Mazzoni et al. 2008). Physikalische Faktoren wie z. B. okklusale Kaukräfte und stetige Temperaturwechsel in der Mundhöhle sowie chemische Faktoren wie z. B. saure chemische Agentien im Speichel und in der Nahrung, die zu einer Degradation der Hybridschicht führen, resultieren in Defekten entweder an der

Grenzfläche zwischen Hybridschicht und Adhäsiv oder zwischen Adhäsiv und Befestigungszement. Um die Adhäsion des Befestigungszementes an der Stiftoberfläche zu verbessern gibt es mehrere Ansätze (Goracci and Ferrari 2011). Hervorzuheben sind folgende Methoden der Oberflächenvorbehandlung von Aufbaustiften:

- Silanisierung
- Oberflächenvorbehandlung mit Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>)
- tribochemische Behandlung der Stiftoberfläche

Silanlösungen enthalten organische und anorganische Komponenten, wodurch die Adhäsion zwischen den anorganischen Fasern der FRC-Stifte und der organischen Matrix des Befestigungskomposits verbessert werden soll (Bitter, Noetzel et al. 2007). Vor Silanisierung wird eine Oberflächenvorbehandlung der FRC-Stifte mit Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) empfohlen, da hierdurch die Polymermatrix gelöst und die anorganischen Fasern freigelegt werden. Die 1 minütige Applikation von H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (24%) hat sich hierbei als ausreichend erwiesen (de Sousa Menezes, Queiroz et al. 2011). Der durch Wasserstoffperoxid-Einwirkung entstandene Freiraum zwischen den Fasern offeriert zusätzliche Möglichkeiten der mikromechanischen Retention des Befestigungszementes (Goracci and Ferrari 2011). Laborstudien suggerieren, dass eine alleinige Silanisierung der FRC-Aufbaustifte keine klinisch relevante Haftverbesserung zwischen Stift und Befestigungskomposit mit sich bringt (Bitter, Meyer-Luckel et al. 2006; Bitter, Noetzel et al. 2007; Wrbas, Altenburger et al. 2007). Eine Kombination aus chemischer Oberflächenvorbehandlung mit Wasserstoffperoxid oder Phosphorsäure und anschließender Silanisierung lässt die Haftwerte im Laborversuch jedoch signifikant ansteigen (Vano, Goracci et al. 2006). Die tribochemische Konditionierung wird bei konfektionierten Metall-Wurzelstiften und v. a. bei Zirkondioxid-Wurzelstiften empfohlen, um den Haftverbund zum adhäsiven Befestigungszement zu verbessern (Goracci and Ferrari 2011).

Tribochemische Konditionierung der Stiftoberfläche bedeutet die Silikatisierung (=Keramisierung) des Aufbaustiftes im Rocatec-Verfahren. Hierbei wird das Material unter Druck mit Silikat-beschichteten Aluminiumoxid-Partikeln abgestrahlt. Die Materialoberfläche wird durch die kinetische Energie des Aufpralls mikroskopisch geschmolzen und die Silikat-Partikel werden in die Materialoberfläche eingebaut (Lung and Matinlinna

2012). Die so konditionierten Stifte werden im zweiten Schritt silanisiert, bevor sie adhäsiv im Wurzelkanal verankert werden (Lung and Matinlinna 2012). Im Rocatec-Verfahren industriell oder individuell vorbehandelte konfektionierte Stifte bewiesen hohe Haftwerte in Laborversuchen (Radovic, Monticelli et al. 2008).

## 2.7 Fassreifeneffekt

Das Konzept eines extrakoronalen, den zervikalen Anteil des Zahnes umfassenden Bandes als Verlängerung der restaurierten Krone zum Schutz der Zahnwurzel vor Fraktur wurde bereits Anfang der 60 ziger Jahre von ROSEN (Rosen 1961) vorgestellt. Im Zusammenhang mit postendodontischen Rekonstruktionen wurde der Fassreifeneffekt (engl.: ferrule effect) erstmals 1990 beschrieben (Sorensen and Engelman 1990). Der Begriff „ferrule“ geht auf das lateinische Wort „ferrum“ (Eisen) zurück. Der Name bezieht sich auf die Wirkung der Eisenringe um ein Weinfass. Auf die dentale Anwendung übertragen bedeutet der Fassreifeneffekt, dass die definitive Restauration die zervikalen Dentinwände unterhalb des Aufbaumaterials wie ein Fassreifen umschließt (Abbildung 3), wodurch die Keilwirkung von Wurzelstiften reduziert und somit die Gefahr einer Wurzelfraktur minimiert wird (Sorensen and Engelman 1990; Stankiewicz and Wilson 2002). Zusätzlich wird die marginale Integrität der definitiven Versorgung verbessert (Naumann, Preuss et al. 2006).

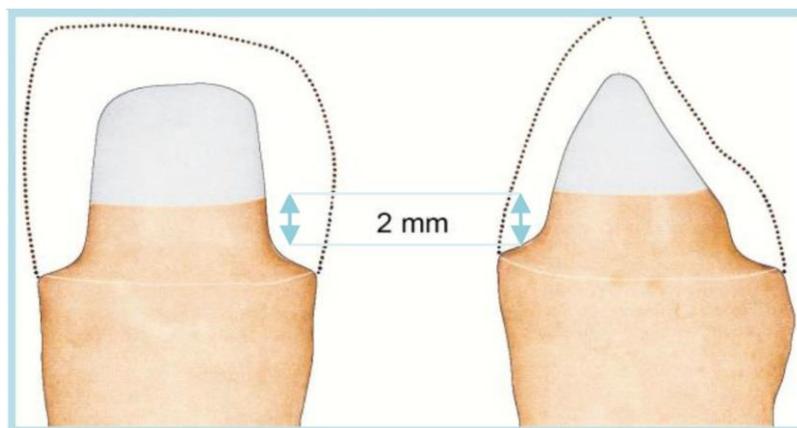


Abbildung 3: Zervikale Ringfassung („Ferrule-Effekt“) in gesunder Zahnhartsubstanz mit einer empfohlenen Höhe von 2 mm, modifiziert nach (Naumann 2003).

Der Fassreifeneffekt erfüllt vorwiegend eine protektive Funktion zum Schutz des postendodontischen Komplexes vor funktionellen Krafteinwirkungen (Stankiewicz and Wilson 2002). Eine aktuelle FEA-Analyse zeigte deutlich geringere Stresskonzentrationen

im Aufbaustift und an der Stift-Dentin-Grenzfläche in Anwesenheit eines Ferrule-Effektes und mit steigender Ferrule-Design-Höhe (Chen, Wang et al. 2014). Die Stresslevel verlagerten sich vom apikalen und mittleren Wurzelanteil hin zum zervikalen Wurzelanteil (Chen, Wang et al. 2014). Die Frakturresistenz EBZ wird durch den Fassreifeneffekt signifikant gesteigert (Tan, Aquilino et al. 2005; Naumann, Preuss et al. 2006; Naumann, Preuss et al. 2006; Lima, Spazzin et al. 2009; Ma, Nicholls et al. 2009). Für tief zerstörte EBZ (Zerstörungsgrad Klasse V) konnte durch den Ferrule-Effekt eine Steigerung der Belastbarkeit um ~ 44 % nachgewiesen werden (Sterzenbach, Rosentritt et al. 2012). Für diesen Indikationsbereich erzielte in einer Laborstudie die Kombination aus Anwesenheit eines Wurzelstiftes und 2 mm Ferrule-Effekt die höchsten Frakturfestigkeitswerte (Naumann, Preuss et al. 2006). EBZ mit Stift / ohne Ferrule und EBZ ohne Stift / mit Ferrule erreichten signifikant geringere Frakturfestigkeitswerte trotzdem sie ebenso mit einer adhäsiv befestigten Krone definitiv versorgt wurden.

Die ringförmige angelegte zervikale Dentinmanschette (Ferrule-Design) sollte möglichst parallel im Sinne einer Retentionsmanschette präpariert sein (Naumann 2007; Juloski, Radovic et al. 2012). Es wird empfohlen, das Ferrule-Design umlaufend (360°) gleichmäßig zu präparieren (Juloski, Radovic et al. 2012). Eine Unterbrechung des Ferrule-Design ist mit einer breiten Variation an Frakturfestigkeitswerten assoziiert und die Werte können sich bis zu einem klinisch nicht akzeptablen Bereich reduzieren (Tan, Aquilino et al. 2005; Naumann, Preuss et al. 2006). Die minimale Dentinhöhe sollte 1,5 mm bis 2 mm betragen, um einen effektiven Fassreifeneffekt zu erzielen (Naumann 2007). Niedrigere Ferrule-Höhen (0,5 mm, 1 mm) führten im Ermüdungsversuch schneller zum Versagen als Ferrule-Höhen von 1,5 mm und 2 mm (Libman and Nicholls 1995). Im Laborversuch konnte bestätigt werden, dass die Frakturresistenz stiftversorgter EBZ signifikant mit zunehmender Ferrule-Höhe steigt, wobei es zu keiner weiteren Steigerung der Frakturresistenz bei Ferrule-Höhen über 2 mm kommt (Akkayan 2004). Ist eine adäquate Fassreifenpräparation nicht möglich, ohne dass es

zur Verletzung der biologischen Breite<sup>7</sup> kommt, kann eine kieferorthopädische Zahnextrusion oder die chirurgische Kronenverlängerung indiziert sein (Gegauff 2000; Meng, Chen et al. 2009).

## **2.8 Die Problematik der Stiftauswahl**

### 2.8.1 Einflussfaktoren auf die Überlebensraten stiftversorgter EBZ

Die Kombination vieler Faktoren nimmt Einfluss auf den klinischen Erfolg des postendodontischen Komplexes, wenn durch einen massiven ZHS-Verlust (Klasse IV und V) die Stiftinsertion indiziert ist. Nach heutigem Erkenntnisstand sind die wichtigsten Parameter für gute klinische Ergebnisse stiftversorgter EBZ bei passiver Verankerung im Wurzelkanal (a) ein Ferrule-Effekt von mind. 1,5 - 2 mm (Libman and Nicholls 1995; Bitter and Kielbassa 2007; Dietschi, Duc et al. 2007; Faria, Rodrigues et al. 2011; Juloski, Radovic et al. 2012), (b) die adhäsive Befestigung (Edelhoff 2000; Bitter and Kielbassa 2007; Goracci and Ferrari 2011; Juloski, Radovic et al. 2012) und (c) die definitive Restauration (Peroz, Blankenstein et al. 2005; Habl, Bodenwinkler et al. 2006).

Weitere Einflussfaktoren sind nach NAUMANN et al. (Naumann 2005):

- die Anzahl approximaler Kontakte:  
Zähne in der geschlossenen Zahnreihe weisen durch die stabilisierenden mesialen und distalen Kontakte das geringste Frakturrisiko auf (Caplan, Kolker et al. 2002).
- die Position des Zahnes im Zahnbogen:  
Bezogen auf die prothetische Versorgung unterliegen Oberkiefer-Frontzähne durch exzentrische Belastung einem höheren Versagensrisiko als Seitenzähne mit einer vorwiegend vertikalen, axialen Kaubelastung (Naumann 2007). DIETSCHI et al. (Dietschi, Duc et al. 2007) führen weitere Okklusionsfaktoren wie Eckzahn- oder

---

<sup>7</sup> mind. 2 mm Abstand zwischen Alveolarknochen und künstlichem Kronenrand

Gruppenführung, Overjet und Overbite sowie das Vorhandensein von Parafunktionen als Parameter an, die maßgeblich das Risiko restaurierter EBZ bestimmen.

- die Art der Gegenbeziehung

Der Einfluss des Stiftmaterials, insbesondere im Hinblick auf dessen Steifigkeit, wird derzeit noch kontrovers diskutiert.

### 2.8.2 Rigidität versus Flexibilität

#### **Begriffsklärung**

Die Rigidität, d. h. die Steifigkeit eines Materials wird durch den Elastizitätsmodul (E-Modul) gekennzeichnet. Der Elastizitätsmodul spiegelt das Verhältnis von der auf ein Material einwirkenden Belastung zu der durch die Belastung hervorgerufenen Materialspannung wider [E-Modul (MPa) = Belastung (MPa) : Spannung]. Tabelle 1 zeigt E-Moduln verschiedener Substrate. Der E-Modul für menschlichen Schmelz liegt bei 90 GPa und für menschliches Dentin bei 19,3 GPa, kann jedoch durch Demineralisierung reduziert sein (Craig 2006). Metalle weisen einen deutlich höheren E-Modul als Dentin auf. Der E-Modul von Titan liegt bei 110 GPa, der E-Modul von Edelstahl bei 200 GPa und von Goldlegierungen bei 96,6 GPa (Craig 2006). Materialien wie Metalle oder Keramiken sind isotrope Materialien, deren E-Modul konstant ist. Demgegenüber weisen anisotrope Materialien, wie Faserverstärkte Kompositstifte variierende E-Module in Abhängigkeit von der Belastungsrichtung auf, liegen jedoch weit unter den Werten für metallische Materialien. Eine Sonderstellung nehmen Karbonfaserverstärkte Kompositstifte ein, sie können sowohl flexibel, als auch rigide sein, da ihr E-Modul stark variieren kann (Craig 2006).

Tabelle 1: E-Moduln ausgewählter Materialien des postendodontischen Komplexes, modifiziert nach (Naumann 2007) und (Craig 2006).

Material	E-Modul (in GPa)
Dentin	~ 19
Schmelz	90
Goldlegierung	96,6
Titan	110
Edelstahl	200
Zirkondioxid	200 (Herstellerangabe ER CeraPost, Gebr. Brasseler, Lemgo)
Glasfaserverstärktes Komposit	30 bis 56 30 GPa (Herstellerangabe ER DentinPost, Gebr. Brasseler, Lemgo) 56 GPa (Herstellerangabe Fiberpoints Root Pins Glas, Schütz Dental Group, Rosbach)
Karbonfaserverstärktes Komposit	75 bis 215
Aufbaukomposit	12,5 bis 25

### 2.8.2.1 *in vitro*-Studien

#### **Stressverteilung**

Mit Einführung der FRC-Stifte in den 1990er Jahren (Duret, Reynaud et al. 1990) wurde die Theorie entwickelt, ein dentinähnlicher E-Modul von Wurzelstiften wirkt sich positiv auf das klinische Verhalten stiftversorgter EBZ aus (Naumann 2007). Bedingt durch ihre Flexibilität soll es unter Belastung zu einer dem natürlichen Zahn fast identischen Stressverteilung kommen (Pegoretti, Fambri et al. 2002). Eine Meta-Analyse von Laborstudien (Fokkinga, Kreulen et al. 2004) ergab, dass FRC-Stifte im Vergleich zu gegossenen SSA, konfektionierten Metall-Wurzelstiften und keramischen Stiftsystemen signifikant höhere Frakturfestigkeitswerte und im Falle einer Fraktur „günstigere“ Frakturmodi aufweisen. Ein „günstiger“ Frakturmodus wird von SALAMEH et al.

(Salameh, Sorrentino et al. 2007) definiert als eine Fraktur, deren Frakturlinien weniger als 1 mm unterhalb der Schmelz-Dentin-Grenze verlaufen, wodurch der Zahn meist erhalten und wieder restauriert werden kann. Bei „ungünstigen“ Frakturen liegen die Frakturlinien mehr als 1 mm unterhalb der Schmelz-Dentin-Grenze, also im Wurzelbereich. NAUMANN (Naumann 2007) zitiert hierzu aus (Lassila, Tanner et al. 2004) das Phänomen der „Elastizitätsmodulbedingten Kompensation stressinduzierter Wurzelfrakturen“. Konträr zu dieser Argumentation zeigen Finite-Elemente-Analysen, dass der durch Belastung induzierte Stress im Wurzelkomplex mit steigendem E-Modul des Stiftmaterials reduziert wird (Asmussen, Peutzfeldt et al. 2005). Rigide Stiftmaterialien mit einem hohen E-Modul konzentrieren den Belastungsstress im Stiftmaterial, es kommt dabei zu Deformationen an der Stift-Dentin-Grenzfläche, wohingegen Stiftmaterialien mit einem niedrigeren E-Modul den Belastungsstress auf die - bereits geschwächte Wurzel - übertragen (Durmus and Oyar 2014).

### **Frakturfestigkeit und Versagensmuster**

Die Resultate einer Laborstudie (Stewardson, Shortall et al. 2011) ergaben hinsichtlich der Frakturfestigkeit keine signifikanten Unterschiede zwischen EBZ, die mit unterschiedlichen Arten von Faserverstärkten Kompositstiften (Karbon- und Glasfaserstifte) versorgt wurden. Des Weiteren konnte kein linearer Zusammenhang zwischen E-Modul und Frakturfestigkeit nachgewiesen werden. Die Frakturfestigkeit von EBZ, die mit Metall-Wurzelstiften versorgt wurden, war jedoch signifikant höher als die Frakturfestigkeit EBZ mit inserierten FRC-Stiften. Das Ergebnis dieser Studie (Stewardson, Shortall et al. 2011) deckt sich mit anderen Forschungsergebnissen. In einer aktuellen Meta-Analyse von Laborstudien (Zhou and Wang 2013) wurde ermittelt, dass die Frakturfestigkeit von Metall-Wurzelstiften signifikant höher ist als die von FRC-Wurzelstiften. Diese Beobachtungen verstärken den Trend in der kontrovers diskutierten Materialfrage, den rigiden Materialien höhere Frakturfestigkeitswerte und somit eine erhöhte Frakturresistenz gegenüber eher flexiblen Faserverstärkten Kompositstiften zu bescheinigen.

### **in vitro-Vergleich rigider Stiftmaterialien**

Ermüdungsbelastungstests im Kausimulator (Butz, Lennon et al. 2001) ergaben für (A) konfektionierte Zirkondioxidstifte in Kombination mit einem direkten Kompositaufbau signifikant geringere Überlebensraten (A = 63 %) als (B) konfektionierte Titanstifte mit einem direkten Kompositaufbau (B = 94 %) oder als die Kontrollgruppe (C) indirekter gegossener SSA (C = 94 %). Einteilige semikonfektionierte Zirkondioxid/Glaskeramik SSA (an die konfektionierten Stifte wird im indirekten Verfahren Glaskeramik angepresst (Edelhoff 2000)) (D) wiesen die höchsten Überlebensraten auf (D = 100 %). Im statischen Frakturfestigkeitstest (Butz, Lennon et al. 2001) waren jedoch Zirkondioxidstifte (in Kombination mit direkten oder indirekt Aufbauten) den anderen Materialgruppen unterlegen. Eine Herstellung im indirekten Verfahren ist aufwändig und bietet gegenüber den herkömmlichen gegossenen SSA oder den konfektionierten Titanstiften keinen biomechanischen Vorteil (Edelhoff 2000).

#### *2.8.2.2 klinische Studien*

Es gestaltet sich schwierig, klinische Studien zum Thema Materialpräferenz beim Einsatz von Wurzelstiften miteinander zu vergleichen, da:

- wissenschaftlich gesicherte, relevante Einflussfaktoren auf die Überlebensraten stiftversorgter EBZ, insbesondere Ferrule-Effekt und adhäsive Befestigung oftmals nicht als Studienstandards (baseline factors) definiert werden.
- die Indikation zur Stiftinsertion nicht eng gestellt wird, d. h. es werden häufig EBZ mit mehr als einer residualen Kavitätenwand mit Wurzelstiften versehen.
- zum Teil aktive und passive Systeme miteinander verglichen werden.
- zum Teil konventionell zementierte (indirekte SSA) und adhäsiv befestigte (FRC) Stiftsysteme miteinander verglichen werden.
- es kaum klinische Studien mit einem hohen Evidenzlevel, also randomisierte klinische Studien (randomized controlled trial - RCT) gibt.
- RCTs zum Einsatz Faserverstärkter Kompositstifte rar sind.
- RCTs zum Materialvergleich Metall versus FRC rar sind.

Eine Datenbankrecherche aus dem Jahr 2005 (Peroz, Blankenstein et al. 2005) mit dem Ziel, klinische Studien anhand ihres Evidenzlevels zu kategorisieren, deckte auf,

dass es zu dem damaligen Zeitpunkt keine Meta-Analysen von RCTs, keine RCTs, und keine kontrollierten klinischen Studien zum Thema Wurzelstifte gab. Die Datenlage hat sich im letzten Jahrzehnt nicht wesentlich geändert.

SCHMITTER et al. (Schmitter, Sterzenbach et al. 2013) haben im Jahr 2013 den Versuch unternommen, systematische Übersichtsarbeiten (systematic review - SR) zur klinischen Anwendung von Wurzelstiften hinsichtlich ihrer methodologischen Qualität zu prüfen, um dem praktizierenden Zahnarzt eine Entscheidungshilfe bei der Literaturrecherche anbieten zu können. Die methodologische Qualität der eingeschlossenen Übersichtsarbeiten wurde nach der R-AMSTAR<sup>8</sup> Checkliste (Kung, Chiappelli et al. 2010) geprüft und anhand eines Punkte-Systems bewertet. Das höchste Evidenzlevel im Sinne einer Meta-Analyse randomisierter, kontrollierter klinischer Studien (RCT) erreichte, äquivalent zur vergebenen Höchstpunktzahl, nur die Übersichtsarbeit von BOLLA et al. (Bolla, Muller-Bolla et al. 2007).

Die Ergebnisse randomisierter, kontrollierter klinischer Studien (RCT) zum Vergleich rigider versus flexibler Stiftmaterialien und deren Limitationen sind tabellarisch dargestellt (Tabelle 2).

---

<sup>8</sup> Revised Assessment of Multiple Systematic Reviews

## Literaturübersicht

**Tabelle 2: Randomisierte, kontrollierte klinische Studien (RCT); angeführt in den von SCHMITTER et al. (Schmitter, Sterzenbach et al. 2013) eingeschlossenen SR.**

Studie	Studienziel Vergleich (I) vs. (II) ggf. vs. (III)	Dauer (Monate)	Ergebnis (Überlebensrate)
<i>Ferrari 2000</i> (Ferrari, Vichi et al. 2000)	(I) FRC (Carbonfaser) (II) Metall gegossener SSA (Edelmetall-Legierung - EM)	48	97,9 % (I) 87,5 % (II)
	Limitation	kein Materialvergleich FRC vs. Metall möglich, da FRC adhäsiv befestigt und gegossener SSA konventionell zementiert (Zink-Phosphat-Zement)	
<i>Mannocci 2002</i> (Mannocci, Bertelli et al. 2002)	(I) FRC-Carbonfaser (Krone) (II) FRC-Carbonfaser (direkte Kompositrestauration)	36	94,7 % (I) 93,3 % (II)
	Limitation	Kein Materialvergleich FRC vs. Metall	
<i>Mannocci 2005</i> (Mannocci, Qualtrough et al. 2005)	(I) FRC (Carbonfaser) (II) Amalgamaufbau (EBZ ohne Stift)	60	100 % (I) 93,8 % (II)
	Limitation	Kein Materialvergleich FRC vs. Metall	
<i>Schmitter 2007</i> (Schmitter, Rammelsberg et al. 2007)	(I) FRC (Glasfaser) (II) Metall (Schraube)	24	95,5 % (I) 77,3 % (II)
	Limitation	Kein Materialvergleich FRC vs. Metall möglich, da passiv vs. aktiv	
<i>King 2003</i> (King, Setchell et al. 2003)	(I) FRC (Carbonfaser) (II) Metall konfektioniert (EM-Legierung)	87	71,4 % (I) 88,9 % (II)
	Limitation	kein Materialvergleich FRC vs. Metall möglich, da FRC adhäsiv befestigt und gegossener SSA konventionell zementiert (Zink-Phosphat-Zement)	

### 3 Problemstellung

#### 3.1 Studienziele

Aktuelle Forschungen widmen sich der Frage, ob eher rigiden oder eher flexiblen Stiftmaterialien der Vorzug gegeben werden sollte, wenn der Einsatz von Aufbaustiften zur Rekonstruktion EBZ indiziert ist (Torbjorner and Fransson 2004). Verschiedene Autoren postulieren zwei konträre Theorien. Seit Einführung faserverstärkter Stiftsysteme wird der dentinähnliche Elastizitätsmodul als wesentlicher Vorteil gegenüber steiferen Stiftmaterialien wie z. B. Titan benannt, da es unter Belastung zu einer dem natürlichen Zahn fast identischen Stressverteilung kommt (Pegoretti, Fambri et al. 2002; Pegoretti, Fambri et al. 2002). Eine verbesserte Frakturfestigkeit gegenüber unversorgten Zähnen wird erreicht (Salameh, Sorrentino et al. 2007). Klinische Studien belegen, dass mit dem Einsatz von faserverstärkten Stiften hohe Erfolgsraten erzielt werden können (Ferrari, Vichi et al. 2002b; Piovesan, Demarco et al. 2007). Steifere Stiftmaterialien wie Zirkondioxid oder Metalle/Metalllegierungen werden andererseits empfohlen, um den EBZ im Sinne einer internen Schienung zu stabilisieren (Asmussen, Peutzfeldt et al. 2005). Um praktische Empfehlungen bezüglich der Materialwahl von Aufbaustiften aufstellen zu können, sind evidenzbasierte klinische Studien, die die Überlebensraten verschiedener Stiftmaterialien miteinander vergleichen, unabdingbar (Schmitter, Sterzenbach et al. 2013). Hier ist die Datenlage rar (Peroz, Blankenstein et al. 2005), so dass es bisher unklar ist, ob faserverstärkte Stiftsysteme tatsächlich einen klaren klinischen Vorteil gegenüber metallischen, rigiden Stiftsystemen bieten (Heydecke and Peters 2002). Die vorliegende randomisierte, kontrollierte klinische Studie (RCT) zum Vergleich der Überlebensraten von eher rigiden Titan-Wurzelstiften mit eher flexiblen Glasfaser-Wurzelstiften möchte einen Beitrag zur Beantwortung der Materialfrage leisten.

**Primäres Ziel der Studie** war es daher, den Einfluss des Stiftmaterials (rigid vs. flexibel) beim Einsatz konfektionierter Stiftsysteme zur Rekonstruktion EBZ auf deren Überlebensrate zu evaluieren und zu beurteilen, ob die propagierte, dem Dentin ähnliche Biegesteifigkeit von glasfaserverstärkten Stiftsystemen mit einer besseren Prognose gegenüber Titan-Wurzelstiften einhergeht.

**Sekundäre Zielstellung der Studie** war die Evaluation eines Zusammenhanges zwischen Stiftmaterialien und Versagensmuster im Falle eines Misserfolges.

Die Dezementierung des Aufbaustiftes ist der häufigste stiftbezogene Misserfolg beim Einsatz von adhäsiv befestigten Stiftsystemen (Naumann, Sterzenbach et al. 2008; Rasimick, Wan et al. 2009). In diesem Sinne möchte die vorliegende Studie zusätzlich die Frage beantworten, ob sich das verwendete selbsthaftende Befestigungskomposit RelyX Unicem™ (3M ESPE) zur Stiftzementierung eignet.

### **3.2 Nullhypothese**

Es war primäres Ziel der vorliegenden Studie (RCT), den Einfluss des Stiftmaterials auf die Überlebensraten von EBZ zu evaluieren. Daher wurde ihr die Nullhypothese zugrunde gelegt, dass zur postendodontischen Rekonstruktion stark zerstörter Pfeilerzähne konfektionierte glasfaserverstärkte Wurzelstifte (Prüfgruppe) und konfektionierte Titan-Wurzelstifte (Kontrollgruppe) gleichermaßen geeignet sind, wenn sie adhäsiv befestigt werden und ein Ferrule-Effekt von min. 2 mm bei definitiver Kronenpräparation sichergestellt wird.

## **4 Material und Methode**

Die Planung, Durchführung und Auswertung dieser klinischen Studie orientierte sich an der aktualisierten Fassung des CONSORT-Statements (CONSORT = „Consolidated Standards Of Reporting Trials“) aus dem Jahre 2010 (Schulz, Altman et al. 2010), welches eine Leitlinie für die Publikation klinischer Therapiestudien darstellt. Das Studienprotokoll wurde von der Ethik-Kommission der Charité-Universitätsmedizin Berlin geprüft und bestätigt (CCM 03.02.2003 RelyX Unicem). Zusätzlich ist die Studie registriert auf der von der United States National Library of Medicine (NLM) betriebenen Datenbank klinischer Studien *ClinicalTrials.gov* unter der Registriernummer NCT01520766.

### **4.1 Studiendesign**

Konzipiert wurde eine randomisierte, kontrollierte klinische Studie im Parallel-Design mit zwei Versuchsgruppen.

### **4.2 Auswahl der Probanden**

Zwischen Januar 2003 und April 2004 wurden volljährige Patienten aus den studentischen Kursen Prothetik I und II der Abteilung „Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre“ (CharitéCentrum 3, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow-Klinikum), bei denen eine Stiftinsertion nach abgeschlossener endodontischer Behandlung indiziert war, als Studienteilnehmer rekrutiert. Die Auswahl zur Studienteilnahme erfolgte nach im Studienprotokoll fixierten Ein- und Ausschlusskriterien (Tabelle 3) durch die Studienzahnärzte I und II zu einem gesonderten Termin. Es wurde festgelegt, dass die Erfüllung eines Ausschlusskriteriums neben der Erfüllung aller Einschlusskriterien zum Ausschluss von der Studienteilnahme führt. Es wurde weiterhin die Indikation zur chirurgischen Kronenverlängerung gestellt, um einen adäquaten, mindestens 2 mm hohen Ferrule-Effekt - unter Beachtung der biologischen Breite - bei definitiver Präparation gewährleisten zu können. Jeder zur Studie zugelassene Proband wurde über Verlauf, Umfang, Vorteile und mögliche Risiken der Studie und ggf. zu Ablauf, Umfang und Risiken einer chirurgischen Kronenverlängerung detailliert durch die Studienzahnärzte (I, II) aufgeklärt. Ein Aufklärungsbogen und ein Vordruck „Probandeneinwilligung“ wurden ausgehändigt (siehe Anhang) und bei Bedarf eine adäquate Bedenkzeit eingeräumt. Das schriftliche Einverständnis zur

## Material und Methode

Studienteilnahme wurde spätestens zum Interventionstermin eingeholt. Die Studienteilnehmer wurden namentlich im Rekrutierungslogbuch erfasst. Jedem Studienteilnehmer wurde ein eindeutiger Code zugewiesen, die Patienten - Identifikationsnummer (Pat - ID). Unter Verwendung der Pat - ID konnten alle patientenbezogenen Daten anonym erfasst werden. Die Studienleitung (Studienzahnarzt I) führte eine vertrauliche Patientenidentifikationsliste mit den zur Pat - ID korrelierenden Patientendaten.

*Tabelle 3: Eignungskriterien zur Auswahl von Probanden, modifiziert nach (Sterzenbach, Franke et al. 2013).*

Einschlusskriterien	Ausschlusskriterien
<ul style="list-style-type: none"> <li>• zwei oder weniger residuale Kavitätenwände</li> <li>• symptomfreier EBZ ohne radiologisch sichtbare periapikale Läsionen und mit einer homogenen verbliebenen apikalen WF von mindestens 4 mm</li> <li>• keine bzw. keine unbehandelte Parodontitis, d. h. der Patient sollte einer adäquaten parodontologischen Behandlung mit Einbindung in ein engmaschiges Recallsystem zugeführt werden</li> <li>• Zahnbeweglichkeit bis max. zu einem Lockerungsgrad II, wenn diese ausschließlich durch horizontalen Knochenabbau zustande gekommen ist</li> <li>• Einverständnis des Patienten, ggf. eine chirurgische Kronenverlängerung durchführen zu lassen, um einen adäquaten, mindestens 2 mm hohen Ferrule-Effekt gewährleisten zu können (unter Einhaltung der biologischen Breite von 2 mm)</li> <li>• Zementierung der definitiven Versorgung (festsitzender bzw. kombiniert festsitzend/ herausnehmbarer ZE) innerhalb von drei Monaten nach Stiftsetzung</li> <li>• Bereitschaft des Patienten, zu regelmäßigen Nachkontrollen über einen Zeitraum von mind. fünf Jahren hinaus zu erscheinen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dentinwandstärke am Wurzelkanaleingang &lt; 1 mm</li> <li>• überstopfte oder unvollständige Wurzelfüllung</li> <li>• Lockerungsgrad III</li> <li>• klinische Symptome eines Bruxismus ohne vorhergehende bzw. begleitende funktionstherapeutische Behandlung</li> <li>• definitive Versorgung durch Doppelkronensysteme</li> <li>• Stiftsetzung unter bestehende Kronen, da ferrule nicht gesichert</li> <li>• Patient ist der deutschen Sprache nicht mächtig</li> <li>• Patient wäre nicht über einen Zeitraum von mind. fünf Jahren zum Recall verfügbar</li> </ul>

### 4.3 Intervention

Die endodontische Behandlung wurde von Zahnmedizinstudenten im klinischen studentischen Kurs der Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie (CharitéCentrum 3, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow-Klinikum) lege artis durchgeführt und mit dem bakteriendichten Verschluss der Zugangskavität durch ein selbsthärtendes Komposit (CLEARFIL™ CORE, Kuraray Dental) zum Abschluss gebracht. Um eine ausreichende Abbindephase des Wurzelfüllmaterials (Guttapercha, AH 26®, DENTSPLY DETREY) zu gewährleisten, fand die Stiftinsertion nach frühestens 24 h Wartezeit statt. Zur Sicherung der Behandlungsqualität erfolgte die Intervention durch einen erfahrenen Zahnarzt (Studienzahnarzt II) mit klinischer Expertise auf dem Gebiet der postendodontischen Rehabilitation. Studienzahnarzt II führte die Stiftbettpräparation, die Stiftinsertion, den direkten Stumpfaufbau und die Stumpfpräparation in einer Behandlungssitzung durch. Pro Studienteilnehmer war die Insertion eines Aufbaustiftes innerhalb der Studie vorgesehen. Die Ausgangssituation wurde zur Dokumentation des Defektausmaßes fotografiert (Abbildung 4) und eine Alginat-Abformung zum Herstellen der temporären Versorgung genommen. Nach Präparation der Stiftbettkavität, also unmittelbar vor der Stiftsetzung wurde die randomisierte Zuordnung der Studienteilnehmer zur Prüfgruppe aufgedeckt. Studienzahnarzt II erfuhr nun durch Öffnen des durch die Patienten ID anonymisierten, vorbereiteten Briefumschlages welcher Aufbaustift (A = Glasfaser, B = Titan) inseriert werden sollte.



Abbildung 4: Beispielfotos (vestibuläre und okklusale Ansicht) zur Dokumentation des Defektausmaßes.

#### 4.3.1 Stiftbettpräparation

Die Initialbohrung zur Entfernung der Guttapercha-Wurzelfüllung wurde mit Gates-Glidden-Bohrern durchgeführt. Um die apikale Versiegelung nicht zu gefährden, wurde eine Restwurzelfüllung von mind. 4 mm apikal belassen. Die Stiftbettpräparation erfolgte trocken mit einem systemspezifischen Reamer (Ø 1,4 mm, Fiberpoints Root Pins post kit, Schuetz-Dental). Es wurde eine intraradikuläre Stiftlänge von mind. 8 mm unter Beachtung der apikalen Versiegelung angestrebt. Im Anschluss an die Stiftbettpräparation wurde der Wurzelkanal mit einer Lupenbrille (2,5-fache Vergrößerung) inspiziert, um eventuelle Guttapercha-Reste an den Kanalwänden zu erkennen und zu beseitigen. Der korrekte, lockere Sitz des Aufbaustiftes im Wurzelkanal wurde überprüft. Es folgte die Defektabformung in Doppel-Misch-Technik (Provil®putty, Provil® light, Heraeus Kulzer) des „Zielzahnes“ mit mind. je einem Nachbarzahn bzw. einem Teil des benachbarten Kiefers, um den Zahnhartsubstanzverlust zu dokumentieren. Die Abformungen wurden zu einem späteren Zeitpunkt mit Hartgips ausgegossen, die Gipsmodelle mit dem Datum und der Pat-ID versehen und in der sogenannten „Modellbibliothek“ archiviert. Zur Entfernung des Silikonölfilms nach der Defektabformung wurde das Stiftbett mit 2 ml 99,6 % Ethanolösung gespült und mit Papierspitzen getrocknet. Als vorbereitende Maßnahme zur Aufnahme des Aufbaustiftes erfolgte das Abstrahlen von Wurzelkanal und Zahnoberfläche mit einem Mikro-Pulverstrahlgerät (DentoPrep™, RØNVIG Dental), die abermalige Reinigung mit 99,6 % Ethanolösung und abschließende Trocknung mit Papierspitzen.

#### **Stiftinsertion**

Die verwendeten Stifte waren die im Makrodesign identischen (zylindro-konisch), konfektionierten Titan- (Fiberpoints Root Pins Titan, Schuetz Dental) oder GFRC-Stifte (Fiberpoints Root Pins Glass, Schuetz Dental) (Tabelle 4). Nach Konditionierung des Stiftbettes wurden die Aufbaustifte mit Aceton gereinigt. Die Stiftoberfläche der Titanstifte wurde anschließend durch tribochemische Konditionierung im Rocatec-Verfahren (2,8 Bar, 13 Sek., Rocatec™ Soft, 3M ESPE) silikatisiert (Lung and Matinlinna 2012) und vor adhäsiver Befestigung silanisiert (ESPE-SIL™, 3M ESPE) (Bitter and Kielbassa 2007). Die konfektionierten Glasfaserstifte erhielten keine spezielle Vorbehandlung. Beide Aufbaustifte wurden mit dem dualhärtenden,

## Material und Methode

selbsthaftenden Befestigungskomposit RelyX Unicem™ (3M ESPE) adhäsiv eingesetzt. Tabelle 5 listet die chemische Zusammensetzung nach Herstellerinformation auf. Das Befestigungskomposit wurde mit Hilfe systemspezifischer Aufsätze (Elongation-Tips, 3M ESPE) direkt in den Wurzelkanal eingebracht und die Aufbaustifte mit kleinen, pumpenden Bewegungen inseriert. Nach initialer (2 Sek.) Lichthärtung (Optilux light-curing unit, Demetron Research Corp), erfolgte die Entfernung überschüssigen Materials unter manueller Stabilisierung und die abschließende Lichthärtung für eine Minute.

*Tabelle 4: Materialspezifikation der verwendeten Wurzelstifte, modifiziert nach (Sterzenbach, Franke et al. 2013).*

Stiftmaterial	Glasfaser-verstärktes Epoxydharz	Titan
Handelsname	Fiberpoints Root Pins Glass	Fiberpoints Root Pins Titanium
Hersteller	Schütz Dental Group, Rosbach, Deutschland	Schütz Dental Group, Rosbach, Deutschland
Zusammensetzung	<ul style="list-style-type: none"> <li>Glasfasern (75wt%), Bisphenol-A-Epoxydharz*</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>cp Titan Grad 4*</li> </ul>
Eigenschaften	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø koronal 1,4 mm*, Stiftlänge 13 mm, Konus 4°, E-Modul: 41-57 GPa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ø koronal 1,4 mm, Stiftlänge 13 mm, Konus 4°, E - Modul: 110 GPa</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>*Herstellerinformation</li> </ul>		

Tabelle 5: Produktinformation RelyX Unicem™ (3M ESPE), modifiziert nach (Radvic, Monticelli et al. 2008).

Produkt	RelyX Unicem™ 3M Espe; St Paul, MN, USA
Verarbeitung/ Aushärtungszeit	2 min/ 5 min bei 22 C
Zusammensetzung	<u>Pulver:</u> Glasfüller, Kieselerde, Pigmente, Calciumhydroxid, selbsthärtende Initiatoren, lichthärtende Initiatoren (Fülleranteil 72% Gewicht, Partikelgröße < 9,5 µ)
	<u>Flüssigkeit:</u> Methacrylat-Ester der Phosphorsäure, Dimethacrylat, Acetat selbsthärtende Initiatoren, lichthärtende Initiatoren, Stabilisatoren

#### 4.3.2 Stumpfaufbau

Der Stumpfaufbau erfolgte im direkten Verfahren mit dem autokatalytisch härtenden Stumpfaufbaukomposit CLEARFIL™ CORE (Kuraray Dental) und dem dazu kompatiblen autokatalytisch härtenden Adhäsivsystem CLEARFIL™ NEW BOND (Kuraray Dental). Zunächst wurde 37%ige Phosphorsäure auf die Zahnoberfläche appliziert und nach einer Einwirkzeit von 15 s unter Einsatz der Multifunktionsspritze mit Wasser abgesprüht. Nach anschließender Trocknung im Luftstrom der Multifunktionsspritze und rewetting des Dentins wurde das 2-Komponenten-Adhäsivsystem im Verhältnis 1:1 angemischt und auf Zahn- und Stiftoberfläche mit einem Applikator (Mikroapplikator MICROBRUSH® INTERNATIONAL) aufgetragen und in das Dentin für 30 s einmassiert. Das Adhäsiv wurde leicht verblasen und das Stumpfaufbaukomposit CLEARFIL™ CORE (Kuraray Dental) im Verhältnis 1:1 angemischt und unter Verwendung einer zuvor okklusal perforierten und zervikal konturierten, transparenten frasco-Stripkrone (frasco GmbH) appliziert. Eine Aushärtezeit von 3 Minuten nach Herstellerangaben wurde eingehalten, bevor die Stumpfpräparation erfolgte.

### 4.3.3 Stumpfpräparation

Die Präparationsgrenze für die definitive Restauration sollte zirkulär mindestens 2 mm unterhalb des Kompositaufbaus enden, um eine ausreichende zervikale Fassung im Dentin (Ferrule-Design) zu gewährleisten. Die Stumpfpräparation erfolgte unter Wasserkühlung mit diamantierten Schleifern. Der nach der Präparation ggf. exponierte Stiftquerschnitt der Glasfaserstifte wurde mit einem Adhäsiv (CLEARFIL™ NEW BOND (Kuraray Dental) abgedeckt, um Wasserzutritt und somit eine Desintegration des Faser-Matrix-Verbundes zu unterbinden (Drummond 2000). Am Ende der Behandlung erfolgten die provisorische Versorgung des Zahnes mit dem temporären Kronen- und Brückenmaterial Protemp™ (3M ESPE) und die Anfertigung einer Röntgen-Kontrollaufnahme. Die Lage der krestalen Knochenkante zum Stifteende [in mm] sowie weitere relevante Ausgangsdaten wurden im Datenerfassungsprotokoll schriftlich fixiert. Die definitive prothetische Versorgung wurde schnellstmöglich, jedoch spätestens innerhalb von drei Monaten, angestrebt. Sie wurde durch die Zahnmedizinstudenten im klinischen studentischen Kurs der „Abteilung für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie (CharitéCentrum 3, Charité- Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow-Klinikum) realisiert. Die adhäsive Befestigung der definitiven Restauration erfolgte mit RelyX Unicem™ (3M ESPE).

## **4.4 Ergebnisse**

### 4.4.1 primäre und sekundäre Endpunkte

Als primärer Endpunkt wurde der Verlust der Restauration definiert. Sekundäre Endpunkte sind alle Ereignisse, die zum Verlust der Restauration geführt haben und somit die Notwendigkeit einer Neuversorgung nach sich ziehen. Die sekundären Endpunkte wurden entsprechend der spezifischen Versagensmuster unterschieden (Tabelle 6).

Tabelle 6: Einteilung der sekundären Endpunkte.

Stiftbezogenes Versagen	Nicht-Stiftbezogenes Versagen
1. Wurzelfraktur	1. endodontisches Versagen
längs	2. Sekundärkaries
quer	3. Zahnextraktion
2. Stiftfraktur	progrediente Parodontitis marginalis
3. Retentionsverlust des Stiftes	Therapieplanänderung
Verbundversagen Stift - Zement	4. technischer Misserfolg
Verbundversagen Zement - Wurzeldentin	Chipping
4. Aufbaufraktur	

#### 4.4.2 Nachuntersuchungen

Der Nachuntersuchungszeitraum begann mit dem Datum der Stiftsetzung. Das Patientenrecall erfolgte nach 3, 6 und 12 Monaten und nachfolgend jährlich bis zu 84 Monate nach Stiftinsertion. Es fand in der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre (CharitéCentrum 3, Charité-Universitätsmedizin Berlin, Campus Virchow-Klinikum) statt und wurde von einer für das Stiftmaterial verblindeten Studienzahnärztin III durchgeführt. Die Nachuntersuchungen umfassten sowohl die klinische Kontrolle als auch die röntgenologische Kontrolle des postendodontisch behandelten Zahnes anhand eines Einzelbildes (Zahnfilm, Rechtwinkeltechnik) nach 12 Monaten und zur Abschlussuntersuchung (Abbildung 5).



Abbildung 5: Röntgenologische Kontrolle 12 Monate nach Stiftinsertion; beispielhaft Zahnfilm 45.

Die röntgenologische Kontrolle wurde durchgeführt, um radiologische Symptome eines Misserfolges, wie z. B. radikuläre Frakturlinien, parodontale Schäden als Hinweis für eine Wurzelfraktur (schüsselförmige Defekte) oder periapikale Läsionen diagnostizieren zu können. Die klinische Kontrolle erfolgte mittels Blickdiagnostik unter Einsatz von Mundspiegel und zahnärztlicher Sonde um eventuell vorhandene Randspaltbildungen zu erkennen. Zudem wurde das marginale Parodont mesial, distal, oral und vestibulär des stiftversorgten Zahnes mit einer WHO-Parodontalsonde sondiert. Zur Diagnose einer Fraktur oder eines endodontischen Problems erfolgte die Perkussion des stiftversorgten Zahnes und die taktile Untersuchung. Der vorhandene Zahnersatz wurde auf Funktionstüchtigkeit hin überprüft und eine allgemeine zahnärztliche Untersuchung schloss die Nachuntersuchung ab.

#### 4.4.3 Auswertungen

Nach einem Beobachtungsintervall von 24-36 Monaten erfolgte eine erste Auswertung der Studie mit Publikation der Studienergebnisse (Naumann, Sterzenbach et al. 2007). Die zweite Auswertung erfolgte nach 84 Monaten und wurde ebenfalls publiziert (Sterzenbach, Franke et al. 2013).

#### **4.5 Fallzahlbestimmung**

Es wurde keine a priori Fallzahlbestimmung durchgeführt.

#### **4.6 Randomisierung**

Die Zuordnung der Studienteilnehmer zu den zwei Therapiearmen A (Glasfaser) und B (Titan) erfolgte über eine blockweise Randomisierung mit einer Blocklänge 4. Durch die blockweise Randomisierung konnte eine balancierte Zuordnung zu den Therapiegruppen gesichert werden (Wernecke 2004). Die Randomisierung wurde auf der Basis einer digitalen Zufallsliste für die Pat - ID von Studienzahnarzt I durchgeführt. Die Interventionszuordnung wurde erst unmittelbar vor Stiftsetzung offen gelegt. Für die Geheimhaltung bis zum Zeitpunkt der Stiftinsertion wurde sie in geschlossenen Briefumschlägen, die durch Beschriftung mit der Pat - ID anonymisiert worden sind, aufbewahrt.

#### **4.7 Verblindung**

Die Studie wurde als einfach verblindete Studie für die Studienzahnärztin III angelegt. Eine Verblindung des Behandlers (Studienzahnarzt II) war aus praktischen Gründen nicht durchführbar. Die Verblindung der für die klinischen Nachuntersuchungen verantwortlichen Studienzahnärztin III in Bezug auf das Stiftmaterial konnte realisiert werden, wohingegen eine Verblindung des die Zielgrößen beurteilenden Studienzahnarzt I (Studienleitung) im Vorfeld angestrebt, aber nicht umsetzbar war. Durch die unterschiedliche Röntgenopazität konnten die verschiedenen Stiftmaterialien im Röntgenbild differenziert werden.

#### **4.8 statistische Methoden**

Die Häufigkeiten und Prozentsätze der erhobenen Ausgangsdaten (baseline data) liegen aus deskriptiven Gründen in Tabellenform vor. Die Analysedaten wurde unter Verwendung des Analyseprogramms IBM SPSS Statistics Version 19 (SPSS, Inc., IBM Company USA) erfasst und ausgewertet. Der Gruppenvergleich für die primären Endpunkte erfolgte hierbei mit dem Log Rank-Test und die sekundären Endpunkte sollten mit dem Chi<sup>2</sup>-Test ausgewertet werden. Das Signifikanzniveau lag bei  $p < 0,05$ .

## 5 Ergebnis

### 5.1 Ein- und Ausschlüsse

Von achtundneunzig für die Studienteilnahme evaluierten Patienten wurden 7 Patienten von der Studienteilnahme ausgeschlossen, weil sie entweder die Einschlusskriterien nicht erfüllten (n=5) oder die Teilnahme an der Studie verweigerten (n=2). Studienteilnehmer waren 91 Patienten, von denen nach Randomisierung 45 der Studiengruppe A (Glasfaser) und 46 der Studiengruppe B (Titan) zugeordnet wurden („Intention-to-Treat“-Kollektiv). Es erhielten demzufolge 91 Patienten die geplante Intervention. Von diesen 91 Patienten wurden 4 Patienten für den weiteren Studienverlauf ausgeschlossen, da sie nicht der Basis-Nachuntersuchung (U1 nach drei Monaten) zur Verfügung standen (lost to baseline follow-up). Drei der vier exkludierten Probanden erhielten keine definitive Restauration innerhalb von drei Monaten nach Stiftsetzung. Ein Zahn wurde kurz nach der Intervention aufgrund einer Änderung der prothetischen Planung extrahiert. In zwei Fällen blieb die definitive Versorgung aus. Beide Fälle mit temporärer Versorgung versagten innerhalb des ersten Jahres nach Stiftsetzung. Nach 9 Monaten entwickelte sich an einem der Zähne eine Sekundärkaries und im zweiten Fall kam es zur horizontalen Zahnfraktur auf Gingivaniveau. Der vierte Proband war für die erste Nachuntersuchung nicht mehr kontaktierbar. Von den verbliebenen 87 Patienten waren in der Glasfasergruppe in sieben Fällen die Nachbeobachtungen unvollständig und in der Titangruppe in elf Fällen. Neunundsechzig Patienten beendeten die Studie gemäß Protokoll („According-to-Protocol“-Kollektiv). In der Analyse des primären Zielkriteriums wurden die vier Patienten ohne Basis-Nachuntersuchung ausgeschlossen. Es wurden also zur Abschlussuntersuchung nach 84 Monaten von insgesamt 87 Patienten die Daten analysiert, von denen 41 Patienten dem Therapiearm A (Glasfaser) und 46 Patienten dem Therapiearm B (Titan) angehörten. Das Flussdiagramm (Abbildung 6) verdeutlicht für die ein- und ausgeschlossenen Probanden Aufnahme, Zuordnung, Nachbeobachtung und Datenanalyse im Studienverlauf.

## Ergebnis

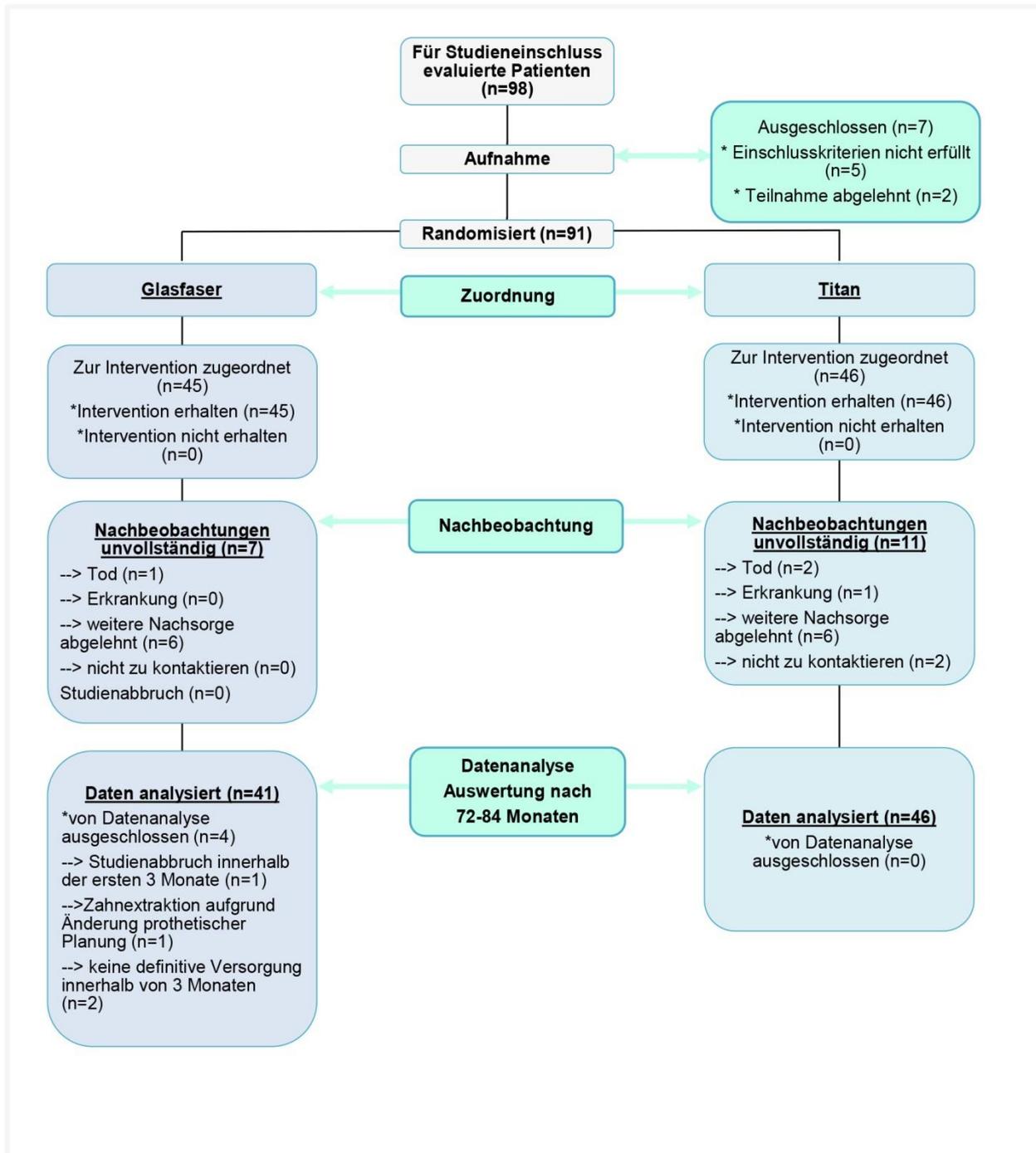


Abbildung 6: Flussdiagramm für ein- und ausgeschlossene Probanden im Studienverlauf in Übereinstimmung mit dem CONSORT-Flussdiagramm nach MOHER et al. (Moher, Schulz et al. 2003).

## **5.2 Patientenaufnahme und Nachbeobachtung**

Die Evaluation der Studienteilnehmer erfolgte von Anfang 2003 bis Mitte 2004. Von 91 Patienten, die als Studienteilnehmer rekrutiert worden sind, erhielten 66 Patienten die Intervention im Jahr 2003 und 25 Patienten im Jahr 2004. Die Nachuntersuchungen erfolgten ausgehend vom Tag der Stiftinsertion nach 3, 6 und 12 Monaten und danach im jährlichen Abstand bis zur Abschlussuntersuchung nach 84 Monaten nach Intervention. Die durchschnittliche Beobachtungszeit betrug 71,2 (SD 21,7) Monate. Bei insgesamt 18 Probanden (20,7 %) waren die Nachbeobachtungen unvollständig, d. h. sie konnten nicht über den gesamten Beobachtungszeitraum hinweg nachuntersucht werden. Die Gründe hierfür sind dem Flussdiagramm für die ein- und ausgeschlossene Probanden im Studienverlauf (Abbildung 6) zu entnehmen.

## **5.3 Patientencharakteristika zu Studienbeginn**

Demografische und klinische Ausgangsdaten sind in Patientencharakteristika, Zahncharakteristika und deskriptive Daten zur Intervention unterteilt und tabellarisch dargestellt (Tabellen 7-9). Zur Dokumentation des Defektausmaßes wurde vor Stiftinsertion bei jedem Probanden die klinische Ausgangssituation fotografiert.

## Ergebnis

*Tabelle 7: Patientencharakteristika in den Studiengruppen, modifiziert nach STERZENBACH et al. (Sterzenbach, Franke et al. 2013) und NAUMANN et al. (Naumann, Sterzenbach et al. 2007).*

Patientencharakteristika	Glasfaser (n=45)	Titan (n=46)
Patienten [n]	45	46
Alter [Jahre, Mittelwert $\pm$ SD]	49,2 $\pm$ 14,8	52,3 $\pm$ 14,2
Frauen (% der Gruppe)	20 (44,4)	25 (54,3)
Männer (% der Gruppe)	25 (55,6)	21 (45,7)
Dynamisches Okklusionsmuster (% der Gruppe)		
Frontzahn-Eckzahn-Führung	15 (33,3)	15 (32,6)
Eckzahn-Eckzahn-Führung	14 (31,1)	12 (26,1)
Gruppenführung	16 (35,5)	19 (41,3)
Attrition definiert nach SMITH und KNIGHT (tooth wear index) (Smith and Knight 1984) (% der Gruppe)		
0-I (keine bis Schliiffacetten schmelzbegrenzt)	36 (80)	36 (78,3)
$\geq$ II (Schliiffacetten mit Dentinfreilegung, Defekt $\geq$ 1 mm)	9 (20)	10 (21,7)
SD, standard deviation (Standardabweichung)		

## Ergebnis

*Tabelle 8: Zahncharakteristika in den Studiengruppen, modifiziert nach STERZENBACH et al. (Sterzenbach, Franke et al. 2013) und NAUMANN et al. (Naumann, Sterzenbach et al. 2007).*

Zahncharakteristika		Glasfaser (n=45)	Titan (n=46)
Zahntyp (% der Gruppe)			
Inzisivus		15 (33,3)	12 (26,1)
Caninus		7 (15,6)	10 (21,7)
Prämolar		18 (40)	19 (41,3)
Molar		5 (11,1)	5 (10,9)
Lockerungsgrad definiert nach LINDHE (Giargia, Ericsson et al. 1994) (% der Gruppe)			
0 (normale Beweglichkeit)		38 (84,4)	44 (95,7)
I (horizontale Beweglichkeit von 0,2 mm bis 1 mm)		6 (13,3)	2 (4,3)
II (horizontale Beweglichkeit von 1 mm bis 2 mm)		1 (2,2)	0 (0)
Residuale Kavitätenwände (% der Gruppe)			
0		24 (53,3)	22 (47,8)
1		8 (17,8)	15 (32,6)
2		13 (28,9)	9 (19,6)
Approximalkontakte (% der Gruppe)			
0		4 (8,9)	3 (6,5)
1		14 (31,1)	15 (32,6)
2		27 (60)	28 (60,9)
Art der Gegenbezahnung (% der Gruppe)			
natürlich/festsitzend		39 (86,7)	40 (87)
parodontal/mukosal gelagerter ZE		5 (11,1)	4 (8,7)
Mukosal gelagerter ZE		1 (2,2)	2 (4,3)

## Ergebnis

*Tabelle 9: Deskriptive Daten zur Intervention in den Studiengruppen, modifiziert nach STERZENBACH et al. (Sterzenbach, Franke et al. 2013) und NAUMANN et al. (Naumann, Sterzenbach et al. 2007).*

Intervention	Glasfaser (n=45)	Titan (n=46)
Chirurgische Kronenverlängerung	2	11
Stiftlänge im Wurzelkanal [Mittelwert mm / SD]	9,4 / 1,2	9,3 / 1,4
Stiftkürzung (% der Gruppe)		
ja	13 (28,8)	20 (43,5)
nein	32 (71,1)	26 (56,5)
Lage der krestalen Knochenkante zum Stiftende [Mittelwert mm / SD]	6 / 2,1	6,4 / 1,4
Horizontaler Knochenabbau [Mittelwert % / SD]	18,1 / 17,9	14,8 / 12,6
Definitive Restauration* (% der Gruppe)		
Einzelkrone	24 (58,5)	28 (60,9)
Brücke	13 (31,7)	10 (21,7)
Einzelkrone und kombinierter ZE	1 (2,4)	3 (6,5)
Brücke und kombinierter ZE	3 (7,3)	5 (10,9)
*vier Patienten erhielten keine definitive Restaurationen (lost to baseline follow-up)		

#### **5.4 Anzahl der ausgewerteten Probanden**

Von 91 zur Studie zugelassenen Probanden wurden im Therapiearm A (Glasfaser) 41 von 45 Probanden in die Datenanalyse eingeschlossen und im Therapiearm B (Titan) 46 von 46 Probanden. Nach 84 Monaten Nachuntersuchungszeit wurden demnach von 87 Probanden die Daten ausgewertet.

#### **5.5 Ergebnisse und Schätzmethoden**

Die Überlebensrate nach sieben Jahren betrug für Titan-Stifte 93,5 % und für GFRC-Stifte 90,2 %. Dies entspricht einer Versagensrate von 6,52% bei Titan-Stiften und 9,7% bei GFRC-Stiften. Es gab insgesamt sieben Misserfolge zu verzeichnen; davon ereigneten sich drei als endodontisches Versagen im Therapiearm B (Titan). Die Versagensmuster im Therapiearm A (Glasfaser) waren eine Wurzelfraktur im zervikalen Drittel, eine Wurzelfraktur im mittleren Drittel, eine Aufbaufaktur bei dem endständigen Pfeiler einer Extensionsbrücke und ein Zahnverlust aufgrund erhöhter Zahnlockerung (Tabelle 10).

## Ergebnis

*Tabelle 10: Analyierte Daten nach 84 Monaten Beobachtungszeit, modifiziert nach STERZENBACH et al. (Sterzenbach, Franke et al. 2013).*

Daten analysiert		Glasfaser (n = 41)	Titan (n = 46)
Monate Beobachtungszeit [Mittelwert (SD) – min. / max.]		73 (20) – 24 / 84	69 (23) – 12 / 84
Beobachtung unvollständig [n (% der Gruppe)]		7 (17,1)	11 (23,9)
Primärer Endpunkt [n (% der Gruppe)]		4 (9,8)	3 (6,5)
Überlebensrate [% der Gruppe]		90,2	93,5
P-Wert		0,642	
Relatives Risiko (RR Glasfaser/Titan)		1,496; Konfidenzintervall 95 % = 0,356; 6,292	
Versagensmuster		Glasfaser (n = 41)	Titan (n = 46)
Verlust der Restauration [n Zähne] <i>mit Zahnextraktion:</i>	Endodontisches Versagen	0	3 lateraler oberer Inzisivus (2), unterer Molar (1)
	Wurzelfraktur zervikales Drittel	1 oberer Prämolare	0
	Wurzelfraktur mittleres Drittel	1 lateraler oberer Inzisivus	0
	Erhöhter Lockerungsgrad (III)	1 oberer Eckzahn	0
Verlust der Restauration [n Zähne] <i>mit Zahnerhalt</i>	Aufbaufaktur erneut versorgt	1 unterer Prämoar	0

Das zeitliche Auftreten der primären Endpunkte im Verlauf der Beobachtungszeit ist nachfolgend dargestellt (Abbildung 7).

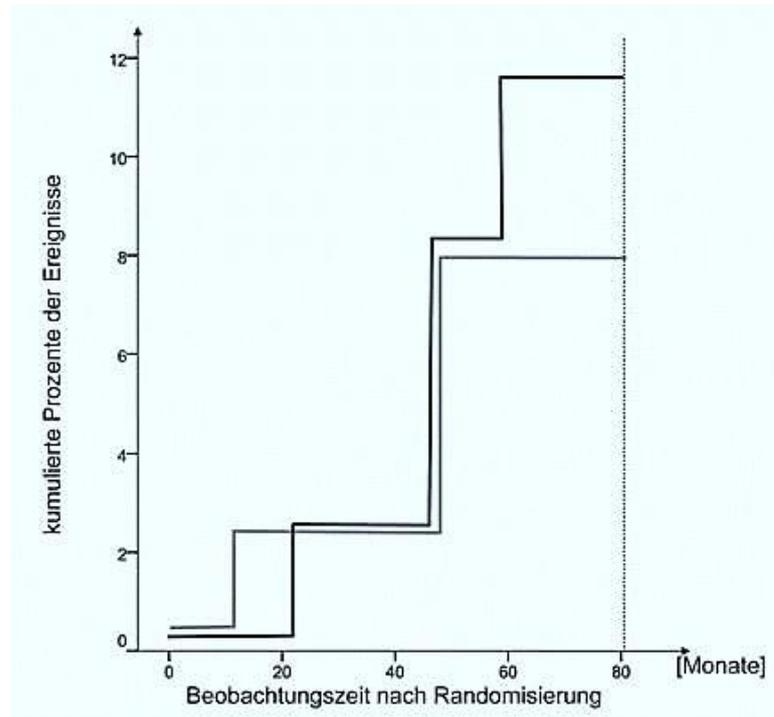


Abbildung 7: Darstellung der kumulierten Misserfolge über die Beobachtungszeit, modifiziert nach (Sterzenbach, Franke et al. 2013).

Der erste primäre Endpunkt ereignete sich im Nachbeobachtungszeitraum 12-24 Monate nach Stiftsetzung im Therapiearm B (Titan) und stellte sich als endodontisches Versagen (Parodontitis apicalis) dar, als dessen Folge der Zahn extrahiert werden musste (Abb.8).



Abbildung 8: Zahnfilm 22, röntgenologischer Befund einer Parodontitis apicalis regio 21 und 22.

## Ergebnis

Nach 24-36 Monaten Nachbeobachtungszeit gab es einen Restorationsverlust im Therapiearm A (Glasfaser). Es frakturierten die endständigen Pfeiler (Zahn 34, 35) einer Extensionsbrücke. (Abbildung 9).

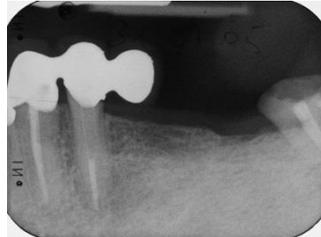


Abbildung 9: Extensionsbrücke in situ, röntgenologische Kontrolle (Zahnfilm) des stiftversorgten Zahnes 35 (Glasfaser) 12 Monate nach Stiftinsertion.



Abbildung 10: Aufbaufraktur der Brückenpfeiler 34 und 35 mit Verlust der Restauration.

Da es sich um eine Aufbaufraktur handelte, konnte der Zahn erhalten und zu einem späteren Zeitpunkt neu versorgt werden.

Im Nachbeobachtungszeitraum zwischen 48-60 Monaten kumulierten die Misserfolge. Es kam in zwei Fällen zum endodontischen Versagen mit Zahnverlust in Folge. Beide Zähne gehörten dem Therapiearm B (Titan) an. Im Therapiearm A (Glasfaser) ereigneten sich eine horizontale Wurzelfraktur im mittleren Drittel eines mit einer Einzelkrone versorgten oberen seitlichen Incisivus sowie die notwendige Extraktion eines stark gelockerten Eckzahnes (Lockerungsgrad III). Hierbei ist anzumerken, dass der

betroffene Zahn zum Zeitpunkt der Stiftinsertion bereits parodontal vorgeschädigt war (Lockerungsgrad I-II, KV 20 %). Der letzte Restauraionsverlust im Studienverlauf ereignete sich in der Glasfasergruppe nach 60-72 Monaten als Wurzelfraktur im zervikalen Drittel eines mit einer Einzelkrone versorgten oberen Prämolaren. Es traten insgesamt 4 primäre Endpunkte im Therapiearm A auf, dies entspricht 9,8 % der Glasfasergruppe. Im Therapiearm B lagen 3 primäre Endpunkte vor, dies entspricht 6,5 % der Titangruppe. Die Überlebensraten unterschieden sich nicht signifikant ( $p = 0,642$ ) zwischen den Untersuchungsgruppen. Die Wahrscheinlichkeit nicht zu versagen war also in beiden Interventionsgruppen vergleichbar hoch (relatives Risiko Glasfaser/Titan = 0,965; 95 % Konfidenzintervall = 0,851/1,095).

### **5.6 Zusätzliche Analysen**

Die Darstellung der sekundären Endpunkte erfolgte rein deskriptiv. Eine weitergehende statistische Analyse der sekundären Endpunkte (Chi<sup>2</sup>-Test) erschien aufgrund der geringen Ereigniszahl nicht sinnvoll.

### **5.7 unerwünschte Wirkungen**

Es sind keine Schäden oder unerwünschte Nebenwirkungen aufgetreten, die auf die durchgeführte Intervention im Rahmen der Studie zurückzuführen sind (Ioannidis, Evans et al. 2004).

## **6 Diskussion**

### **6.1 Methodenkritik**

Jedes Stadium einer Untersuchung ist anfällig für systematische Fehler, deren Folge trügerische Ergebnisse und falsche Schlussfolgerungen sein können (Wernecke 2004). Ziel bei der Planung, Durchführung und Auswertung der Studie war es, diese „Verzerrungen“ (Bias) zu minimieren und somit valide Ergebnisse zu gewährleisten. Das gewählte Studiendesign (RCT) sichert bereits den Ausschluss einiger relevanter systematischer Fehler (Petrie, Bulman et al. 2002) (Tabelle 11).

## Diskussion

**Tabelle 11: Mögliche systematische Fehler im Verlauf einer klinischen Studie und Gegenmaßnahmen zu deren Vermeidung nach (Petrie, Bulman et al. 2002).**

BIAS	URSACHE	GEGENMASSNAHME	LIMITATION im Rahmen der Studie
Selektions-Bias (selection bias)	Unterschiede in der Ausgangssituation der Teilnehmergruppen (baseline characteristics)	* Randomisierung	keine Limitation, da Randomisierung erfolgte
Behandlungs-Bias (performance bias)	Unterschiede in den Rahmenbedingungen der zu vergleichenden Gruppen, z.B. in einer Teilnehmergruppe zusätzliche Behandlung, die nicht im Rahmen der Studie untersucht wird	* Verblindung, um Unterschiede in begleitenden Maßnahmen zwischen den zu vergleichenden Gruppen zu vermeiden * Behandlung wird bei allen Probanden von einem Studienarzt durchgeführt	keine Limitation, da keine Begleittherapien erfolgt sind
Verschleiß-Bias (attrition bias)	Informationsverlust durch vorzeitiges Ausscheiden von Studienteilnehmern	* Intention-to-treat - Auswertung (berücksichtigt die Studienabbrecher)	„modifizierte“ Intention-to-treat -Auswertung
Beobachter-Bias (observer bias)	Beobachtungen werden bewusst oder unbewusst an Erwartungen angepasst	* Verblindung von nachuntersuchender Person (Evaluator)	keine Limitation, da Verblindung von Evaluator erfolgt ist
Informations-Bias (detection bias)	Unterschiede in der Bewertung der Resultate, v.a. wenn das Bewerten eines primären Endpunktes (Outcome) einen Ermessensspielraum zulässt	* gute Planung * konkrete Benennung des primären Endpunktes	keine Limitation, da kein Ermessensspielraum in der Bewertung des primären Endpunktes „Verlust der Restauration“

Studienziel war es, den Einfluss des Stiftmaterials auf die Überlebensraten von endodontisch behandelten Pfeilerzähnen mit 2 oder weniger residualen Kavitätenwänden

zu evaluieren. Die Einteilung nach Zerstörungsgrad und die Formulierung des Einschlusskriteriums „maximal 2 residuale Kavitätenwände“ ergibt sich aus der vorliegenden Evidenz, dass der Anteil an residualer ZHS maßgeblicher Faktor für die Prognose und somit für die Überlebensrate EBZ ist. Da die Anwesenheit eines Wurzelstiftes im Wesentlichen der Retention des Aufbaus dient und den EBZ aufgrund des ZHS-Verlustes durch die Stiftbettpräparation zusätzlich schwächt (siehe 2.1.2), ist eine Stiftsetzung bei Zähnen mit geringem Defektausmaß kontraindiziert. Nach heutigem Wissensstand hätte die Indikation zur Stiftsetzung im Rahmen der Studie noch enger gestellt werden können, da nur bei einem hohen Zerstörungsgrad mit maximal 1 residualer Kavitätenwand (Klasse IV und V) durch eine Stiftinsertion die Überlebensraten EBZ signifikant gesteigert werden können (Bitter, Noetzel et al. 2009). Im Laborversuch konnte nachgewiesen werden, dass die Anwesenheit eines Wurzelstiftes bei Vorhandensein zwei residualer Kavitätenwände keinen positiven Einfluss auf die Frakturresistenz EBZ hat (Bitter, Meyer-Lueckel et al. 2010). Eine weitere Limitation der Studie ist die fehlende a priori Fallzahlbestimmung. Aufgrund konträrer veröffentlichter *in vitro* Ergebnisse bezüglich des Materialeinflusses Metall vs. GFRC-Stifte (Sterzenbach, Franke et al. 2013) war eine begründete Kalkulation der Effektstärke zum Zeitpunkt der Studienplanung nicht möglich. Ein möglicher signifikanter Einfluss des Stiftmaterials auf die Überlebensraten stiftversorgter EBZ kann nicht abschließend beurteilt werden, da aufgrund der geringen Ereigniszahl der Stichprobenumfang der Studie zu gering ist.

### **6.2 Generalisierbarkeit**

Die Studie besitzt eine hohe externe Validität, da sich die Ergebnisse gut auf die Routineversorgung in Deutschland übertragen lassen. Die allgemeinen Rahmenbedingungen entsprechen dem Standard einer allgemein Zahnärztlich orientierten deutschen Praxis und die Intervention kann in den alltäglichen Behandlungsablauf integriert werden. Eine Ausnahme bildet die ggf. durchzuführende chirurgische Kronenverlängerung, um den geforderten Ferrule-Effekt von 2 mm zu gewährleisten. Hier ist die Überweisung an einen Spezialisten (Oralchirurg oder Mund-, Kiefer- und Gesichtschirurg) bei fehlender Fachkenntnis des Generalisten erforderlich. Inwieweit sich die Studienbedingungen auf die allgemeinen Rahmenbedingungen weltweit übertragen lassen, ist schwer abschätzbar.

### 6.3 Ergebniskritik

Die hier präsentierten Ergebnisse zum Vergleich der Überlebensraten von Titan- mit GFRC-Wurzelstiften nach 84 Monaten Studiendauer sind mit Überlebensraten von über 90% in beiden Materialgruppen ermutigend und rechtfertigen den klinischen Einsatz dieser Materialien.

In einem Review von 2010 evaluierten RASIMICK et al. (Rasimick, Wan et al. 2009) die Versagensmuster von adhäsiv befestigten FRC-Wurzelstiften (Glasfaser, Quarzfaser und Karbonfaser). Die Versagensrate variierte zwischen den eingeschlossenen Studien hierbei von 0,0% bis 29,6% und betrug im Durchschnitt 6,1%. Die breite Variation erklärt sich u. a. durch die unterschiedlich lange Studiendauer der eingeschlossenen Studien (Mindestdauer 2 Jahre bis 11 Jahre). Die etwas niedrigere durchschnittliche Versagensrate (6,1%) als bei der vorliegenden Studie (GFRC-Stifte = 9,7%, Titan-Stifte = 6,52%) ist dem Fakt geschuldet, dass die Mehrzahl der betrachteten Studien ( $\approx 70\%$ ) eine Studiendauer von weniger als 5 Jahren aufwies. Nach 2 Jahren Studiendauer konnten in der hier präsentierten Studie keine stiftbezogenen Misserfolge in beiden Materialgruppen beobachtet werden (Naumann, Sterzenbac et al. 2007). Dieses Ergebnis deckt sich mit den Studienergebnissen von GRANDINI et al. (Grandini, Goracci et al. 2005) für konfektionierte FRC-Stifte. Für adhäsiv befestigte, konfektionierte Titanstifte gibt es, mit Ausnahme der hier präsentierten Ergebnisse, bis dato keine veröffentlichten Daten kontrollierter klinischer Studien. Zur Evaluation der Überlebensraten von FRC-Stiften hingegen liegen valide Daten vor. In der Mehrzahl der verglichenen klinischen Studien lag die Versagensrate für FRC-Stifte zwischen 6-8% nach 24 Monaten (Glazer 2000; Monticelli, Grandini et al. 2003; Cagidiaco, Radovic et al. 2007; Ferrari, Cagidiaco et al. 2007; Schmitter, Rammelsberg et al. 2007; Bitter, Noetzel et al. 2009). Abweichend hiervon wurde in einer Untersuchung eine Misserfolgsrate von 11,4% nach bereits 24 Monaten verzeichnet (Naumann, Blankenstein et al. 2005). Für kontrollierte klinische Studien mit längerer Beobachtungsdauer ist die Datenlage rar. Eine randomisierte klinische Studie beobachtete nach einer Studiendauer von 60 Monaten eine Versagensrate von 10% (Mannocci, Qualtrough et al. 2005) und eine weitere Studie nach 87 Monaten eine Misserfolgsrate von 28% für FRC-Stifte (King, Setchell et al. 2003). NAUMANN et al. (Naumann, Koelpin et al. 2012) evaluierten in einer Langzeitstudie über 10 Jahre eine Versagensrate von 36,9%

für Glasfaserstifte. Die Autoren begründeten die hohe Misserfolgsrate damit, dass eine Fassreifenpräparation von mind. 1,5-2 mm nicht als Studienstandard definiert worden ist. Die Fassreifenpräparation gilt, wie bereits an anderer Stelle ausführlich beschrieben (siehe 2.7), als essentieller Faktor für den klinischen Erfolg stiftversorgter EBZ. Die hohen Überlebensraten für sowohl Glasfaser-, als auch Titan-Wurzelstifte der hier präsentierten Studie ist im Wesentlichen dem stringenten Studienprotokoll geschuldet, dass für jeden im Rahmen der Studie behandelten Zahn eine 1,5-2 mm hohe Fassreifenpräparation bei definitiver Pfeilerpräparation vorgesehen hat. Zur Wiederherstellung der biologischen Breite sollte ggf. eine chirurgische Kronenverlängerung durchgeführt werden. Die chirurgische Kronenverlängerung hat den Vorteil den Ferrule-Effekt zu gewährleisten, könnte jedoch die biomechanischen Eigenschaften EBZ durch ein verändertes Kronen/Wurzel-Verhältnis gefährden (Juloski, Radovic et al. 2012). Der Einfluss einer chirurgischen Kronenverlängerung auf die Überlebensraten postendodontisch versorgter EBZ konnte in der vorliegenden Studie aufgrund der zu geringen Ereigniszahl nicht analysiert werden.

Die Festlegung eines ausreichend hohen Ferrule-Designs als Studienstandard (baseline factor) bei der Pfeilerpräparation unterscheidet die vorliegende Studie in einem wesentlichen Punkt von anderen klinischen Studien vergleichbarer Evidenz (RCTs). Fehlende Studienstandards und fehlende definierte Einschlusskriterien erschweren den Vergleich von klinischen Studien und die Interpretation der Studienergebnisse. Autoren verschiedener Studien und systematischer Übersichtsarbeiten (Peroz, Blankenstein et al. 2005; Schmitter, Rammelsberg et al. 2007; Bitter, Noetzel et al. 2009) bemängeln v. a. das Fehlen randomisierter kontrollierter Studien mit definierten Einschlusskriterien auf Basis der residualen Kavitätenwände. Die vorliegende Studie hat eine Einteilung der zu versorgenden Zähne nach Zerstörungsgrad vorgenommen und das Einschlusskriterium „maximal 2 residuale Kavitätenwände“ formuliert. Die Anzahl der vorhandenen Kavitätenwände vor Rehabilitation des EBZ hat einen entscheidenden Einfluss auf die Überlebensrate von EBZ (Faria, Rodrigues et al. 2011) und ist somit eine wichtige Größe, die bekannt sein muss, um Studienergebnisse im Hinblick auf andere Parameter vergleichen zu können. Diverse prospektive Studien belegen, dass das Versagensrisiko bei EBZ mit weniger als zwei residualen Kavitätenwänden signifikant steigt (Ferrari, Cagidiaco et al. 2007; Cagidiaco, Garcia-Godoy et al. 2008;

Naumann 2012) und beim Verlust aller koronalen Wände die höchste Versagensrate aufweist (Ferrari, Cagidiaco et al. 2007). In der vorliegenden Studie wiesen über die Hälfte der behandelten Zähne einen sehr hohen Destruktionsgrad auf (keine residuale Kavitätenwand vorhanden) und je ca. 25% einen Zahnhartsubstanzverlust mit einer oder zwei verbliebenen Kavitätenwänden. Die hohen Überlebensraten trotz ausgeprägtem Zahnhartsubstanzverlust (> 90% in beiden Materialgruppen) unterstreichen, dass zusätzliche Parameter einen bedeutsamen Einfluss auf die Überlebensraten postendodontisch versorgter EBZ einnehmen (siehe 2.8.1). Die Parameter Fassreifenpräparation von min. 1,5 mm, adhäsive Befestigung und zeitnahe definitive Restauration (innerhalb von 3 Monaten nach Stiftsetzung) wurden im Rahmen der vorliegenden Studie als Studienstandards bzw. als Einschlusskriterien definiert, um zum einen den Materialeinfluss der Aufbaustifte (flexibel versus rigide) auf die Überlebensraten stiftversorgter EBZ evaluieren zu können und zum anderen die Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen anderer klinischer Studien zu ermöglichen. Da der Fassreifeneffekt erst mit Eingliederung der definitiven Restauration wirksam wird, wurde die rasche definitive Versorgung innerhalb von 3 Monaten nach Stiftsetzung gefordert. Zwei Probanden der ursprünglichen Gruppensequenz („Intention-to-Treat“-Kollektiv) haben dieses Kriterium nicht erfüllt. In beiden Fällen mit verlängerter temporärer Versorgung kam es zum Versagen innerhalb des ersten Jahres nach Stiftsetzung.

Bei allen Probanden, die die Einschlusskriterien erfüllten, konnte im Rahmen der hier präsentierten Studie keine signifikante Bedeutung des Stiftmaterials auf die Überlebensraten postendodontisch rehabilitierter Pfeilerzähne mit 2 oder weniger residualen Kavitätenwänden bei adhäsiver Befestigung der Wurzelstifte beobachtet werden. Dieser Unterschied ist, unter Beachtung der durch die fehlende a priori Fallzahlbestimmung limitierten Aussagekraft der Studie, nicht signifikant.

Die Nullhypothese wurde somit bestätigt. Die Wahl des Stiftmaterials hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebensraten postendodontisch rehabilitierter Pfeilerzähne. Es lässt sich jedoch anhand der hier präsentierten Daten eine mögliche Korrelation zwischen dem verwendeten Stiftmaterial und der Art des eingetretenen Misserfolges vermuten (Tabelle 10).

DIETSCHI et al (Dietschi, Duc et al. 2007) unterteilen ein postendodontisches Versagen in endodontischen Misserfolg, prothetischen Misserfolg, Sekundärkaries,

Wurzelfrakturen, Rissbildungen und Undichtigkeiten. Autoren einer weiteren systematischen Übersichtsarbeit differenzieren zusätzlich die Kronendislokation, die Stiftfraktur und die Stiftdezementierung (Rasimick, Wan et al. 2009). Die meisten klinischen Misserfolge, die in einem Material- oder ZHS-Versagen oder einer Trennung zwischen verschiedenen Materialien (Dezementierung) resultieren, können dem Ermüdungsstress zugeschrieben werden (Gibbs, Mahan et al. 1981; Neill, Kydd et al. 1989). Dieser entsteht, wenn physiologische mastikatorische oder parafunktionelle Kräfte wiederholt über einen langen Zeitraum hinweg einwirken (Dietschi, Duc et al. 2007). Bei einer ermüdungsbedingten Fraktur kommt es initial zu Krakelierungen im Material, gefolgt von Rissbildung und Materialabriss bis hin zu Materialbruch (Naumann, Preuss et al. 2006).

Der Einfluss des Stiftmaterials auf das Versagensmuster EBZ wird bislang kontrovers diskutiert. Zu dieser Fragestellung lag zu Studienbeginn nur eine Laborstudie vor, die suggerierte, dass Zähne mit inserierten FRC-Stiften im Falle einer Zahnfraktur eher unkomplizierte, d. h. keine Zahnextraktion nach sich ziehende Frakturmuster aufweisen (Fokkinga, Kreulen et al. 2004). In einer späteren Laborstudie wurde beobachtet, dass im Falle einer Zahnfraktur bei FRC-Stiften die Frakturlinien meist weniger als 1 mm unterhalb der Schmelz-Dentin-Grenze lagen, wodurch der Zahn erhalten und wieder restauriert werden konnte (Salameh, Sorrentino et al. 2007). Bei rigiden, metallischen Stiften hingegen verliefen etwaige Frakturlinien mehr als 1 mm unterhalb der Schmelz-Dentin-Grenze, also im Wurzelbereich (Salameh, Sorrentino et al. 2007). Dieser Sachverhalt wurde zum damaligen Zeitpunkt mit einer erhöhten Stresskonzentration an der Dentin-Stift-Kontaktfläche aufgrund der physikalischen Eigenschaften rigider Materialien begründet (Pegoretti, Fambri et al. 2002).

In der hier präsentierten Studie ereigneten sich unter Einsatz rigider Stiftmaterialien (Titan) ausschließlich endodontisch bedingte Misserfolge wohingegen sich unter Verwendung der eher flexiblen faserverstärkten Kompositstifte hauptsächlich frakturbedingte Restaurationsverluste ereigneten. Finite Elemente Analysen veranschaulichten, dass Stiftmaterialien mit einem niedrigeren E-Modul (eher flexibel) den Belastungsstress auf die -bereits geschwächte- Wurzel übertragen, wodurch die Frakturanfälligkeit der mit diesen Stiften versorgten Zähne steigt (Chen, Wang et al. 2014; Durmus and Oyar 2014).

Unter den vier Misserfolgen in der FRC-Materialgruppe der vorliegenden Studie konnten zwei Wurzelfrakturen, eine Aufbaufraktur und ein Zahnverlust infolge eines erhöhten Lockerungsgrades verzeichnet werden. Die Wurzelfrakturen ereigneten sich im zervikalen und mittleren Wurzelf Drittel und hatten die Extraktion des frakturierten Zahn zu Folge. Es kann nicht bestätigt werden, dass FRC-Stifte im Falle einer Zahnfraktur eher unkomplizierte, d. h. keine Zahnextraktion nach sich ziehende Frakturmuster aufweisen. Die Aufbaufraktur ereignete sich am endständigen Pfeiler einer Extensionsbrücke. Ein erhöhtes Frakturrisiko stiftversorgter EBZ kann beobachtet werden, wenn diese als distale Pfeilerzähne bei feststehendem ZE (Brücke) oder bei kombiniert, feststehend-herausnehmbaren ZE (Geschiebe) sowie als Abutments (Teleskope) bei herausnehmbaren ZE dienen (Sorensen and Martinoff 1985; Peroz, Blankenstein et al. 2005). Das Misserfolgsrisiko stiftversorgter EBZ als Pfeilerzähne für herausnehmbaren Zahnersatz ist hierbei fast doppelt so hoch wie für feststehenden ZE (Wegner 2006).

Der vierte Misserfolg in dieser Materialgruppe, ein Zahnverlust aufgrund erhöhter Zahnlockerung, ist nicht materialbedingt. Ein Monitoring des Parodontalstatus und der Mundhygiene der Probanden im Studienverlauf wäre wünschenswert gewesen und hätte vermutlich einen Zusammenhang zwischen diesen Faktoren und dem erhöhten Lockerungsgrad hergestellt. Die Zuordnung der Misserfolge zum Zahntyp, ein weiterer wichtiger Einflussfaktor auf die Überlebensrate stiftversorgter EBZ (Naumann 2005), konnte bei der Studienauswertung nachvollzogen werden. Zahnfrakturen ereigneten sich zu je 50% bei Frontzähnen und Prämolaren, gleichmäßig auf Ober- und Unterkiefer verteilt. Dieses Ergebnis ist konträr zu den Beobachtungen einer klinischen Studie (Naumann 2012), bei der ein zweifach erhöhtes Frakturrisiko für Frontzähne festgestellt worden ist. Alle mit Kompositstiften versehenen EBZ dieser Studie (Naumann 2012) wurden definitiv durch eine adhäsiv befestigte Restauration versorgt, eine Fassreifenpräparation wurde zwar angestrebt, aber nicht konsequent umgesetzt. Da in der hier präsentierten Studie ungefähr die Hälfte der eingeschlossenen postendodontisch rehabilitierten Zähne Frontzähne waren und sich ein erhöhtes Frakturrisiko für diesen Zahntyp nicht bestätigt hat, ist anzunehmen, dass die strikte Einhaltung eines Ferrule-Designs das Frakturrisiko für Frontzähne bei der Versorgung mit FRC-Stiften minimiert. In einer Laborstudie konnte nachgewiesen werden, dass mit einer

Fassreifenpräparation versehene stiftversorgte EBZ signifikant höhere Bruchfestigkeitswerte aufwiesen als stiftversorgte EBZ ohne Ferrule-Effekt (Naumann, Preuss et al. 2006).

Bei der Versorgung mit Titan-Stiften kam es im Rahmen der präsentierten Studie zu drei - ausschließlich endodontischen - Misserfolgen. Bei endodontischem Versagen kann unterschieden werden, ob ein Rezidiv, hervorgerufen durch persistierende Bakterien im Wurzelkanalsystem, vorliegt oder ob eine Reinfektion des Endodonts durch koronale Mikrospalten erfolgt ist (Nair 2004). Dies ist mitunter schwer nachvollziehbar, da selbst das Fehlen radiologischer Veränderungen kein sicherer Beweis für den Therapieerfolg ist (Thiele, Hickel et al. 2003). THIELE et al. (Thiele, Hickel et al. 2003) definieren als Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung das Fehlen radiologischer Veränderungen 4 Jahre nach WKB bei Abwesenheit von klinischen Symptomen. Im Rahmen der Studie wurde der Zeitpunkt der WF nicht dokumentiert. Da die Probanden aus den laufenden klinischen Semestern rekrutiert worden sind, ist ein maximales Zeitfenster von zwölf Monaten zwischen WF und Stiftsetzung wahrscheinlich. Das erste endodontische Versagen in der Titan-Gruppe ereignete sich zwischen 12 und 24 Monaten nach Stiftsetzung, ein endodontisches Rezidiv ist in diesem Fall anzunehmen. In den beiden anderen Fällen kam es zwischen 4 und 5 Jahren nach Stiftsetzung zum Misserfolg. Eine Reinfektion könnte vermutet werden. Als Einschlusskriterium wurde im Rahmen der vorliegenden Studie eine apikale Restwurzelfüllung von mindestens 4 mm gefordert, um die apikale Versiegelung zu gewährleisten. Nach aktuellem Forschungsstand ist es ebenfalls von Bedeutung, dass der Spalt zwischen Stiften und residualer Wurzelfüllung nicht  $> 2$  mm ist, um ein endodontisches Rezidiv zu vermeiden (Moshonov, Slutzky-Goldberg et al. 2005). Aktuelle FEA-Analysen zeigen auf, dass rigide Stiftmaterialien mit einem hohen E-Modul wie Titan den Belastungsstress im Stiftmaterial konzentrieren, wodurch der Stress im Wurzelkomplex sinkt, es aber zu Deformationen an der Stift-Dentin-Grenzfläche kommt (Asmussen, Peutzfeldt et al. 2005; Durmus and Oyar 2014). Dieser Sachverhalt könnte Mikrospalten (microleakage) und in Folge dessen eine bakterielle Penetration aus der Mundhöhle ins Endodont begünstigen. Es wird vermutet, dass das Stiftmaterial keinen Einfluss auf die Belastungsverteilung im Wurzelkronendentin und somit auf die Versagensmodi hat, solange der adhäsive koronale Verbund gewährleistet ist (Sterzenbach, Franke et al. 2013). Eine sichere adhäsive

Befestigung ist daher essentiell für die Langlebigkeit postendodontisch rehabilitierter Zähne. Ein Versagen des Verbundes zwischen Stift und Dentin (Dezementierung) wird als eine der häufigsten Versagensursachen angesehen (Rasimick, Wan et al. 2009). Bedingt durch morphologische Besonderheiten und der Wurzelkanalkonfiguration (hoher C-Faktor) ist der Haftverbund zum radikulären Dentin im Vergleich zum koronalen Dentin gemindert (siehe 2.6.2) und stellt eine klinische Herausforderung dar. Ein Ansatz den Haftverbund zum Wurzelkanaldentin zu optimieren ist die Ethanolimprägnierung des Dentins, um inter- und intrafibrilläres residuales Wasser zu reduzieren und somit die Monomerinfiltration des Adäsivsystems zu verbessern (Sadek, Braga et al.). Die Spülung des Wurzelkanals vor Stiftinsertion mit 99 %-iger Ethanollösung (1 Minute) steigerte im Laborversuch die Haftwerte initial, nach thermozyklischer Alterung und nach 6 monatiger Wasserlagerung signifikant für beide untersuchte Befestigungskomposite (E&R-basierte und SAR-Komposite). SAR-Komposite waren hierbei den E&R-basierten Befestigungskompositen überlegen (Bitter, Aschendorff et al. 2014). Im Rahmen der hier präsentierten Studie wurden die Wurzelkanäle vor der Stiftinsertion mit 99,6 % Ethanol zur Entfernung des Silikonölfilms nach der Defektabformung gereinigt. Da sich im Verlauf der Studie keine Retentionsverluste der Wurzelstifte ereigneten, kann zum einen eine Haftwertverbesserung durch die Ethanolspülung vermutet werden und zum anderen dem bereits in Laboruntersuchungen erprobten, selbsthaftenden Befestigungskomposit RelyX Unicem™ (3M ESPE) auch der dauerhafte adhäsive Verbund in der klinischen Anwendung nachgewiesen werden.

## **7 Schlussfolgerung**

Konfektionierte Aufbaustifte aus Glasfaser oder Titan eignen sich gleichermaßen zur indikationsgerechten Rekonstruktion stark zerstörter EBZ. Es konnte nachgewiesen werden, dass stiftversorgte EBZ bei adhäsiver Befestigung der Aufbaustifte, Sicherstellung eines adäquaten Ferrule-Effektes und der definitiven Versorgung des EBZ hohe längerfristige Überlebensraten erzielen unabhängig von der Materialgruppe der Aufbaustifte. Diese in der vorliegenden Studie als Einschlusskriterien definierten Parameter sind die wichtigsten Einflussgrößen bei der Prognose von stiftversorgten EBZ - der Einfluss des Stiftmaterials wurde bislang überbewertet. Es kann demzufolge keinem der beiden Materialien der Vorzug gegeben werden. Zwischen den längerfristigen Überlebensraten beider Stiftmaterialien gibt es keine signifikanten Unterschiede, es könnte jedoch eine Korrelation zwischen Stiftmaterial und Versagensursache im Falle eines Misserfolges vermutet werden. Es scheint, als ob rigide Stiftmaterialien eher von endodontischen Misserfolgen und flexiblere Stiftmaterialien eher von frakturbedingten Misserfolgen betroffen sind, wobei man hier nicht in jedem Fall von restaurierbaren, günstigen Frakturverläufen von weniger als 1 mm unterhalb der Schmelz-Dentin-Grenze ausgehen kann. Zur Vermeidung bzw. Reduktion von Misserfolgen dieser Art nimmt besonders die adhäsive Befestigung mit einem geeigneten Befestigungsmaterial einen großen Stellenwert ein. Adhäsive Befestigungskomposite dichten das Wurzelkanalsystem ab und werden auch als Stress absorbierende Schicht zwischen Aufbaustift und Wurzeldentin bei kaufunktioneller Belastung angesehen. Durch die effektive adhäsive Befestigung von Wurzelstiften kann demnach der Entstehung koronaler Mikrospalten als eine Ursache von endodontischen Misserfolgen vorgebeugt werden, als auch Frakturprophylaxe betrieben werden. Das in dieser Studie getestete selbsthaftende Befestigungskomposit RelyX Unicem™ (3M ESPE) ist zur adhäsiven Befestigung von Aufbaustiften empfehlenswert. Es hat sich in der klinischen Anwendung im Rahmen der Studie hinsichtlich eines dauerhaften Verbundes zwischen Stift und Wurzeldentin bewährt (keine Dezementierungen im Verlauf der Studie) und ist schnell und zeitsparend in der praktischen Anwendung.

## 8 Literaturverzeichnis

- Akkayan, B. (2004). "An in vitro study evaluating the effect of ferrule length on fracture resistance of endodontically treated teeth restored with fiber-reinforced and zirconia dowel systems." J Prosthet Dent **92**(2): 155-62.
- Ari, H., E. Yasar and S. Belli (2003). "Effects of NaOCl on bond strengths of resin cements to root canal dentin." J Endod **29**(4): 248-51.
- Ashley, M. and I. Harris (2001). "The assessment of the endodontically treated tooth." Dent Update **28**(5): 247-52.
- Asmussen, E., A. Peutzfeldt and A. Sahafi (2005). "Finite element analysis of stresses in endodontically treated, dowel-restored teeth." J Prosthet Dent **94**(4): 321-9.
- Assif, D. and C. Gorfil (1994). "Biomechanical considerations in restoring endodontically treated teeth." J Prosthet Dent **71**(6): 565-7.
- Baba, N. Z., G. Golden and C. J. Goodacre (2009). "Nonmetallic prefabricated dowels: a review of compositions, properties, laboratory, and clinical test results." J Prosthodont **18**(6): 527-36.
- Bachicha, W. S., P. M. DiFiore, D. A. Miller, E. P. Lautenschlager and D. H. Pashley (1998). "Microleakage of endodontically treated teeth restored with posts." J Endod **24**(11): 703-8.
- Baratieri, L., M. De Andrada, G. Arcari and A. Ritter (2000). "Influence of post placement in the fracture resistance of endodontically treated incisors veneered with direct composite." Journal of Prosthetic Dentistry **84**: 180-184.
- Basaran, E. G., E. Ayna and M. Halifeoglu (2012). "Microleakage of endodontically treated teeth restored with 3 different adhesive systems and 4 different fiber-reinforced posts." J Prosthet Dent **107**(4): 239-51.
- Bateman, G., D. N. Ricketts and W. P. Saunders (2003). "Fibre-based post systems: a review." Br Dent J **195**(1): 43-8; discussion 37.
- Bitter, K., L. Aschendorff, K. Neumann, U. Blunck and G. Sterzenbach (2014). "Do chlorhexidine and ethanol improve bond strength and durability of adhesion of fiber posts inside the root canal?" Clin Oral Investig **18**(3): 927-34.
- Bitter, K. and A. M. Kielbassa (2007). "Post-endodontic restorations with adhesively luted fiber-reinforced composite post systems: a review." Am J Dent **20**(6): 353-60.
- Bitter, K., H. Meyer-Luckel, K. Priehn, P. Martus and A. M. Kielbassa (2006). "Bond strengths of resin cements to fiber-reinforced composite posts." Am J Dent **19**(3): 138-42.
- Bitter, K., H. Meyer-Lueckel, N. Fotiadis, U. Blunck, K. Neumann, A. M. Kielbassa and S. Paris (2010). "Influence of endodontic treatment, post insertion, and ceramic restoration on the fracture resistance of maxillary premolars." Int Endod J **43**(6): 469-77.
- Bitter, K., J. Noetzel, K. Neumann and A. M. Kielbassa (2007). "Effect of silanization on bond strengths of fiber posts to various resin cements." Quintessence Int **38**(2): 121-8.
- Bitter, K., J. Noetzel, O. Stamm, J. Vaudt, H. Meyer-Lueckel, K. Neumann and A. M. Kielbassa (2009). "Randomized clinical trial comparing the effects of post placement on failure rate of post-endodontic restorations: preliminary results of a mean period of 32 months." J Endod **35**(11): 1477-82.
- Bolhuis, H., A. De Gee and A. Feilzer (2001). "Fracture strength of different core build-up designs." American Journal of Dentistry **14**: 286-290.
- Bolla, M., M. Muller-Bolla, C. Borg, L. Lupi-Pegurier, O. Laplanche and E. Leforestier (2007). "Root canal posts for the restoration of root filled teeth." Cochrane Database Syst Rev(1): CD004623.
- Breschi, L., A. Mazzoni, A. Ruggeri, M. Cadenaro, R. Di Lenarda and E. De Stefano Dorigo (2008). "Dental adhesion review: aging and stability of the bonded interface." Dent Mater **24**(1): 90-101.
- Butz, F., A. M. Lennon, G. Heydecke and J. R. Strub (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**(1): 58-64.

## Literaturverzeichnis

---

- Cagidiaco, M. C., F. Garcia-Godoy, A. Vichi, S. Grandini, C. Goracci and M. Ferrari (2008). "Placement of fiber prefabricated or custom made posts affects the 3-year survival of endodontically treated premolars." Am J Dent **21**(3): 179-84.
- Cagidiaco, M. C., I. Radovic, M. Simonetti, F. Tay and M. Ferrari (2007). "Clinical performance of fiber post restorations in endodontically treated teeth: 2-year results." Int J Prosthodont **20**(3): 293-8.
- Caplan, D. J., J. Kolker, E. M. Rivera and R. E. Walton (2002). "Relationship between number of proximal contacts and survival of root canal treated teeth." Int Endod J **35**(2): 193-9.
- Carrigan, P. J., D. R. Morse, M. L. Furst and I. H. Sinai (1984). "A scanning electron microscopic evaluation of human dentinal tubules according to age and location." J Endod **10**(8): 359-63.
- Cecchin, D., J. F. de Almeida, B. P. Gomes, A. A. Zaia and C. C. Ferraz (2011). "Influence of chlorhexidine and ethanol on the bond strength and durability of the adhesion of the fiber posts to root dentin using a total etching adhesive system." J Endod **37**(9): 1310-5.
- Chen, D., N. Wang, Y. Gao, L. Shao and B. Deng (2014). "A 3-dimensional finite element analysis of the restoration of the maxillary canine with a complex zirconia post system." J Prosthet Dent **112**(6): 1406-15.
- Cheron, R. A., S. J. Marshall, H. E. Goodis and O. A. Peters (2011). "Nanomechanical properties of endodontically treated teeth." J Endod **37**(11): 1562-5.
- Craig, R. G., Power, J.M., Wataha, J.C. (2006). Zahnärztliche Werkstoffe: Eigenschaften und Verarbeitung, Urban & Fischer.
- De Munck, J., M. Vargas, K. Van Landuyt, K. Hikita, P. Lambrechts and B. Van Meerbeek (2004). "Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin." Dent Mater **20**(10): 963-71.
- De Sort, K. (1983). "The prosthodontic use of endodontically treated teeth: theory and biomechanics of post preparation." Journal of Prosthetic Dentistry **49**: 203-206.
- de Sousa Menezes, M., E. C. Queiroz, P. V. Soares, A. L. Faria-e-Silva, C. J. Soares and L. R. Martins (2011). "Fiber post etching with hydrogen peroxide: effect of concentration and application time." J Endod **37**(3): 398-402.
- Dietschi, D., O. Duc, I. Krejci and A. Sadan (2007). "Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature--Part 1. Composition and micro- and macrostructure alterations." Quintessence Int **38**(9): 733-43.
- Dietschi, D., O. Duc, I. Krejci and A. Sadan (2008). "Biomechanical considerations for the restoration of endodontically treated teeth: a systematic review of the literature, Part II (Evaluation of fatigue behavior, interfaces, and in vivo studies)." Quintessence Int **39**(2): 117-29.
- Drummond, J. (2000). "In vitro evaluation of endodontic posts." American Journal of Dentistry **13**: 5B-8B.
- Drummond, J. L. (2000). "In vitro evaluation of endodontic posts." Am J Dent **13**(Spec No): 5B-8B.
- Duret, B., M. Reynaud and F. Duret (1990). "[New concept of coronoradicular reconstruction: the Composipost (1)]." Chir Dent Fr **60**(540): 131-41 contd.
- Duret, B., M. Reynaud and F. Duret (1990). "Un nouveau concept de reconstitution corono-radulaire: Le Composipost (1)." Le Chirugien-Dentiste de France **60**: 131-141.
- Durmus, G. and P. Oyar (2014). "Effects of post core materials on stress distribution in the restoration of mandibular second premolars: a finite element analysis." J Prosthet Dent **112**(3): 547-54.
- Edelhoff, D., Heidemann, D., Kern, M., Weigl, P. (2003). "Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK, der DGZPW und der DGZ: Aufbau endodontisch behandelter Zähne." Zahnärztl Mitt **93**: 42-44.
- Edelhoff, D. and M. Kern (2003). "Vollkeramik von A bis Z für Praktiker." ZWR **112**(6): 276-281.
- Edelhoff, D., Spiekermann, H., Yildirim, M. (2000). "Klinische Erfahrungen mit konfektionierten wurzelstiften und individuellen Stumpfaufbauten aus Keramik." Dtsch Zahnärztl Z **55**: 746-750.
- Eriksen, H. M. (1991). "Endodontology--epidemiologic considerations." Endod Dent Traumatol **7**(5): 189-95.

## Literaturverzeichnis

---

- Faria, A. C., R. C. Rodrigues, R. P. de Almeida Antunes, G. de Mattos Mda and R. F. Ribeiro (2011). "Endodontically treated teeth: characteristics and considerations to restore them." J Prosthodont Res **55**(2): 69-74.
- Fernandes, A. S., S. Shetty and I. Coutinho (2003). "Factors determining post selection: a literature review." J Prosthet Dent **90**(6): 556-62.
- Ferrari, M., M. C. Cagidiaco, S. Grandini, M. De Sanctis and C. Goracci (2007). "Post placement affects survival of endodontically treated premolars." J Dent Res **86**(8): 729-34.
- Ferrari, M., C. A. Carvalho, C. Goracci, F. Antonioli, A. Mazzoni, G. Mazzotti, M. Cadenaro and L. Breschi (2009). "Influence of luting material filler content on post cementation." J Dent Res **88**(10): 951-6.
- Ferrari, M., A. Vichi, G. M. Fadda, M. C. Cagidiaco, F. R. Tay, L. Breschi, A. Polimeni and C. Goracci (2012). "A randomized controlled trial of endodontically treated and restored premolars." J Dent Res **91**(7 Suppl): 72S-78S.
- Ferrari, M., A. Vichi and F. Garcia-Godoy (2000). "Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores." Am J Dent **13**(Spec No): 15B-18B.
- Ferrari, M., A. Vichi and F. Garcia-Godoy (2002b). "Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores." American Journal of Dentistry **13**: 8B-15B.
- Fischer, H., D. Edelhoff and R. Marx (1998). "Mechanische Beanspruchbarkeit von Zirkoniumdioxid-Wurzelstiften." Dtsch Zahnärztl Z **53**: 854-858.
- Fokkinga, W. A., C. M. Kreulen, P. K. Vallittu and N. H. Creugers (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**(4): 476-82.
- Friedel, W. and M. Kern (2006). "Fracture strength of teeth restored with all-ceramic posts and cores." Quintessence Int **37**(4): 289-95.
- Friedman, S., S. Abitbol and H. P. Lawrence (2003). "Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase 1: initial treatment." J Endod **29**(12): 787-93.
- G. Heydecke, M. C. P. (2002). "The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct posts and cores: A systematic review." J Prosthet Dent **87**: 380-386.
- Gegauff, A. G. (2000). "Effect of crown lengthening and ferrule placement on static load failure of cemented cast post-cores and crowns." J Prosthet Dent **84**(2): 169-79.
- Giargia, M., I. Ericsson, J. Lindhe, T. Berglundh and A. M. Neiderud (1994). "Tooth mobility and resolution of experimental periodontitis. An experimental study in the dog." J Clin Periodontol **21**(7): 457-64.
- Gibbs, C. H., P. E. Mahan, H. Lundeen, K. Brehnan, E. K. Walsh and W. Holbrook (1981). "Occlusal forces during chewing and swallowing as measured by sound transmission." J Prosthet Dent **46**: 443-449.
- Glazer, B. (2000). "Restoration of endodontically treated teeth with carbon fibre posts--a prospective study." J Can Dent Assoc **66**(11): 613-8.
- Goracci, C., G. Corciolani, A. Vichi and M. Ferrari (2008). "Light-transmitting ability of marketed fiber posts." J Dent Res **87**(12): 1122-6.
- Goracci, C. and M. Ferrari (2011). "Current perspectives on post systems: a literature review." Aust Dent J **56** Suppl 1: 77-83.
- Gordon, T. M., D. Damato and P. Christner (1981). "Solvent effect of various dilutions of sodium hypochlorite on vital and necrotic tissue." J Endod **7**(10): 466-9.
- Grandini, S., C. Goracci, F. Monticelli, F. R. Tay and M. Ferrari (2005). "Fatigue resistance and structural characteristics of fiber posts: three-point bending test and SEM evaluation." Dent Mater **21**(2): 75-82.
- Grandini, S., C. Goracci, F. R. Tay, R. Grandini and M. Ferrari (2005). "Clinical evaluation of the use of fiber posts and direct resin restorations for endodontically treated teeth." Int J Prosthodont **18**(5): 399-404.
- Gutmann, J. (1992). "The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth." Journal of Prosthetic Dentistry **67**: 458-467.

## Literaturverzeichnis

---

- Habl, C., A. Bodenwinkler and H. Sturzlinger (2006). "Endodontic treatment of molars." GMS Health Technol Assess **2**: Doc03.
- Helfer, A. S., S. Meinick and H. Schilder (1972). "Determination of moisture content of vital and pulpless teeth." Oral Surg Oral Med oral Pathol **34**(4): 661-70.
- Heydecke, G. and M. Peters (2002). "The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct posts and cores: A systematic review." Journal of Prosthetic Dentistry **87**: 380-386.
- Huang, T. J., H. Schilder and D. Nathanson (1992). "Effects of moisture content and endodontic treatment on some mechanical properties of human dentin." J Endod **18**(5): 209-15.
- Hulsmann, M., M. Heckendorff and A. Lennon (2003). "Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use." Int Endod J **36**(12): 810-30.
- Ioannidis, J. P., S. J. Evans, P. C. Gotzsche, R. T. O'Neill, D. G. Altman, K. Schulz and D. Moher (2004). "Better reporting of harms in randomized trials: an extension of the CONSORT statement." Ann Intern Med **141**(10): 781-8.
- Jindal, S., R. Jindal, S. Mahajan, R. Dua, N. Jain and S. Sharma (2011). "In vitro evaluation of the effect of post system and length on the fracture resistance of endodontically treated human anterior teeth." Clin Oral Investig **16**(6): 1627-33.
- Jongsma, L. A., C. J. Kleverlaan, P. Pallav and A. J. Feilzer (2012). "Influence of polymerization mode and C-factor on cohesive strength of dual-cured resin cements." Dent Mater **28**(7): 722-8.
- Juloski, J., I. Radovic, C. Goracci, Z. R. Vulicevic and M. Ferrari (2012). "Ferrule effect: a literature review." J Endod **38**(1): 11-9.
- Kawasaki, K., J. Ruben, I. Stokroos, O. Takagi and J. Arends (1999). "The remineralization of EDTA-treated human dentine." Caries Res **33**(4): 275-80.
- King, P. A., D. J. Setchell and J. S. Rees (2003). "Clinical evaluation of a carbon fibre reinforced carbon endodontic post." J Oral Rehabil **30**(8): 785-9.
- Kumbuloglu, O., L. V. Lassila, A. User and P. K. Vallittu (2004). "A study of the physical and chemical properties of four resin composite luting cements." Int J Prosthodont **17**(3): 357-63.
- Kung, J., F. Chiappelli, O. O. Cajulis, R. Avezova, G. Kossan, L. Chew and C. A. Maida (2010). "From Systematic Reviews to Clinical Recommendations for Evidence-Based Health Care: Validation of Revised Assessment of Multiple Systematic Reviews (R-AMSTAR) for Grading of Clinical Relevance." Open Dent J **4**: 84-91.
- Lanza, A., R. Aversa, S. Rengo, D. Apicella and A. Apicella (2005). "3D FEA of cemented steel, glass and carbon posts in a maxillary incisor." Dent Mater **21**(8): 709-15.
- Lassila, L. V., J. Tanner, A. M. Le Bell, K. Narva and P. K. Vallittu (2004). "Flexural properties of fiber reinforced root canal posts." Dent Mater **20**(1): 29-36.
- Lewinstein, I. and R. Grajower (1981). "Root dentin hardness of endodontically treated teeth." J Endod **7**(9): 421-2.
- Lewinstein, I., Z. Hirschfeld, A. Stabholz and I. Rotstein (1994). "Effect of hydrogen peroxide and sodium perborate on the microhardness of human enamel and dentin." J Endod **20**(2): 61-3.
- Libman, W. J. and J. I. Nicholls (1995). "Load fatigue of teeth restored with cast posts and cores and complete crowns." Int J Prosthodont **8**(2): 155-61.
- Lima, A. F., A. O. Spazzin, D. Galafassi, L. Correr-Sobrinho and B. Carlini-Junior (2009). "Influence of ferrule preparation with or without glass fiber post on fracture resistance of endodontically treated teeth." J Appl Oral Sci **18**(4): 360-3.
- Lung, C. Y. and J. P. Matinlinna (2012). "Aspects of silane coupling agents and surface conditioning in dentistry: an overview." Dent Mater **28**(5): 467-77.
- Ma, P. S., J. I. Nicholls, T. Junge and K. M. Phillips (2009). "Load fatigue of teeth with different ferrule lengths, restored with fiber posts, composite resin cores, and all-ceramic crowns." J Prosthet Dent **102**(4): 229-34.
- Mannocci, F., E. Bertelli, M. Sherriff, T. F. Watson and T. R. Ford (2002). "Three-year clinical comparison of survival of endodontically treated teeth restored with either full cast coverage or with direct composite restoration." J Prosthet Dent **88**(3): 297-301.

## Literaturverzeichnis

---

- Mannocci, F., A. J. Qualtrough, H. V. Worthington, T. F. Watson and T. R. Pitt Ford (2005). "Randomized clinical comparison of endodontically treated teeth restored with amalgam or with fiber posts and resin composite: five-year results." Oper Dent **30**(1): 9-15.
- Mendoza, D. B., W. S. Eakle, E. A. Kahl and R. Ho (1997). "Root reinforcement with a resin-bonded preformed post." J Prosthet Dent **78**(1): 10-4.
- Meng, Q. F., L. J. Chen, J. Meng, Y. M. Chen, R. J. Smales and K. H. Yip (2009). "Fracture resistance after simulated crown lengthening and forced tooth eruption of endodontically-treated teeth restored with a fiber post-and-core system." Am J Dent **22**(3): 147-50.
- Moher, D., K. F. Schulz and D. G. Altman (2003). "The CONSORT statement: revised recommendations for improving the quality of reports of parallel-group randomised trials." Clin Oral Investig **7**(1): 2-7.
- Monticelli, F., S. Grandini, C. Goracci and M. Ferrari (2003). "Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study." Int J Prosthodont **16**(6): 593-6.
- Moshonov, J., I. Slutzky-Goldberg, A. Gottlieb and B. Peretz (2005). "The effect of the distance between post and residual gutta-percha on the clinical outcome of endodontic treatment." J Endod **31**(3): 177-9.
- Mountouris, G., N. Silikas and G. Eliades (2004). "Effect of sodium hypochlorite treatment on the molecular composition and morphology of human coronal dentin." J Adhes Dent **6**(3): 175-82.
- Nair, P. N. (2004). "Pathogenesis of apical periodontitis and the causes of endodontic failures." Crit Rev Oral Biol Med **15**(6): 348-81.
- Naumann, M. (2003). "Wann Wurzelstifte indiziert sind - Klassifikation und Therapiekonzept." Quintessenz **54**(9): 931-938.
- Naumann, M. (2005). "Aufbaustifte für endodontisch behandelte Zähne." Zahn Prax **8**(10): 518-520.
- Naumann, M. (2007). "Forschung zur postendodontischen Versorgung - Konsequenzen für die zahnärztliche Praxis." Zahn Prax **10**(5): 342-346.
- Naumann, M., F. Blankenstein and T. Dietrich (2005). "Survival of glass fibre reinforced composite post restorations after 2 years-an observational clinical study." J Dent **33**(4): 305-12.
- Naumann, M., S. Kiessling and R. Seemann (2006). "Treatment concepts for restoration of endodontically treated teeth: A nationwide survey of dentists in Germany." J Prosthet Dent **96**(5): 332-8.
- Naumann, M., M. Koelpin, F. Beuer and H. Meyer-Lueckel (2012). "10-year survival evaluation for glass-fiber-supported postendodontic restoration: a prospective observational clinical study." J Endod **38**(4): 432-5.
- Naumann, M., kölpin, M. (2011). "Sind schraubenförmige Aufbaustifte noch zeitgemäß?" Quintessenz **62**(3): 337-346.
- Naumann, M., M. Koelpin, F. Beuer et al. (2012). "10-year Survival Evaluation for Glass-fiber-supported Postendodontic Restoration: A Prospective Observational Clinical Study." J Endod **38**: 432-435.
- Naumann, M., A. Preuss and R. Frankenberger (2006). "Load capability of excessively flared teeth restored with fiber-reinforced composite posts and all-ceramic crowns." Oper Dent **31**(6): 699-704.
- Naumann, M., A. Preuss and R. Frankenberger (2006). "Reinforcement effect of adhesively luted fiber reinforced composite versus titanium posts." Dent Mater **23**(2): 138-44.
- Naumann, M., A. Preuss and M. Rosentritt (2006). "Effect of incomplete crown ferrules on load capacity of endodontically treated maxillary incisors restored with fiber posts, composite build-ups, and all-ceramic crowns: an in vitro evaluation after chewing simulation." Acta Odontol Scand **64**(1): 31-6.
- Naumann, M., G. Sterzenbac, F. Alexandra and T. Dietrich (2007). "Randomized controlled clinical pilot trial of titanium vs. glass fiber prefabricated posts: preliminary results after up to 3 years." Int J Prosthodont **20**(5): 499-503.
- Naumann, M., G. Sterzenbach, F. Alexandra and T. Dietrich (2007). "Randomized controlled clinical pilot trial of titanium vs. glass fiber prefabricated posts: preliminary results after up to 3 years." Int J Prosthodont **20**(5): 499-503.

## Literaturverzeichnis

---

- Naumann, M., G. Sterzenbach, A. Franke and T. Dietrich (2007). "Randomized Controlled Clinical Pilot Trial of Titanium vs Glass Fiber Prefabricated Posts: Preliminary Results After Up to 3 Years." International Journal of Prosthodontics **20**: 499-503.
- Naumann, M., G. Sterzenbach, M. Rosentritt, F. Beuer and R. Frankenberger (2008). "Is adhesive cementation of endodontic posts necessary?" J Endod **34**(8): 1006-10.
- Neill, D. J., W. L. Kydd, R. I. Nairn and J. Wilson (1989). **62**: 218-228.
- Nissan, J., Y. Dmitry and D. Assif (2001). "The use of reinforced composite resin cement as compensation for reduced post length." J Prosthet Dent **86**(3): 304-8.
- Nothdurft, F. P., E. Seidel, F. Gebhart, M. Naumann, P. J. Motter and P. R. Pospiech (2008). "The fracture behavior of premolar teeth with class II cavities restored by both direct composite restorations and endodontic post systems." J Dent **36**(6): 444-9.
- Papa, J., C. Cain and H. H. Messer (1994). "Moisture content of vital vs endodontically treated teeth." Endod Dent Traumatol **10**(2): 91-3.
- Pegoretti, A., L. Fambri, G. Zappini and M. Bianchetti (2002). "Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post." Biomaterials **23**(13): 2667-82.
- Pegoretti, A., L. Fambri, G. Zappini and M. Bianchetti (2002). "Finite element analysis of a glass fibre reinforced endodontic post." Biomaterials **23**: 2667-2687.
- Peroz, I., F. Blankenstein, K. P. Lange and M. Naumann (2005). "Restoring endodontically treated teeth with posts and cores--a review." Quintessence Int **36**(9): 737-46.
- Petrie, A., J. S. Bulman and J. F. Osborn (2002). "Further statistics in dentistry: Part 1: Research designs 1." Br Dent J **193**(7): 377-80.
- Piovesan, E. M., F. F. Demarco and M. S. Cenci (2007). "Survival Rates of Endodontically Treated Teeth Restored with Fiber-Reinforced Custom Posts and Cores: A 97-Month Study." International Journal of Prosthodontics **20**: 633-639.
- Radovic, I., F. Monticelli, A. H. Cury, E. Bertelli, Z. R. Vulicevic and M. Ferrari (2008). "Coupling of composite resin cements to quartz fiber posts: a comparison of industrial and chairside treatments of the post surface." J Adhes Dent **10**(1): 57-66.
- Radovic, I., F. Monticelli, C. Goracci, Z. R. Vulicevic and M. Ferrari (2008). "Self-adhesive resin cements: a literature review." J Adhes Dent **10**(4): 251-8.
- Randow, K. and P. O. Glantz (1986). "On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study." Acta Odontol Scand **44**(5): 271-7.
- Rasimick, B. J., J. Wan, B. L. Musikant and A. S. Deutsch (2009). "A review of failure modes in teeth restored with adhesively luted endodontic dowels." J Prosthodont **19**(8): 639-46.
- Reeh, E. S., W. H. Douglas and H. H. Messer (1989). "Stiffness of endodontically-treated teeth related to restoration technique." J Dent Res **68**(11): 1540-4.
- Reid, L. C., R. B. Kazemi and J. C. Meiers (2003). "Effect of fatigue testing on core integrity and post microleakage of teeth restored with different post systems." J Endod **29**(2): 125-31.
- Rosen, H. (1961). "Operative procedures on mutilated endodontically treated teeth." Journal of Prosthetic Dentistry **11**: 973-86.
- Sadek, F. T., R. R. Braga, A. Muench, Y. Liu, D. H. Pashley and F. R. Tay "Ethanol wet-bonding challenges current anti-degradation strategy." J Dent Res **89**(12): 1499-504.
- Salameh, Z., R. Sorrentino, H. Ounsi and C. Goracci (2007). "Effect of Different All-Ceramic Crown System on Fracture Resistance and Failure Pattern of Endodontically Treated Maxillary Premolars Restored With and Without Glass Fiber Posts." Journal of Endodontics **33**(7): 848-851.
- Saleh, A. A. and W. M. Ettman (1999). "Effect of endodontic irrigation solutions on microhardness of root canal dentine." J Dent **27**(1): 43-6.
- Santos, M. J., H. Bapoo, A. S. Rizkalla and G. C. Santos (2011). "Effect of dentin-cleaning techniques on the shear bond strength of self-adhesive resin luting cement to dentin." Oper Dent **36**(5): 512-20.
- Saunders, W. P. and E. M. Saunders (1994). "Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy: a review." Endod Dent Traumatol **10**(3): 105-8.
- Sax, G. (1999). "Zahnstatuserhebung 1998 in Österreich - 18 Jährige."

## Literaturverzeichnis

---

- Sax, G. and P. Städler (2001). "Zahnstatus 2000 in Österreich -35-44 Jährige und 65-74 Jährige." *Quintessence Int* **42**(10): 843-50.
- Schmitter, M., K. Hamadi and P. Rammelsberg (2011). "Survival of two post systems--five-year results of a randomized clinical trial." *Quintessence Int* **42**(10): 843-50.
- Schmitter, M., S. Lippenberger, S. Rues, H. Gilde and P. Rammelsberg (2010). "Fracture resistance of incisor teeth restored using fibre-reinforced posts and threaded metal posts: effect of post length, location, pretreatment and cementation of the final restoration." *Int Endod J* **43**(5): 436-42.
- Schmitter, M., P. Rammelsberg, O. Gabbert and B. Ohlmann (2007). "Influence of clinical baseline findings on the survival of 2 post systems: a randomized clinical trial." *Int J Prosthodont* **20**(2): 173-8.
- Schmitter, M., G. Sterzenbach, C. M. Faggion, Jr. and G. Krastl (2013). "A flood tide of systematic reviews on endodontic posts: methodological assessment using of R-AMSTAR." *Clin Oral Investig* **17**(5): 1287-94.
- Schulz, K. F., D. G. Altman and D. Moher (2010). "CONSORT 2010 Statement: Updated guidelines for reporting parallel group randomised trials." *J Clin Epidemiol* **63**(8): 834-40.
- Sedgley, C. M. and H. H. Messer (1992). "Are endodontically treated teeth more brittle?" *J Endod* **18**(7): 332-5.
- Sjogren, U., B. Hagglund, G. Sundqvist and K. Wing (1990). "Factors affecting the long-term results of endodontic treatment." *J Endod* **16**(10): 498-504.
- Smith, B. G. and J. K. Knight (1984). "An index for measuring the wear of teeth." *Br Dent J* **156**(12): 435-8.
- Sorensen, J., Engelmann, M. (1990). "Effect of post adaption on fracture resistance of endodontically treated teeth." *Journal of Prosthetic Dentistry* **64**: 419-424.
- Sorensen, J. A. and M. J. Engelman (1990). "Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth." *J Prosthet Dent* **63**(5): 529-36.
- Sorensen, J. A. and J. T. Martinoff (1984). "Intracoronar reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth." *J Prosthet Dent* **51**(6): 780-4.
- Sorensen, J. A. and J. T. Martinoff (1985). "Endodontically treated teeth as abutments." *J Prosthet Dent* **53**: 631-636.
- Sorrentino, R., F. Monticelli, C. Goracci, F. Zarone, F. R. Tay, F. Garcia-Godoy and M. Ferrari (2007). "Effect of post-retained composite restorations and amount of coronal residual structure on the fracture resistance of endodontically-treated teeth." *Am J Dent* **20**(4): 269-74.
- Standlee, J. P., A. A. Caputo, E. W. Collard and M. H. Pollack (1972). "Analysis of stress distribution by endodontic posts." *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* **33**(6): 952-60.
- Standlee, J. P., A. A. Caputo and E. C. Hanson (1978). "Retention of endodontic dowels: effects of cement, dowel length, diameter, and design." *J Prosthet Dent* **39**(4): 400-5.
- Standlee, J. P., A. A. Caputo, J. Holcomb and K. C. Trabert (1980). "The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel." *J Prosthet Dent* **44**(4): 398-404.
- Standlee, J. P., E. W. Collard and A. A. Caputo (1970). "Dentinal defects caused by some twist drills and retentive pins." *J Prosthet Dent* **24**(2): 185-92.
- Stankiewicz, N. R. and P. R. Wilson (2002). "The ferrule effect: a literature review." *Int Endod J* **35**(7): 575-81.
- Sterzenbach, G., A. Franke and M. Naumann (2013). "Rigid versus flexible dentine-like endodontic posts--clinical testing of a biomechanical concept: seven-year results of a randomized controlled clinical pilot trial on endodontically treated abutment teeth with severe hard tissue loss." *J Endod* **38**(12): 1557-63.
- Sterzenbach, G., G. Karajouli, M. Naumann, I. Peroz and K. Bitter (2011). "Fiber post placement with core build-up materials or resin cements-An evaluation of different adhesive approaches." *Acta Odontol Scand*.
- Sterzenbach, G., M. Rosentritt, R. Frankenberger, S. Paris and M. Naumann (2012). "Loading standardization of postendodontic restorations in vitro: impact of restorative stage, static loading, and dynamic loading." *Oper Dent* **37**(1): 71-9.

## Literaturverzeichnis

---

- Stewardson, D. A., A. C. Shortall and P. M. Marquis (2011). "The effect of the elastic modulus of endodontic posts on static load failure." *Int Endod J* **44**(5): 458-68.
- Tan, P. L., S. A. Aquilino, D. G. Gratton, C. M. Stanford, S. C. Tan, W. T. Johnson and D. Dawson (2005). "In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configurations." *J Prosthet Dent* **93**(4): 331-6.
- Thiele, L., R. Hickel and M. Folwaczny (2003). "Der endodontische Misserfolg - von der Definition zur Strategie." *Dtsch Zahnärztl Z* **58**(3): 144-150.
- Tidmarsh, B. G. and M. G. Arrowsmith (1989). "Dentinal tubules at the root ends of apicected teeth: a scanning electron microscopic study." *Int Endod J* **22**(4): 184-9.
- Torbjörner, A. and B. Fransson (2004). "A literature review on the prosthetic treatment of structurally compromised teeth." *International Journal of Prosthodontics* **17**: 369-376.
- Vano, M., C. Goracci, F. Monticelli, F. Tognini, M. Gabriele, F. R. Tay and M. Ferrari (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**(1): 31-9.
- Wegner, P., S. Freitag, M. Kern (2006). "Survival Rate of Endodontically Treated Teeth With Posts After Prosthetic Restoration." *J Endod* **32**: 828-931.
- Wernecke, K.-D. (2004). *Medizinische Biometrie: Planung und Auswertung medizinischer Studien*.
- Wrbas, K. T., M. J. Altenburger, J. F. Schirrmeister, K. Bitter and A. M. Kielbassa (2007). "Effect of adhesive resin cements and post surface silanization on the bond strengths of adhesively inserted fiber posts." *J Endod* **33**(7): 840-3.
- Wu, H., M. Hayashi, K. Okamura, E. V. Koytchev, S. Imazato, S. Tanaka, Y. Tanaka, H. Sano and S. Ebisu (2009). "Effects of light penetration and smear layer removal on adhesion of post-cores to root canal dentin by self-etching adhesives." *Dent Mater* **25**(12): 1484-92.
- Zhou, L. and Q. Wang (2013). "Comparison of fracture resistance between cast posts and fiber posts: a meta-analysis of literature." *J Endod* **39**(1): 11-5.



## **Danksagung**

Mein besonderer Dank gilt Prof. Dr. Michael Naumann und Priv.-Doz. Dr. Guido Sterzenbach, die diese Studie in die Wege geleitet haben. Ich danke ihnen vielmals für die kompetente und stets geduldige und freundliche Betreuung meiner Arbeit in jeder Schaffensperiode. Priv.-Doz. Dr. Guido Sterzenbach möchte ich insbesondere für seine konstruktive inhaltliche Kritik danken, die mir sehr geholfen hat, die Dissertation fertig zu stellen.

Sehr herzlich möchte ich mich auch bei den Mitarbeitern der Abteilung für Prothetik und der Röntgenabteilung bedanken, die mir unkomplizierten Zugang und ihre Unterstützung im Zeitraum der Nachuntersuchungen gewährten. Unseren Patienten danke ich für ihre zuverlässige Studienteilnahme über den langen Zeitraum der Studie hinweg. Meiner Familie danke ich für ihre konsequente Motivation und meinen Freunden für ihre Geduld und Treue. Für die tatkräftige Unterstützung beim Layout möchte ich meiner Schwester Tina danken. Meinem Lebenspartner Dr. Christoph Hums danke ich für die anregenden Gespräche und die wertvolle organisatorische Hilfe.

Ich bedanke mich bei allen Beteiligten von Herzen für ihre Unterstützung und ihr Verständnis!



## **Lebenslauf**

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.



# Votum der Ethikkommission



UNIVERSITÄTSKLINIKUM · MEDIZINISCHE FAKULTÄT DER HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN  
Ethikkommission

CHARITÉ · D-10098 BERLIN

CAMPUS CHARITÉ MITTE

Frau  
Prof. Ch. Opitz  
Zentrum f. Zahnmedizin  
Abt. Kieferorthopädie und Orthopädie  
CCV

3.2.2003

## **Selbstadhäsion § Strukturkompatibilität**

### **Vergleich von Glasfaser- mit Titan- Wurzelstiften nach Befestigung mit dem selbstadhäsiven Universalzement RelyX™ Unicem zur Rekonstruktion endodontisch behandelter Zähne**

Version 7.103

Die Ethikkommission hat o.g. Antrag erhalten und zur Kenntnis genommen. Von seiten der Ethikkommission bestehen keine ethischen und rechtlichen Bedenken gegen das Vorhaben. Dem Antrag wird zugestimmt.

Prof. Dr. med. R. Uebelhack

Vorsitzender der  
Ethikkommission der  
Charité

HAUSANSCHRIFT: UNIVERSITÄTSKLINIKUM CHARITÉ · MEDIZINISCHE FAKULTÄT DER HUMBOLDT-UNIVERSITÄT ZU BERLIN  
Schumannstraße 20/21 · D-10117 Berlin · Telefon: 030 / 450 - 50 · Internet: [www.charite.de](http://www.charite.de)  
Bankverbindung: Dresdner Bank · BLZ 120 800 00 · Konto 0 108 116 000



## **Eidesstattliche Erklärung**

„Ich, Alexandra Franke, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: "Einfluss des Stiftmaterials auf die Überlebenswahrscheinlichkeit postendodontischer Restaurationen - Ergebnisse einer randomisierten, kontrollierten klinischen Studie" selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -[www.icmje.org](http://www.icmje.org)) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift



## **Anteilerklärung an erfolgten Publikationen**

Alexandra Franke hatte folgenden Anteil an den folgenden Publikationen:

Publikation 1: Naumann, M., Sterzenbach, G., Franke, A., Dietrich, T.,

"Randomized controlled clinical pilot trial of titanium vs. glass fiber prefabricated posts: preliminary results after up to 3 years.", Int J Prosthodont 20 (5):499-503, 2007

Beitrag im Einzelnen: Recall der Probanden sowie Durchführung und Protokollierung der Nachuntersuchungen

Publikation 2: Sterzenbach, G., Franke, A., Naumann, M.,

"Rigid versus flexible dentine-like endodontic posts - Clinical testing of a biomechanical concept: Seven-year results of a randomized controlled clinical pilot trial on endodontically treated abutment teeth with severe hard tissue loss", J Endod 38 (12): 1557-63, 2013

Beitrag im Einzelnen: Recall der Probanden sowie Durchführung und Protokollierung der Nachuntersuchungen

Unterschrift, Datum und Stempel des betreuenden Hochschullehrers/der betreuenden Hochschullehrerin

Unterschrift des Doktoranden/der Doktorandin