

Für meine Familie

Inhalt

	Abkürzungen.....	4
1	Einleitung.....	5
	1.1 Die postendodontische Restauration und ihre Herausforderungen	5
	1.2 Klassifikation des Zahnhartsubstanzverlustes endodontisch behandelte Zähne	7
	1.3 Einsatz von Aufbaustiften im Rahmen der postendodontischen Versorgung.....	9
	1.4 Adhäsive Befestigung von Aufbaustiften.....	12
	1.5 Der Fassreifeneffekt und seine Bedeutung.....	14
	1.6 Definitive Restaurationen für endodontisch behandelte Zähne	16
	1.7 Fragestellungen.....	20
2	Eigene Arbeiten.....	21
	2.1 Langzeit-Überleben endodontisch behandelte Zähne in Abhängigkeit des Aufbaustiftmaterials	21
	2.2 Einfluss des Aufbaustiftmaterials auf Veränderungen des approximalen krestalen Knochniveaus.....	29
	2.3 Diagnostische Aussagekraft von telefonischer Selbstangabe und Patientenbefragung zur Bestimmung von Misserfolgen postendodontischer Versorgung.....	39
	2.4 Belastbarkeit endodontisch behandelte Frontzähne mit direkten Komposit- Restaurationen in Abhängigkeit von Defektgröße und Anwendung eines Aufbaustiftes	47
	2.5 Direkte versus indirekte Restaurationen endodontisch behandelte Frontzähne mit Klasse-III-Defekten	58
3	Diskussion.....	68
	3.1 Klinische Studien.....	68
	3.2 In-vitro-Untersuchungen.....	77
	3.3 Schlussfolgerung und Ausblick.....	80
4	Zusammenfassung	82
5	Literaturnachweise.....	84
6	Votum der Ethikkommission.....	94
7	Danksagung.....	94

Abkürzungen

E-Modul	Elastizitätsmodul
GFS	glasfaserverstärkter Kompositaufbaustift
GPa	Gigapascal
mm	Millimeter
N	Newton
TCML	<i>engl.</i> thermal cycling and mechanical loading: thermo-mechanische Belastung
TS	Titanaufbaustift

1 Einleitung

1.1 Die postendodontische Restauration und ihre Herausforderungen

Endodontisch behandelte Zähne zeigen im Vergleich zu vitalen Zähnen erhöhte Komplikationsraten [1-4]. Es wurde dargelegt, dass die Versagensraten postendodontischer Versorgung von dem Ausmaß des koronalen Zahnhartsubstanzverlustes sowie von der Art der Restauration abhängig sind [5-7].

Es gilt als gesichert, dass für die erfolgreiche Umsetzung einer postendodontischen restaurativen Therapie eine erfolgreiche endodontische Behandlung die Voraussetzung ist [8]. Schlüsselkriterien für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung stellen die Abwesenheit einer Parodontitis apicalis sowie die klinische Symptombefreiheit nach Wurzelkanalbehandlung dar [9, 10].

Eine endodontische Behandlung ist nur dann erfolgreich, wenn der betroffene Zahn in seinen Strukturen wieder adäquat funktionsfähig aufgebaut wird. Zum einen soll ein dichter koronaler Verschluss der endodontischen Strukturen erfolgen, zum anderen soll verloren gegangene Zahnhartsubstanz durch eine Restauration ersetzt werden, welche den Zahn unter den thermischen und mechanischen Belastungen der Mundhöhle kaufunktionell rehabilitiert und langfristig vor Frakturen schützt [8, 11-13].

Die Notwendigkeit der Frakturprophylaxe durch die postendodontische Restauration wird durch Untersuchungen belegt, welche höhere Frakturhäufigkeiten bei endodontisch behandelten Zähnen gegenüber vitalen Zähnen beobachteten [3, 14]. So haben zum Beispiel endodontisch behandelte Zähne mit Aufbaustiften, welche in herausnehmbaren, partiellen Zahnersatz eingebunden sind, verglichen zu vitalen Zähnen ein erhöhtes Frakturrisiko [15]. Die Ursache für eine höhere Frakturanfälligkeit endodontisch behandelter Zähne wird im Wesentlichen dem Substanzverlust zugeschrieben, welcher zum einen im Rahmen der endodontischen Therapie eintritt und trotz einer schonenden Vorgehensweise während der Behandlung notwendig ist [16, 17]. Zum anderen geht im Hinblick auf die Ätiologie von Erkrankungen des

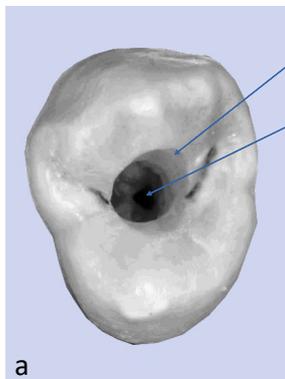
endodontischen Systems oftmals eine Schädigung der koronalen Zahnhartsubstanzanteile durch Karies mit anschließender Füllungstherapie voraus. Der koronale und radikuläre Substanzabtrag eines wurzelkanalbehandelten Zahnes führt zu einer veränderten Verteilung der kaufunktionellen Kräfte, welche auf die verbliebene Zahnhartsubstanz einwirken [16, 18-20]. Bereits die Präparation der endodontischen Zugangskavität, die Abtragung des Pulpadaches und die Aufbereitung der Wurzelkanäle führen zu einem Stabilitätsverlust von bis zu 6%. Ist der Zahn durch das Vorhandensein einer zweiflächigen Kavität vorgeschädigt, verringert sich seine mechanische Stabilität auf nur noch 50% der Ausgangsbelastbarkeit [16]. Die Aufnahme biomechanischer Belastungen durch einen endodontisch behandelten Zahn wird neben dem Verlust von Zahnhartsubstanz durch ein Zusammenwirken verschiedener Materialien unter der Beteiligung von Grenzflächen bestimmt [21-23]. Dabei wird dem Elastizitätsmodul eine hervorgehobene Rolle zugeschrieben. Insbesondere im Falle stark zerstörter Zähne konnte gezeigt werden, dass Aufbaustiftmaterialien mit unterschiedlichen Elastizitätsmoduln zu unterschiedlichen Stressverteilungen im Grenzbereich zwischen Aufbaustift, Befestigungsmaterial und Zahnhartsubstanz führen [24, 25]. Weiterhin wird die erhöhte Frakturanfälligkeit endodontisch behandelter Zähne einer veränderten Mechanorezeption zugeschrieben. Durch das Fehlen pulpaler Mechanorezeptoren soll die Regulierung der Kaukraft verringert sein [26]. Eine neuere klinische Untersuchung zeigte jedoch, dass die taktile Sensitivität endodontisch behandelter Zähne gegenüber vitalen Zähnen nicht verändert ist [27].

Die Herausforderungen der Rekonstruktion endodontisch behandelter Zähne sind in den Ausgangsbedingungen des Einzelzahnes zu sehen, welcher nach rekonstruktiver Therapie ein komplexes Verbundsystem darstellt. Eine einheitliche Empfehlungsfindung für die postendodontische Restauration ist dadurch erschwert. Der Faktor des Zahnhartsubstanzverlustes und die Wahl des restaurativen Konzeptes

nach adäquater Wurzelkanalbehandlung sind Gegenstand der Untersuchungen, die in der vorliegenden Arbeit zusammenfassend dargestellt werden.

1.2 Klassifikation des Zahnhartsubstanzverlustes endodontisch behandelter Zähne

Der Aufbau endodontisch behandelter Zähne richtet sich bezogen auf die Rekonstruktion des Einzelzahnes vorrangig nach der Ausdehnung des koronalen Zahnhartsubstanzverlustes [5, 18, 28, 29]. Der Zahnhartsubstanzverlust kann bezogen auf die Anzahl verbliebener Kavitätenwände klassifiziert werden (Abb. 1 a-e).



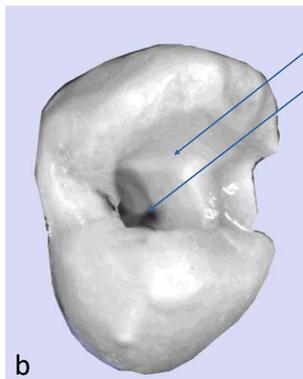
- Zugangskavität, Defekt okklusal
- Wurzelkanaleingang

Abbildung 1 a - c. Schematische Darstellung der Klassifikation koronaler Zahnhartsubstanzdefekte am Beispiel von Prämolaren. (Bildquelle siehe Vermerk Folgeseite ¹)

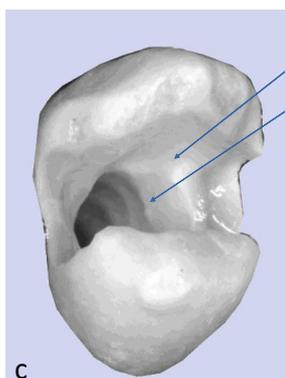
a Kavitätenklasse I (endodontische Zugangskavität vorhanden, vier Kavitätenwände intakt)

b Kavitätenklasse II (endodontische Zugangskavität vorhanden, 3 Kavitätenwände erhalten)

c Kavitätenklasse III (endodontische Zugangskavität vorhanden, 2 Kavitätenwände erhalten)



- Defekt okklusal, distal
- Zugangskavität



- Defekt mesial, okklusal, distal
- Zugangskavität

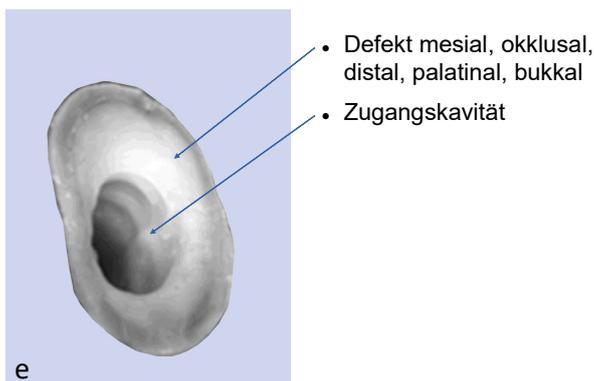
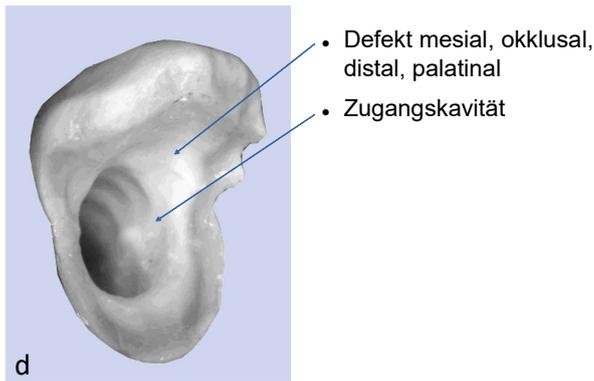


Abbildung 1 d - e. Schematische Darstellung der Klassifikation koronaler Zahnhartsubstanzdefekte am Beispiel von Prämolaren. **d Kavitätenklasse IV** (endodontische Zugangskavität vorhanden, 1 Kavitätenwand erhalten) **e Kavitätenklasse V** keine erhaltene Kavitätenwand bei vorhandener endodontischer Zugangskavität (Bildquelle siehe Vermerk Seitenende ¹)

Bei Defekten im Ausmaß einer endodontischen Zugangskavität (Kavitätenklasse I) und einer fehlenden approximalen Kavitätenwand (Kavitätenklasse II) sind direkte adhäsive Restaurationen indiziert [30-32]. Dabei wird insbesondere im Seitenzahnbereich die Einbeziehung der Höckerspitzen als Faktor beschrieben, der die Prognose begünstigt [12, 33, 34]. Betrachtet man jedoch weitere Literatur, die sich konkret der Frage widmet, ob Kronenrestaurationen gegenüber direkten Kompositversorgungen zu bevorzugen sind, kann keine klare Aussage getroffen werden [35-37]. Im Rahmen der Entscheidungsfindung für eine direkte oder indirekte

¹ (Bildquelle: Originalbilder zur Verfügung gestellt von Prof. Dr. Michael Naumann und Priv.-Doz. Dr. Guido Sterzenbach; Bildbearbeitung: Dr. Axel v.Stein-Lausnitz)

Restauration wird die durchaus fragwürdige Empfehlung gegeben, die eigene klinische Erfahrung sowie individuelle Gegebenheiten und Präferenzen des Patienten zu Grunde zu legen [36].

Einem koronalen Zahnhartsubstanzverlust von mehr als 50 % entsprechen typischerweise Defekte, welche zwei oder drei fehlende Kavitätenwände umfassen (Defektklasse III und IV), oder den Verlust aller vier Kavitätenwände umschreiben (Defektklasse V). Die Empfehlungen hinsichtlich der Restaurationen konzentrieren sich auf indirekte Restaurationen in Form von Teilkronen oder Vollkronen in Kombination mit direkten plastischen Aufbaufüllungen [38-40]. Dennoch gibt es auch hier Untersuchungen, welche direkte Kompositrestaurationen auch bei stark zerstörten, endodontisch behandelten Zähnen als mögliche Therapieoption sehen [41, 42].

1.3 Einsatz von Aufbaustiften im Rahmen der postendodontischen Versorgung

Ist die Retention der plastischen Aufbaufüllung aufgrund eines hohen Zerstörungsgrades der Defektklasse IV und V mit geringer Dentinhaftfläche nicht sicher zu gewährleisten, werden intrakanaläre Aufbaustifte als retentives Element empfohlen [5, 38, 43-45]. In der Definition der neunten Edition des „Glossary of Prosthodontic Terms“ der *Academy of Prosthodontics* wird für Aufbaustifte beschrieben, dass sie „gewöhnlich aus metallischen oder faserverstärkten Kompositmaterialien hergestellt sind und in einen präparierten Wurzelkanal eingepasst werden; Yttrium-stabilisiertes Zirkoniumoxid wird ebenfalls als Aufbaustiftmaterial verwendet; in Kombination mit einem Aufbau dient der Aufbaustift der Retention und Widerstandsfähigkeit für die künstliche Krone [...]“ [46]. Wenn ein Aufbaustift in die postendodontische Restauration einbezogen wird, wird die Einheit von Aufbaustift, Verbundzone mit Befestigungsmaterial, Aufbau, Fassreifen-Design und definitiver Versorgung als „postendodontischer Komplex“ bezeichnet [47].

Seit dem 19. Jahrhundert wird das Prinzip von Aufbaustiften entwickelt und untersucht [48]. Das retentive Konzept der aktiven Verankerung durch schraubenförmige Aufbaustifte [49, 50] wurde insbesondere hinsichtlich seiner spannungsinduzierenden Wirkungsweise, welche Frakturen verursachen kann, kritisch bewertet [51]. Entwickelt wurden daraufhin passive Aufbaustiftsysteme, welche im Prozess einer DIN²-Normung in vollkonfektionierte, teilkonfektionierte sowie individuelle Systeme eingeteilt wurden (DIN 13994). Hierzu zählen zum einen die sogenannten indirekt gefertigten „gegossenen Stift-Stumpf-Aufbauten“. Als nachteilhaft wird hier der Behandlungsablauf von zwei Terminen gesehen sowie die damit verbundene Notwendigkeit, den Zahn temporär mit einer provisorischen Versorgung verschließen zu müssen. Zum anderen werden direkte, konfektionierte Aufbaustifte, welche adhäsiv im Wurzelkanal befestigt werden können, zu den passiven Aufbaustiftsystemen gezählt [52].

Im Bereich der metallischen Materialien werden für gegossene Stift-Stumpf-Aufbauten hochgoldhaltige Legierungen verwendet, welche aufgrund ihrer Eigenschaften ein geringes Korrosionspotential zeigen [53-56]. Aufbaustifte aus rostfreiem Stahl sowie Nickel-Chrom-Legierungen können als gegossene indirekte sowie als direkte Stiftmaterialien verwendet werden und weisen aufgrund ihres hohen Elastizitätsmoduls eine hohe Bruchfestigkeit auf [57]. Ihr Elastizitätsmodul von 220 GPa gibt an, dass sie eher als rigide, d.h. steife, Materialien zu bewerten sind und im Vergleich zum Dentin mit einem E-Modul von bis zu 20 GPa [58] einen hohen Widerstand gegenüber elastischer Verformung leisten. Weiterhin kommen direkte metallische Aufbaustifte aus Titan zur Anwendung [59], welche hinsichtlich ihres geringeren Korrosionspotentials als vorteilhaft bewertet werden. Gleichzeitig weisen diese eine gegenüber dem Dentin (E-Modul = 11-19GPa) [60] deutlich höhere Rigidität auf (E-Modul = 110 GPa) [61].

² DIN, Deutsches Institut für Normung

Faserverstärkte Aufbaustifte als nicht-metallische Stiftsysteme wurden im Jahr 1990 beschrieben [62] und rückten in den Folgejahren in den Fokus der Forschung [47, 63-66]. Zunächst wurden karbonfaserverstärkte Stiftsysteme entwickelt [63, 67-69], welche in den 1990er Jahren vermehrt verwendet wurden. Grundlage ist eine Epoxidharz-Matrix, welche längsparallel angeordnete Carbonfasern enthält. Ihr Hauptvorteil wurde in ihrer höheren Flexibilität gesehen, einhergehend mit einem im Vergleich zu metallischen Aufbaustiften geringeren E-Modul (21GPa) [70]. Hinsichtlich ästhetischer Aspekte wurden sie jedoch analog der Evaluation metallischer Aufbaustifte als nachteilhaft bewertet, da sie aufgrund ihrer graphitartigen Dunkelfärbung im Frontzahnbereich zum einen im Bereich der marginalen Gingiva eine veränderte, dunklere Färbung verursachen können, zum anderen im koronalen Bereich beim Einsatz vollkeramischer Restaurationsmaterialien für Kronen die Transluzenz von Krone und Aufbau nachteilig verändern [12]. Der ästhetische Nachteil karbonfaserverstärkter Aufbaustifte sollte nach opaker Beschichtung mit Quarzfasern durch die Einführung quarzfaserverstärkter Aufbaustifte ausgeglichen werden [71, 72]. Neben dem Vorteil des dentinähnlichen Elastizitätsmoduls wurde ein ästhetisch vorteilhaftes System eingeführt. Im gleichen Zeitraum wurden glasfaserverstärkte Aufbaustifte basierend auf einer Epoxidharzmatrix entwickelt, welche ebenfalls hinsichtlich ihres biomechanischen Verhaltens sowie ästhetischer Aspekte als vorteilhaft beschrieben wurden [73, 74]. Die Hersteller geben für glasfaserverstärkte Aufbaustifte einen Elastizitätsmodul von 30-56 GPa an [75]. Diskutiert wird der Aspekt, dass Restaurationen mit glasfaserverstärkten Aufbaustiften weniger infauste Versagensmuster zeigen [6]. Dies soll auf eine Elastizitätsmodul-bedingte günstige Stressverteilung zurückzuführen sein [75, 76]. Jedoch werden diese Aspekte in der aktuellen Literatur nicht bestätigt [77, 78]. Neue In-vitro-Untersuchungen zeigen sowohl hinsichtlich der Stressverteilung [77] als auch bezogen auf beobachtete Versagensmuster [76] keine Vorteile für faserverstärkte Aufbaustifte gegenüber metallischen Aufbaustiften.

Für den Praxisalltag zeigten zwei repräsentative Studien, dass zunehmend glasfaserverstärkte Aufbaustifte verwendet werden [45, 79]. Für direkte Restaurationen gaben 69 % der befragten Zahnärzte an, einen glasfaserverstärkten Aufbaustift zu verwenden, im Rahmen von Einzelkronenversorgungen entscheiden sich 58 % der Befragten für einen glasfaserverstärkten Aufbaustift [45].

Eine weitere Alternative zu metallischen Aufbaustiften besteht in der Nutzung von Zirkonoxidaufbaustiften [75, 80-82]. Mit einem Elastizitätsmodul von 200 GPa besitzen diese eine deutlich höhere Rigidität als faserverstärkte Aufbaustiftmaterialien und Titanaufbaustifte [83]. Diskutiert wird die klinische Beobachtung, dass Zirkonoxidaufbaustifte im Falle eines Versagens infauste Frakturmuster der versorgten Zähne begünstigen können [5, 57, 78]. Weiterhin wird ihre Revidierbarkeit als praktisch schwierig durchführbar bewertet [71, 84, 85]. Demgegenüber wurden sie hinsichtlich ihrer ästhetischen Eigenschaften als vorteilhaft beschrieben sowie im Rahmen retrospektiver Untersuchungen untersucht [82, 86]. Dabei wurden Überlebenswahrscheinlichkeiten von 81 % nach 10 Jahren ermittelt [82].

1.4 Adhäsive Befestigung von Aufbaustiften

Die Insertion passiver Aufbaustifte in den Wurzelkanal erfordert Befestigungsmaterialien, welche einen unter Kaufunktion wirksamen Haftverbund zwischen Wurzelkanalentin, Befestigungsmaterial und Aufbaustift sicherstellen [73]. In der Literatur wurde die zuverlässige adhäsive Befestigung als Herausforderung beschrieben [87], und klinische Studien beobachteten entsprechende Dezementierungen von Aufbaustiften als Versagensmuster [88, 89]. Grundsätzlich erschweren die im Wurzelkanal vorherrschenden Bedingungen eine sichere Anwendung der Adhäsivtechnik. Durch die Nutzung optischer Vergrößerungshilfen, soll die Aufbereitung des Stiftbetts und sichere Entfernung des Wurzelfüllmaterials verbessert und die Applikation adhäsiver Befestigungsmaterialien erleichtert werden. Jedoch gibt es keine aussagekräftigen Studien, die einen Therapie-verbessernden

Effekt durch den Einsatz eines Dentalmikroskops belegen [90]. Die Voraussetzungen im Bereich des Wurzelzements sind hinsichtlich der Anwendung adhäsiver Befestigungstechniken erschwert. Als mineralisiertes und hydratisiertes Hartgewebe mit Hydroxylapatit-Kristallen als anorganischem Anteil und Kollagen Typ I als organischem Anteil [91] ist die Ausbildung einer adhäsiven Verbindung erschwert [92]. Es können aktuell drei Strategien beschrieben werden, welche die adhäsive Befestigung im Wurzelkanal darlegen [93, 94]:

Die „Etch-and-rinse“ – Strategie arbeitet auf der Grundlage von Säuren, in der Regel Phosphorsäure, welche im Schritt einer Vorbehandlung die Schmierschicht entfernt (englisch „etch“). Anschließend werden die Präzipitate mit Wasser abgespült (englisch „rinse“). Die Verankerung des Adhäsivs im Wurzelzement wird durch die Ausbildung von Kunststoffverzäpfungen, sogenannten „resin tags“, erzielt, welche in den freigelegten Dentintubuli verankert sind. Dabei erfolgt die Ausbildung einer Hybridschicht, welche sich aus dem Anteil des demineralisierten Kollagennetzwerks und darin infiltrierten, polymerisierten Monomeren besteht [95].

Bei der „Self-etch“ – Strategie (englisch „selbstätzend“) erfolgt keine separate Ätzung mit einer Säure. Durch den Einsatz saurer Monomere, welche im Adhäsiv enthalten sind, wird die Schmierschicht im Wurzelkanal aufgelockert und nach anschließender Polymerisation in die Adhäsivschicht eingebunden. Dabei wird der adhäsive Verbund vorwiegend durch die Bildung einer Hybridschicht erzeugt [96].

Als dritte Strategie wird die „Self-adhesive“ – Strategie beschrieben. „Self-adhesive“ wird dabei als Synonym für „selbsthaftende“ Strategie gebraucht. Es erfolgt keine Vorbehandlung des Dentins, weder durch Anwendung einer Säureätzung, noch durch Verwendung eines separaten Adhäsivs. Eine Hybridschicht wird nicht ausgebildet, und infiltrierte Dentintubuli können nicht beobachtet werden [97-99]. Der Haftmechanismus erfolgt durch mikromechanische Verankerung sowie auf einer Komplexbildung zum Calcium des Hydroxylapatits [100]. Vorteil der „self-adhesive“ – Strategie ist die

gegenüber anderen Befestigungsstrategien einfache Anwendung bei vergleichbaren Haftwerten [101].

1.5 Der Fassreifeneffekt und seine Bedeutung

Der klinische Erfolg postendodontischer Restaurationen wird bei Zähnen mit starker Kompromittierung ihrer Zahnhartsubstanz mit maximal einer erhaltenen Kavitätenwand oder nicht mehr vorhandenen Kavitätenwänden von einem Schlüsselparameter bestimmt, welcher als „Fassreifeneffekt“, im Englischen als „ferrule effect“, bezeichnet wird und erstmals in der englischsprachigen Literatur beschrieben wurde. Übersetzt aus dem Englischen bedeutet „ferrule“ „Federhülse“ oder „Zwinge“ [102]. Unter Einbeziehung des lateinischen Wortursprungs, wo unter „viriola“ ein kleines Armband zu verstehen war, erfolgte eine Nutzung des Wortes im alt-Französischen als „viriol“³. In Kombination mit dem lateinischen Begriff „ferrum“ für Eisen, wurde „ferrule“ als Bezeichnung für Metallarmierungen genutzt [103]. In der restaurativen Zahnheilkunde ist der Begriff des „ferrule design“ eng verknüpft mit seinem Wirkmechanismus als „ferrule effect“ [104, 105], beziehungsweise als Fassreifeneffekt [47]. Ursprünglich wurde darunter ein Band aus gegossenem Metall verstanden, welches den koronalen Anteil der Zahnoberfläche umschließt [103, 105]. Als Bestandteil des Aufbaus der künstlichen Zahnkrone erzeugt dieses Band einen stabilisierenden Effekt für den postendodontisch restaurierten Zahn [104]. Die schützende Wirkung des Fassreifeneffekts wird dadurch erzeugt, dass Hebelkräfte oder keilartig einwirkende Kräfte sowie laterale Kräfte kompensiert werden. Interessant ist der Aspekt, dass bereits 1961 durch *Rosen* über die Notwendigkeit dieses Gestaltungsmerkmals geschrieben wurde [106]. Er beschrieb „[...] eine Extension der restaurierten Krone, die über den Mechanismus der Armierung Wurzelfrakturen vorbeugt.“ [103, 106]. Weiterhin gab er an, dass die künstliche Zahnkrone den

³ Middle English Dictionary, Ann Arbor, Mich.: [University of Michigan](https://quod.lib.umich.edu/m/middle-english-dictionary/dictionary/MED51228); <https://quod.lib.umich.edu/m/middle-english-dictionary/dictionary/MED51228>; Zugriff am 15.08.2019

zervikalen Anteil des Zahnes umfassen sollte. 1986 veröffentlichte *Rosen* eine in-vitro-Untersuchung an 76 extrahierten Oberkiefer-Schneidezähnen [107]. Diese wurden 1 mm koronal der Schmelz-Zement-Grenze gekürzt. Bei einem Teil der Zähne wurde eine 2 mm hohe und 0,25 mm breite Schulterpräparation mit einem Neigungswinkel von 6° angelegt und eine ringförmige, edelmetallhaltige Gussrestauration mit inzisaler Aussparung zementiert. Alle Probenzähne erhielten schraubenförmige Aufbaustifte, welche bis zur Beobachtung einer Fraktur eingeschraubt wurden. Es wurde berichtet, dass die Probenzähne mit ringförmiger Gussrestauration eine signifikant geringere Inzidenz von Wurzelfrakturen aufwiesen. Der schützende Effekt einer zirkulären Dentinmanschette, welche durch den Restaurationsrand umfasst wird, sollte so erstmalig nachgewiesen sein. Aktuell definiert das Glossary of Prosthodontic Terms unter „ferrule“ ein „1. Band oder Ring, welcher genutzt wird, um die Wurzel oder Krone eines Zahnes zu umfassen; 2. ein kurzes Rohr oder eine Hülse zum Herstellen einer festen Verbindung.“ [46].

Bezogen auf postendontische Restaurationen bei stark zerstörten Zähnen kann das „ferrule design“ definiert werden als 2 mm hohe, zirkulär präparierte Dentinmanschette, welche durch die Kronenrestauration vollständig und adäquat umfasst wird (Abb. 2). Der daraus resultierende Fassreifeneffekt wurde hinsichtlich seiner Wirkung in verschiedenen Untersuchungen dargelegt [108-111].

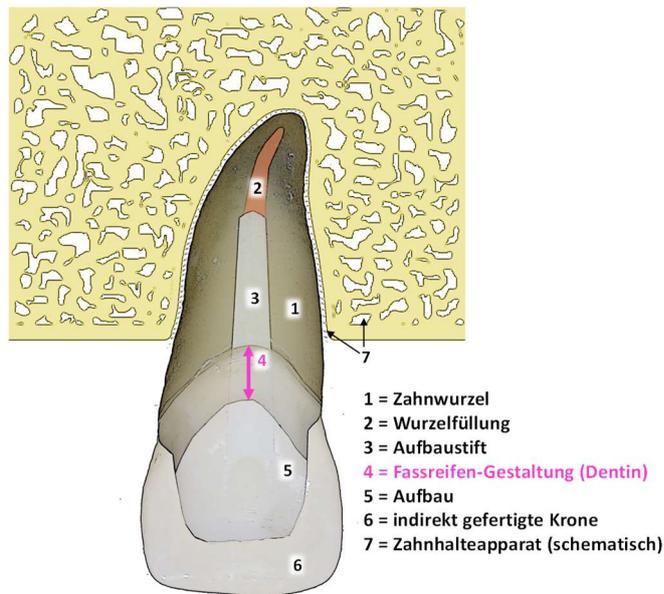


Abbildung 2. Schematisch dargestellt ist ein endodontisch behandelter, mittlerer Oberkiefer-Frontzahn mit Wurzelfüllung, Aufbaustift, plastischem Aufbau, Ferrule-Manschette und Krone. (Quelle: Abbildung erstellt durch Dr. Axel v. Stein-Lausnitz und Manja v. Stein-Lausnitz)

1.6 Definitive Restaurationen für endodontisch behandelte Zähne

Die Frage nach der definitiven Restauration endodontisch behandelter Zähne ist grundsätzlich mit der klinischen Entscheidungsfindung assoziiert, wann ein endodontisch behandelter Zahn direkt, das heißt mit adhäsiver Füllungstechnik unter Anwendung von Kompositen versorgt werden kann und wann eine indirekte, laborgefertigte Restauration indiziert ist. Auch wenn die grundsätzliche Aussage in Veröffentlichungen zu finden ist, dass der Anteil verbliebener Zahnhartsubstanz die Art der definitiven Restauration bestimmt, hat eine eigene Recherche der Literatur ergeben, dass keine konkreten, auf hochwertiger Evidenz basierenden einheitlichen Empfehlungen für defektorientierte Restaurationen endodontisch behandelter Zähne vorliegen [29].

Eine Veröffentlichung von *Aquilino und Mitarbeiter* berichten eine retrospektive Kohortenstudie, bei der insgesamt Daten von 203 endodontisch behandelten Zähnen unter Anwendung von Cox-Regressionsmodellen auf Risikofaktoren bezüglich des

Überlebens untersucht wurden [40]. Insgesamt 129 Zähne wiesen Kronenrestaurationen auf, und 74 Zähne waren mit Amalgamfüllungen oder Kompositrestaurationen versorgt. Während der Nachbeobachtungszeit von bis zu 10 Jahren wurden 42 (20,7%) Zähne extrahiert, welche sich aus 14 Zähnen mit Kronenversorgungen und 28 Zähnen mit direkten Restaurationen zusammensetzten. Die Cox-Regressionsanalyse zeigte, dass Zähne ohne Kronenrestaurationen ein 6-fach erhöhtes Risiko für Versagen im Vergleich zu Kronenrestaurationen hatten. Diese Studie hat die bis dahin weit verbreitete, auf Experten- und Anwendermeinungen basierende klinische Sichtweise unterstützt, dass ein endodontisch behandelter Zahn überkront werden sollte [44, 112].

Mannocci und Cowie sprechen sich in sich in ihrer Übersichtsarbeit bezogen auf endodontisch behandelte Frontzähne mit „minimalen bis moderaten“ Defekten für direkte Restaurationen mit Kompositfüllungen aus [113]. Der Vorteil liegt in der zeitnahen und ästhetischen Versorgung nach Wurzelfüllung und stellt sowohl im Bereich der dentalen Traumatologie bei jungen Patienten als auch bei älteren Erwachsenen eine effektive Therapievariante dar. Der Einsatz keramischer oder Komposit-basierter Veneer-Restaurationen wird kritisch beurteilt, da die Einbeziehung der endodontischen Zugangskavität als Risikofaktor benannt wurde. Die Insertion einer Kronenrestauraton für endodontisch behandelte Frontzähne wird für den Fall angegeben, dass eine direkte Kompositrestauraton nicht möglich ist, oder ästhetische Gründe dies indizieren. Die Autoren weisen jedoch auf die gleichzeitige mechanische Schwächung des Zahnes infolge der Präparation hin. Im Seitenzahnbereich wurde bis zur Umsetzung einer adäquaten Adhäsivtechnik Amalgam als Füllungsmaterial verwendet, welches jedoch mit einem erhöhten Risiko für Höcker – und Wurzelfrakturen einherging [114]. Im Gegensatz zu der Empfehlung im Seitenzahnbereich direkt applizierte Füllungskomposite nur bei okklusalen Zugangskavitäten zu verwenden, gibt eine wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK von 2003 eine Kann-Empfehlung, endodontisch behandelte Seitenzähne mit

approximalen Kavitäten ebenfalls mit direkter Adhäsivechnik unter Anwendung von Füllungskompositen zu versorgen [38]. Weitergehend wird in der Stellungnahme die Möglichkeit ausgesprochen, in diesen Fällen auch Onlays, Teilkronen oder Vollkronen als definitive Restauraionsart zu wählen. *Mannocci und Cowie* beschreiben in ihrem Übersichtsartikel die Gold-Teilkrone als besten Standard für die Versorgung eines endodontisch behandelten Seitenzahnes mit approximaler Kavitätenausdehnung [113]. Es fehlen jedoch entsprechende randomisierte oder prospektive klinische Studien, welche diese Empfehlung unterstützen.

Neben der allgemein verbreiteten klinischen Befürwortung von Kronenrestaurationen auf endodontisch behandelten Zähnen gab es immer wieder vereinzelte Untersuchungen, welche neben indirekten Restaurationen direkte Versorgungen endodontisch behandelter Zähne evaluierten. Eine In-vitro-Untersuchung von *Krejci und Mitarbeitern* berichtet bei endodontisch behandelten Prämolaren über den Vergleich direkt applizierter Kompositrestaurationen gegenüber adhäsiv befestigten Komposit-Onlays. Beide Restauraionsarten sind hinsichtlich Belastbarkeit und Randständigkeit unter In-vitro-Bedingungen gleichwertig [115].

Auch eine Arbeitsgruppe um *Creugers und Fokkinga* evaluierte im Rahmen einer klinischen Studie zu postendodontischen Restaurationen unter anderem direkte Kompositrestaurationen mit einer Nachbeobachtungsdauer von bis zu 17 Jahren [41]. Trotz der entsprechenden Studienlimitationen weist die ermittelte Überlebenswahrscheinlichkeit von 83 % auf der Ebene des zahnbezogenen Überlebens auf die Möglichkeiten der direkten Restaurationen hin.

Ein Cochrane-Review aus dem Jahr 2015 untersuchte systematisch die Fragestellung, welche Effekte Kronenrestaurationen auf endodontisch behandelten Zähnen gegenüber direkten Restaurationen mit Füllungen haben [36, 116]. Die Autoren kamen zu der Schlussfolgerung, dass es bis heute keine hinreichende Evidenz dafür gibt, beide Therapiemittel suffizient vergleichend zu bewerten. Deshalb wird die

Empfehlung gegeben, in die Entscheidung für die postendodontische Restauration die eigene klinische Erfahrung sowie individuelle Parameter und Wünsche des Patienten einzubeziehen. Ein Fazit, welches nach Jahrzehnten der Forschung durchaus bedenklich ist.

Ausgehend von der verfügbaren Literatur zu postendodontischen Restaurationskonzepten und der vorhandenen klinischen Datenlage wurden im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit Fragestellungen entwickelt und bearbeitet, was nachfolgend dargelegt werden soll.

1.7 Fragestellungen

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, das klinische Überleben postendodontischer Restaurationen kritisch zu untersuchen und basierend auf den Erkenntnissen der klinischen Daten die In-vitro Belastbarkeit postendodontischer Restaurationen unter der Einbeziehung verschiedener minimal-invasiver Versorgungskonzepte zu bewerten.

Dafür wurden die folgenden Fragestellungen bearbeitet:

Zeigen endodontisch behandelte Zähne mit metallischen Aufbaustiften andere Langzeit-Überlebensraten im Vergleich zu endodontisch behandelten Zähnen mit faserverstärkten Aufbaustiften?

Welchen Einfluss hat das Material des endodontischen Aufbaustifts auf die alveoläre Knochenunterstützung stark zerstörter, endodontisch behandelter Zähne?

Welche diagnostische Aussagekraft haben Patientenangaben bezüglich des Zustands ihrer eigenen postendodontischer Restaurationen?

Ist die Belastbarkeit endodontisch behandelter Frontzähne mit direkten Kompositrestaurationen abhängig vom Ausmaß des koronalen Substanzverlustes sowie von der adhäsiven Befestigung eines endodontischen Aufbaustifts?

Zeigen endodontisch behandelte Frontzähne mit Klasse-III-Defekten unterschiedliche Belastbarkeiten in Abhängigkeit von der Art der koronalen Restauration?

2 Eigene Arbeiten

2.1 Langzeit-Überleben endodontisch behandelte Zähne in Abhängigkeit des Aufbaustiftmaterials

Naumann M, Sterzenbach G, Dietrich T, Bitter K, Frankenberger R, von Stein-Lausnitz M (2017) Dentin-like versus Rigid Endodontic Post: 11-year Randomized Controlled Pilot Trial on No-wall to 2-wall Defects. Journal of Endodontics 43(11), 1770-5. doi: 10.1016/j.joen.2017.06.030

Zur Evaluation verschiedener Aufbaustiftmaterialien wurden retrospektive sowie prospektive Studien unter Einbeziehung gegossener Stiftstumpfaufbauten aus Edelmetall [41, 55], direkter metallischer Aufbaustifte [41, 58], glasfaserverstärkter Aufbaustifte [117] sowie keramischer Aufbaustifte [82] durchgeführt. Die Verfügbarkeit von Studien mit hohem Evidenzlevel, insbesondere randomisierte kontrollierte Studien zur vergleichenden Evaluation verschiedener Aufbaustiftmaterialien, ist gering [118]. In den Jahren 2003 bis 2004 wurde am Zentrum für Zahnheilkunde der Charité Campus Virchow Klinikum, Berlin unter der Studienleitung von Dr. Michael Naumann eine randomisierte, kontrollierte Pilot-Studie initiiert, welche das Ziel hatte, die Versorgung endodontisch behandelte Zähne mit adhäsiv befestigten, glasfaserverstärkten Aufbaustiften und Titanaufbaustiften zu vergleichen. Koronal stark zerstörte Zähne mit zwei oder weniger verbliebenen Kavitätenwänden wurden einbezogen, um beide Aufbaustiftsysteme zu vergleichen. Einundneunzig Patienten mit Bedarf für eine postendodontische Versorgung wurden eingeschlossen und randomisiert zwei Interventionsgruppen (Gruppe Titanaufbaustift, n = 46; Gruppe Glasfaseraufbaustift, n = 45) zugeordnet. Die Aufbaustifte wurden unter Anwendung eines selbsthaftenden Befestigungskomposits eingesetzt, und der Zahn wurde nach Legen des Kompositaufbaus unter Beachtung des zwei Millimeter umfassenden Fassreifen-Designs präpariert. Primärer Endpunkt war der Verlust der Restauration. Zur Auswertung der Nachuntersuchungsergebnisse wurde eine Kaplan-Meier-Überlebenszeitanalyse durchgeführt. Die Überlebensraten wurden unter Anwendung des Log-rank-Tests bei einem Signifikanzlevel von $p = 0,05$ verglichen. Nach 132

Monaten Nachbeobachtungsdauer versagten 12 Restaurationen in der Gruppe der Glasfaser-Aufbaustifte sowie 7 Restaurationen der Titanstiftgruppe. In der Gruppe der Glasfaser-Aufbaustifte wurden die folgenden Versagensmuster beobachtet: Wurzelfraktur (n = 4), Aufbaufaktur (n = 1), Sekundärkaries (n = 1), endodontische Behandlungsnotwendigkeit (n = 2), Neuversorgung aufgrund Änderung des Behandlungsplans (n = 2), Extraktionsnotwendigkeit aufgrund parodontaler Komplikation bei Lockerungsgrad III (n = 1), Zahnfraktur (n = 1). Folgende Versagensereignisse traten in der Gruppe der Titan-Aufbaustifte auf: endodontische Komplikationen (n = 5), Wurzelfraktur (n = 1), Extraktion bei Hauszahnarzt mit nicht bekannter Indikation (n = 1). Der Log-rank-Test zeigte keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Aufbaustiftmaterialien hinsichtlich der kumulativen Überlebensraten, welche in dieser Untersuchung 58,7 % für Restaurationen mit Glasfaser-Aufbaustiften und 74,2 % für Restaurationen mit Titan-Aufbaustiften betragen.

Diese Pilotstudie konnte zeigen, dass bei Einhaltung des Ferrule-Designs sowie bei adhäsiver Befestigung des Aufbaustifts das Material des Aufbaustifts keinen signifikanten Einfluss auf die Überlebenswahrscheinlichkeit endodontisch behandelte Zähne hat. Die Überlebensraten nahmen innerhalb der ersten acht Jahre der Nachbeobachtung geringfügig und gleichmäßig ab. Nach acht Jahren trat in beiden Gruppen ein zunehmendes Versagen der Restaurationen ein.

Naumann M, Sterzenbach G, Dietrich T, Bitter K, Frankenberger R, von Stein-Lausnitz
(2017) Dentin-like versus Rigid Endodontic Post: 11-year Randomized Controlled Pilot
Trial on No-wall to 2-wall Defects. Journal of Endodontics 43(11), 1770-5.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.joen.2017.06.030>

Die Überlebensraten adhäsiv befestigter Glasfaser- und Titanaufbaustifte zeigten im Rahmen dieser randomisierten Studie keine durch statistische Signifikanz darlegbaren Unterschiede. Hinsichtlich der Versagemuster konnte hier jedoch gezeigt werden, dass glasfaserverstärkte Aufbaustifte über einen klinischen Nachbeobachtungszeitraum von bis zu 11 Jahren kein günstiges Frakturmusterverhalten im Sinne einer Wiederversorgbarkeit aufweisen. Die gegensätzlichen mechanischen Eigenschaften von glasfaserverstärkten Aufbaustiften und Titanaufbaustiften wurden weitergehend hinsichtlich ihres Einflusses auf den krestalen Knochenabbau der versorgten Zähne untersucht, was die nachfolgende Publikation darlegen soll.

2.2 Einfluss des Aufbaustiftmaterials auf Veränderungen des approximalen krestalen Knochenniveaus

von Stein-Lausnitz M, von Stein-Lausnitz A, Reissmann DR, Roggendorf MJ, Beuer F, Naumann M, Sterzenbach G (2018) Impact of endodontic post material on longitudinal changes in interproximal bone level: a randomized controlled pilot trial. Clinical Oral investigations 2018, doi: 10.1007/s00784-018-2698-1.

Der erfolgreiche Wiederaufbau stark zerstörter, endodontisch behandelter Zähne mit langanhaltendem Erfolg ist für jeden Patienten und Behandler von hoher Bedeutung. Hinsichtlich des Langzeiterfolges prothetischer Restaurationen sind sowohl eine adäquate restaurative Therapie [13, 119] als auch stabile parodontale Verhältnisse [120] Schlüsselfaktoren. Um den Einfluss der Rigidität des Aufbaustiftmaterials auf die Veränderung des approximalen Knochenniveaus zu untersuchen, wurden im Rahmen einer randomisierten, kontrollierten Studie Röntgen-Einzelbilder unter Entwicklung einer digitalen Auswertungsstrategie ausgewertet. Bei 43 Patienten mit postendodontischen Versorgungen basierend auf Glasfaseraufbaustiften (n = 20) und Titanaufbaustiften (n = 23) wurden Röntgen-Einzelbilder an zwei verschiedenen Zeitpunkten (T0, T1) innerhalb eines Nachuntersuchungszeitraums von bis zu sechs

Jahren aufgenommen. Die Röntgenaufnahmen wurden unter Anwendung einer Bildbearbeitungssoftware kalibriert und vermessen. Errechnet wurde der krestale Knochenabbau des Zahnes mesial (KAM) sowie distal (KAD) in Pixel. Es erfolgte eine Umrechnung in Millimeter, um eine klinisch relevante Messgröße zu erhalten. Neben deskriptiven Analysen wurden unter Anwendung des Mann-Whitney-U-Tests die Messwerte für KAM und KAD ausgewertet. Bei postendodontischen Restaurationen mit Glasfaseraufbaustiften wurde ein Mittelwert für KAM von -0,37 mm sowie für KAD von -0,44 mm errechnet. In der Gruppe mit Titanaufbaustiften wurden Mittelwerte von -0,51 mm (KAM) sowie -0,27 mm (KAD) ermittelt. Die mittleren Werte des mesialen und distalen Knochenabbaus unterschieden sich nicht signifikant zwischen beiden Gruppen ($p > 0,05$).

Es konnte in dieser Untersuchung gezeigt werden, dass die Rigidität des Aufbaustiftmaterials keinen Einfluss auf das krestale Knochenniveau hat.

von Stein-Lausnitz M, von Stein-Lausnitz A, Reissmann DR, Roggendorf MJ, Beuer F, Naumann M, Sterzenbach G (2019) Impact of endodontic post material on longitudinal changes in interproximal bone level: a randomized controlled pilot trial. *Clinical Oral Investigations* 23;2303-2311.

<http://dx.doi.org/10.1007/s00784-018-2698-1>

Die Gewinnung der erhobenen klinischen Daten stellt sich im Alltag der Durchführung klinischer Studien als herausfordernder Aspekt dar [121]. Bereits in einer nicht-randomisierten, prospektiven Vorgängerstudie zeigte sich, dass die Nachuntersuchung

der Studienteilnehmerinnen und Studienteilnehmer über einen Zeitraum von zehn Jahren im Hinblick auf ihre Motivierung für einen Kontrolltermin nicht einfach ist [103, 117]. Um die diagnostische Aussagekraft der Selbstangabe und Patientenbefragung zu untersuchen, wurde ein Fragebogen sowie ein Telefoninterview entwickelt. Die Ergebnisse sollen nachfolgend dargestellt werden.

2.3 Diagnostische Aussagekraft von telefonischer Selbstangabe und Patientenbefragung zur Bestimmung von Misserfolgen postendodontischer Versorgungen

von Stein-Lausnitz M, Reissmann DR, Roggendorf MJ, Sterzenbach G, Naumann M. (2018) Patients' self-report on post-retained restoration is more valuable than expected! Explorative analysis of an 11-year follow-up. Acta Odontologica Scandinavica 77(1), 33-38. doi: 10.1080/00016357.2018.1497804

Für klinische Studien, welche die Erhebung von Langzeitdaten zum Ziel haben, wird die Erfahrung geteilt, dass Patienten nur schwer zu einer klinischen Nachuntersuchung zu bewegen sind. Um diesen methodischen Aspekt zu evaluieren, hatte die vorliegende Untersuchung das Ziel, die diagnostische Aussagekraft beziehungsweise Richtigkeit von Patientenangaben am Telefon bezogen auf den Zustand ihrer postendodontischen Restaurationen zu bestimmen. Neunundzwanzig Patienten (48,3 % weiblich, 61,4±14,9 Jahre) mit Glasfaser- und Titanaufbaustift-basierten postendodontischen Versorgungen aus einer randomisierten, kontrollierten Studie wurden eingeschlossen. Die Patienten standen für eine klinische Nachuntersuchung im Rahmen der Studie bis zu 11 Jahr zur Verfügung. Zur Erfassung der Selbstaussage wurde den Patienten im Rahmen der Kontaktaufnahme telefonisch eine globale Frage zum Zustand des betreffenden Zahnes gestellt und die Antwort erfasst. Unter Anwendung eines Fragebogens, wurde die globale Frage wiederholt und drei weitere spezifische Fragen wurden zur Einschätzung von Wurzelfüllung, Zahnfleisch und Krone beantwortet.

Goldstandard für Überleben oder Misserfolg der Restauration waren die Ergebnisse der klinischen und röntgenologischen Untersuchung am Nachuntersuchungstermin. Über die Spezifität, Sensitivität sowie positive (PPV) und negative Vorhersagewerte (NPV) wurde die diagnostische Aussagekraft der Patientenangaben zur Vorhersage eines Misserfolgs bestimmt. Bei 25 von 29 Patienten (86,2 %) stellte sich in der klinischen und radiologischen Untersuchung die Restauration als in situ dar. Vier Misserfolge (13,8 %) mit zwei Wurzelfrakturen, einer apikalen Parodontitis sowie einer kombiniert parodontologischen-endodontologischen Läsion wurden beobachtet. Die globale Frage als auch der Fragebogen indentifizierten alle überlebenden Restaurationen korrekt, mit einer Spezifität sowie einem PPV von 100%. Zwei von vier Misserfolgen konnten durch die globale Frage korrekt erfasst werden (Sensitivität: 50,0 %; NPV: 92,3 %) und der Fragebogen ermittelte drei von vier Misserfolgen korrekt (Sensitivität: 75,0 %; NPV: 96,0 %). Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass die telefonische Selbstauskunft sowie die schriftliche Befragung von Studienpatienten als Alternative zur klinischen Nachuntersuchung postendodontischer Restaurationen mit Aufbaustiften erwogen werden können, sofern Patienten für eine klinische Untersuchung nicht zur Verfügung stehen können. Einschränkend ist jedoch darauf hinzuweisen, dass weder die telefonische Selbstangabe noch der Fragebogen alle Misserfolge präzise detektieren konnten.

von Stein-Lausnitz M, Reissmann DR, Roggendorf MJ, Sterzenbach G, Naumann M.
(2018) Patients' self-report on post-retained restoration is more valuable than expected!
Explorative analysis of an 11-year follow-up. *Acta Odontologica Scandinavica* 77(1),
33-38.

<http://dx.doi.org/10.1080/00016357.2018.1497804>

Die Erkenntnisse aus der randomisiert-kontrollierten Studie sowie aus einer nicht systematischen Literaturanalyse [29] führten zu spezifischen Fragstellungen, welche sich auf restaurative Konzepte endodontisch behandelter Zähne beziehen. Ein umfassendes In-vitro-Studienprojekt wurde entwickelt, um präklinische Daten für

verschiedene Restaurationskonzepte endodontisch behandelter Zähne unter dem Aspekt der Belastbarkeit zu erarbeiten und auszuwerten.

2.4 Belastbarkeit endodontisch behandelter Frontzähne mit direkten Komposit-Restaurationen in Abhängigkeit von Defektgröße und Anwendung eines Aufbaustiftes

von Stein-Lausnitz M, Bruhnke M, Rosentritt M, Sterzenbach G, Bitter K, Frankenberger R, Naumann M (2019) Direct restoration of endodontically treated maxillary central incisors: post or no post at all? Clinical Oral investigations 23(1), 381-389. doi: 10.1007/s00784-018-2446-6

Die Datenlage zu Restaurationsmöglichkeiten endodontisch behandelter Zähne in Abhängigkeit der koronalen Defektconfiguration ist derzeit als unzureichend zu bewerten [29, 36]. Eigene klinische Untersuchungen zeigten, dass unter anderem hinsichtlich der Kieferregion sowie der Defektconfiguration Bedarf besteht, im Rahmen von weiteren Studien verschiedene Versorgungskonzepte postendodontischer Restaurationen zu untersuchen. Insbesondere die Evaluation direkter, kosteneffektiver, minimal-invasiver Restaurationsoptionen ist in Bezug auf die Defektgröße bis heute nicht hinreichend untersucht [36].

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss der Defektgröße und der Verwendung eines glasfaserverstärkten Kompositaufbaustiftes (GFS) auf die Belastbarkeit endodontisch behandelter Oberkiefer-Frontzähne mit direkten Kompositversorgungen zu untersuchen. Für diese Untersuchung wurden extrahierte obere mittlere Schneidezähne endodontisch behandelt. Im Bereich der Zahnkrone wurden verschiedene Defektpräparationen vorgenommen: Zugangskavität, uniproximale Klasse-III-Kavität, biproximale Klasse-III-Kavität und dekapitierte klinische Krone. Die postendodontische Restauration bestand aus adhäsiven plastischen Aufbaufüllungen und bei der Hälfte der jeweiligen Defektarten wurde vor Füllungslegung ein adhäsiv befestigter glasfaserverstärkter Aufbaustift verwendet. Nach Einbettung der

Probenzähne in Kunststoffblöcke wurden diese unter Anwendung thermomechanischer Wechsellast als dynamische Belastung final linear belastet. Hierbei wurden die Probenzähne in $1,2 \times 10^6$ Zyklen mit einer Kraftapplikation zwischen 1 und 49 N belastet, bei gleichzeitiger Applikation von 6000 Zyklen thermischer Belastung zwischen 5 und 55 °C. Die Ergebnisse nach linearem Bruchlastversuch in der Universalprüfmaschine zeigen, dass Probenzähne mit vollständig fehlender koronaler Zahnhartsubstanz beziehungsweise fehlender klinischer Krone (verbliebenes Substanzlevel bei 2 mm koronal der Schmelz-Zement-Grenze) ohne Verwendung eines Aufbaustiftes signifikant mehr Versagen bereits während des Vorgangs der dynamischen Belastung unter thermomechanischer Wechsellast haben ($p = 0,001$). Auch die lineare Belastbarkeit zeigt signifikant geringere Werte als Probenzähne mit geringerem Defektausmaß. Weiterhin wurde in dieser Untersuchung eine deutliche Verbesserung der Belastbarkeit beobachtet, wenn die Probenzähne mit dekapitierter Zahnkrone einen Aufbaustift erhielten.

Diese Untersuchung zeigt, dass endodontisch behandelte Oberkiefer-Frontzähne mit bis zu zwei Klasse-III-Kavitäten adäquat mit direkten adhäsiven plastischen Füllungen versorgt werden können. Die zusätzliche Befestigung eines glasfaserverstärkten Aufbaustiftes zeigt für diese Defekte keinen zusätzlichen positiven Effekt. Bei ausgedehnten Substanzdefekten mit dekapitierter Zahnkrone erhöht ein Aufbaustift die Belastbarkeit und sollte somit verwendet werden.

von Stein-Lausnitz M, Bruhnke M, Rosentritt M, Sterzenbach G, Bitter K, Frankenberger R, Naumann M (2019) Direct restoration of endodontically treated maxillary central incisors: post or no post at all? *Clinical Oral investigations* 23(1), 381-389.

<http://dx.doi.org/10.1007/s00784-018-2446-6>

Im Frontzahnbereich zeigte sich die direkte Kompositrestauration in Bezug auf die Belastbarkeit als vielversprechendes Versorgungskonzept. Für Frontzähne mit biproximalen Klasse-III-Defekten wurde die Fragestellung dahingehend weiterentwickelt, welche Belastbarkeiten weitere indirekte Versorgungskonzepte im

Vergleich zur direkten Kompositrestauration zeigen. Als klinisch relevante Vergleichsgruppen wurden Veneerrestaurationen und Kronenrestaurationen einbezogen.

2.5 Direkte versus indirekte Restaurationen endodontisch behandelter

Frontzähne mit Klasse-III-Defekten

von Stein-Lausnitz M, Mehnert A, Bruhnke M, Sterzenbach G, Rosentritt M, Spies BC, Bitter K, Naumann M. (2019) Direct or Indirect Restoration of Endodontically Treated Maxillary Central Incisors with Class III Defects? Composite vs Veneer or Crown Restoration. Journal of Adhesive Dentistry 20(6), 519-526. doi: 10.3290/j.jad.a41635

Um die Art der definitiven Restauration endodontisch behandelter Zähne im Vorfeld der Therapieplanung zu bestimmen, ist insbesondere das Ausmaß des Zahnhartsubstanzverlustes relevant [122]. Dieser Aspekt wurde jedoch bisher insbesondere im Zusammenhang mit der Frage untersucht, wann das Setzen eines Aufbaustiftes erforderlich ist [18, 111]. Die konkrete Gegenüberstellung verschiedener koronaler Defektgrößen in Bezug auf verschiedene Restaurationsszenarien ist bisher in keiner Studie systematisch untersucht worden [29, 36]. Die vorliegende Studie untersuchte deshalb die Belastbarkeit endodontisch behandelter oberer, mittlerer Schneidezähne mit biproximalen Klasse-III-Defekten im Hinblick auf verschiedene Restaurationsoptionen. Extrahierte obere, mittlere Schneidezähne wurden endodontisch behandelt und im Anschluss für die Versorgung biproximaler Klasse-III-Kavitäten präpariert. Die postendodontische Restauration erfolgte entsprechend der Gruppenzuordnung mit direkter adhäsiver Kompositfüllung, vollkeramischer Kronenrestaurationen oder einer Kombination aus adhäsiver plastischer Füllung und Veneer-Restauration. In jeder Gruppe wurde die Hälfte der Probenzähne zusätzlich mit einem glasfaserverstärkten Aufbaustift versorgt. Die Proben wurden nach Einbettung in einen Acryl-Block einer dynamischen Belastung im Sinne einer Kausimulation (TCML, $1,2 \times 10^6$ Zyklen mit Kraftapplikation zwischen 1 und 49 N, bei gleichzeitiger

Applikation von 6000 Zyklen thermischer Belastung zwischen 5 und 55 °C) zugeführt. Im Anschluss erfolgte die lineare Belastung bis zum Versagen. Die drei verschiedenen Restaurationsoptionen zeigten im Mann-Whitney-U-Test nach Bonferroni-Holm-Korrektur signifikant geringere Belastbarkeitswerte für Probenzähne mit adhäsiven Kompositrestaurationen ohne Aufbaustift als die Gruppe mit Veneer-Restaurationen ohne Aufbaustift ($p = 0,014$). Die Versagemuster zeigten keinen Unterschied zwischen den verschiedenen Restaurationen.

Es zeigte sich, dass direkte Kompositrestaurationen endodontisch behandelte oberer, mittlerer Schneidezähne mit biproximalen Klasse-III-Kavitäten zu vergleichbaren Bruchlastwerten führen wie Kronenrestaurationen. Veneer-Restaurationen sind im Vergleich zu den vorherigen Restaurationsarten bezüglich ihrer Belastbarkeit als vorteilhafter zu bewerten. Die Setzung eines Aufbaustifts zeigte keinen zusätzlichen positiven Effekt.

von Stein-Lausnitz M, Mehnert A, Bruhnke M, Sterzenbach G, Rosentritt M, Spies BC, Bitter K, Naumann M. (2019) Direct or Indirect Restoration of Endodontically Treated Maxillary Central Incisors with Class III Defects? Composite vs Veneer or Crown Restoration. Journal of Adhesive Dentistry 20(6), 519-526.
<http://dx.doi.org/10.3290/j.jad.a41635>

3 Diskussion

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, basierend auf einer klinischen Langzeitstudie Überlebensraten postendodontischer Restaurationen zu untersuchen und *in vitro* die Belastbarkeit endodontisch behandelter Frontzähne unter der Einbeziehung verschiedener Versorgungskonzepte zu bewerten. Es konnte gezeigt werden, dass die Versorgung endodontisch behandelter Zähne mit Substanzdefekten von maximal zwei erhaltenen Kavitätenwänden mit adhäsiv befestigten glasfaserverstärkten Aufbaustiften sowie Titanaufbaustiften klinisch akzeptable Langzeitergebnisse erzielen kann. Die Rigidität von Aufbaustiften scheint bei adhäsiver Befestigung und Einhaltung des Fassreifen-Designs kein primärer Faktor für die Überlebenswahrscheinlichkeit postendodontischer Restaurationen zu sein. Im Rahmen von In-vitro-Untersuchungen zeigten direkte, adhäsive Restaurationskonzepte für endodontisch behandelte Frontzähne gegenüber Kronenrestorationen vergleichbare Belastbarkeitswerte. Die Aufbaustiftsetzung sollte bei großvolumigen, koronalen Defekten, das heißt bei Verlust aller Kavitätenwände, erfolgen. Kombinierte, adhäsive direkte Kompositrestaurationen und indirekte Restaurationen in Form von Veneer-Restaurationen zeigen sehr gute Belastbarkeitswerte und sollten weitergehend untersucht werden.

3.1 Klinische Studien

Der klinische Teil dieses Forschungsprojektes umfasste die Nachuntersuchung einer klinischen Studie zur Beobachtung des Langzeitverhaltens postendodontischer Restaurationen mit glasfaserverstärkten Aufbaustiften und Titanaufbaustiften.

Bereits eine Vorgängerstudie, welche als prospektive Beobachtungsstudie angelegt war, untersuchte Restaurationen mit Glasfaserstiften von drei verschiedenen Herstellern hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeit und möglicher Risikofaktoren für das Überleben bis zu zehn Jahre nach Eingliederung [103, 117]. Die definitive Restauration umfasste Einzelkronen, Brücken sowie kombiniert festsitzend-herausnehmbaren Zahnersatz. Im Ergebnis wurde eine kumulative Überlebensrate von

59,6 % nach 10 Jahren ermittelt [103, 117]. Diese basiert auf einer jährlichen Versagensrate von 4,6 %. Dabei ist zu bemerken, dass die versorgten Zähne durch einen Anteil von 58 % Zähnen ohne verbliebene Kavitätenwand sowie durch einen Frontzahn-Anteil von 42 % charakterisiert waren. In der statistischen Analyse wurde als Risikofaktor für das Überleben die Frontzahnregion identifiziert, was mit anderen Untersuchungen übereinstimmt [53, 123-125]. Als ursächlich ist hier der hohe Scherlastanteil zu sehen. Weiterhin wurde das Fehlen sämtlicher Kavitätenwände als Risikofaktor für das Überleben ermittelt. Dies bestätigt die Ergebnisse von Untersuchungen, welche die verbliebene Zahnhartsubstanz als kritischen Faktor für den Erfolg postendodontischer Restaurationen beurteilen [7, 108, 126].

Gegenstand der klinischen Untersuchung der hier vorliegenden Arbeit war der Vergleich eines rigiden Aufbaustiftmaterials (Titan-Aufbaustift) mit einem flexiblen Aufbaustiftmaterial (Aufbaustift aus einer Epoxidharzmatrix mit longitudinal ausgerichteten Glasfasern). Diese Untersuchung wurde als randomisierte, kontrollierte Pilotstudie durchgeführt und entsprechend der Richtlinien des CONSORT – Protokolls berichtet. Die kumulative Überlebensrate betrug 58,7 % für Restaurationen mit Glasfaser-Aufbaustiften und 74,2 % für Restaurationen mit Titan-Aufbaustiften. Es zeigte sich für die glasfaserbasierten Aufbaustifte ein vergleichbarer Wert wie in der vormals durchgeführten ersten prospektiven Untersuchung. Zwar erfolgte eine statistische Testung hinsichtlich der Überlebenswahrscheinlichkeiten mit dem Ergebnis, dass kein signifikanter Unterschied zwischen beiden Aufbaustift-Konzepten besteht, jedoch wurden dieses Ergebnis in die Publikation nicht einbezogen, da die randomisierte Pilotstudie keine ausreichende Fallzahl aufwies. Somit kann ein nicht signifikanter Unterschied zwischen beiden Gruppen zu Fehlinterpretationen führen, da dieser möglicherweise auf einer nicht ausreichenden statistischen Power basiert.

Bezogen auf die Methodik der Studien wurde in der beschriebenen Vorgängerstudie [103, 117] ein nicht-randomisiertes Konzept umgesetzt, bei welchem

konsekutiv Glasfaseraufbaustifte von drei Herstellern zum Einsatz kamen. Die Erkenntnisse aus dieser Untersuchung und ihre Limitationen wurden in der hier vorgestellten Pilotstudie aufgegriffen und beseitigt. Beide Studien unterscheiden sich darin, dass im Rahmen der Vorgängerstudie die Einhaltung des Fassreifen-Designs zwar angestrebt, jedoch nicht durch entsprechende präprothetische Maßnahmen sichergestellt wurde [103, 117]. Deshalb ist davon auszugehen, dass ein Anteil stark zerstörter Zähne mit keiner verbliebenen Kavitätenwand eine zu geringe Fassreifen-Manschette aufwies. Gleichzeitig zeigt sich aufgrund der Daten der randomisiert-kontrollierten Studie, dass stark geschädigte Zähne durch eine entsprechende Vorgehensweise im Rahmen der postendodontischen Restauration akzeptable 10-Jahres-Überlebensraten erzielen können. Ein Ersatz dieser Zähne durch mögliche Therapieoptionen, wie zum Beispiel ein Implantat, kann somit zu einem späteren Zeitpunkt mit den Patientinnen und Patienten besprochen werden. Die Behandlung im Rahmen der randomisierten Pilotstudie basierte auf der Annahme, ein Fassreifen-Design von 2 mm Dentinmanschette einzuhalten. Um dies zu gewährleisten, wurde, sofern erforderlich, eine chirurgische Kronenverlängerung durch den Hauptbehandler durchgeführt. Die Zuteilung der Versorgung mit Titan- oder Glasfaseraufbaustift erfolgte zufällig. Beide Aufbaustiftarten wurden mit einem selbsthaftenden Befestigungskomposit befestigt und ein chemisch härtendes Aufbaukomposit nach der Stiftsetzung verwendet. In der Wahl des Befestigungsmaterials liegt somit ein weiterer Unterschied zwischen beiden Untersuchungen. Von hohem praktischen Interesse ist der Einsatz des selbsthaftenden Befestigungskomposites in der randomisierten Studie, da hier keine zusätzlichen Vorbehandlungsschritte des im Sinne der Adhäsivtechnik erfolgen mussten. Dadurch werden die Komplexität der Behandlung und die Techniksensitivität positiv beeinflusst. Beides waren Hauptgründe für die Entwicklung dieser Materialklasse.

Ein direkter Abgleich mit den Überlebensraten anderer Publikationen ist erschwert, da es zum einen nur wenige Langzeitstudien gibt und diese zum anderen hinsichtlich

ihres Studiendesigns nicht vergleichbar sind. Eine niederländische Studie untersuchte über einen Zeitraum von 17 Jahren unter der Beteiligung von 17 Zahnarztpraxen 307 postendodontische Restaurationen im Rahmen einer 1988 prospektiv gestarteten Untersuchung [41, 127]. Die 17-Jahresdaten wurden retrospektiv auf der Grundlage von Aktendokumentationen erhoben, wobei 18 % der Akteneinträge durch eine klinische Nachuntersuchung überprüft und als reliabel bewertet wurden. Die Versorgungen umfassten gegossene, Nichtedelmetall-Stift-Stumpf-Aufbauten mit Einzelkronen, direkt befestigte metallische Aufbaustifte mit Kompositaufbauten und Kronenrestaurationen sowie stiftfreie Restaurationen mit Kompositaufbauten und Kronenrestaurationen. Dabei kann die dritte Gruppe mit Verzicht auf einen Aufbaustift im Kontext damaliger Restaurationsempfehlungen als innovativ beurteilt werden. Zu dieser Zeit war ein adhäsiver Ansatz unüblich beziehungsweise experimentell. Das zahnbezogene Überleben zeigte akzeptable Werte von 83 - 92 % in den jeweiligen Gruppen. Im Vergleich mit den Ergebnissen der vorgestellten randomisierten 11-Jahresstudie der vorliegenden Arbeit erscheinen die Ergebnisse der niederländischen Arbeitsgruppe als deutlich verbesserte Überlebensraten. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass die Endpunkte für den Faktor „Überleben“ anders definiert waren. So wurde in der 17-Jahres-Untersuchung der Einzelzahn mit „Überleben“ gewertet, wenn eine Extraktion nicht notwendig war. In den klinischen Studien der hier vorliegenden Arbeit wurde bereits eine Sekundärkaries oder eine diagnostizierte apikale Parodontitis als Nicht-Überleben gewertet, obwohl die Zähne einer entsprechenden zahnerhaltenden Therapie zugeführt wurden. Limitationen der Studie der Arbeitsgruppe von *Fokkinga* sind fehlende Angaben zum Befestigungsmaterial der Aufbaustifte und eine nicht vollständig nachvollziehbare Klassifikation des vorhandenen Zahnhartsubstanzeangebotes in „minimale“ und „substantielle“ Dentinhöhe. Es ist somit zu vermuten, dass im Rahmen der Studie mehr Zähne mit einem moderaten Angebot an Zahnhartsubstanz versorgt wurden, als in der hier vorgestellten „Berliner“ Studie mit einem hohen Anteil kompromittierter Zähne. Eine

weitere Untersuchung evaluierte retrospektiv über einen Zeitraum von 10 Jahren postendodontische Versorgungen mit Zirkonoxidaufbaustiften, welche adhäsiv befestigt und nach adhäsivem Aufbau als Teil von Brückenrestaurationen versorgt wurden [82]. Die Überlebenswahrscheinlichkeit lag bei 81,3 % nach 10 Jahren. Die Autoren berichten als einschränkenden Aspekt eine erhebliche Drop-out-Rate von 49,4 %.

Andere Studien, welche postendodontische Restaurationen über einen kürzeren Nachbeobachtungszeitraum untersuchten, zeigen nach bis zu 36 Monaten vergleichbare Überlebensraten wie die vorgestellten eigenen Untersuchungen [6, 128, 129]. Eine weitere, randomisiert-kontrollierte Studie führte eine vergleichende Untersuchung über einen Beobachtungszeitraum von 5 Jahren über Restaurationen mit glasfaserverstärkten Aufbaustiften und metallischen, schraubförmigen Aufbaustiften durch [125]. Die Überlebensraten fielen mit 71,8 % für Glasfaser-Aufbaustifte und 50 % für Metall-Schrauben geringer aus, als die Werte der eigenen Untersuchungen im Nachuntersuchungszeitraum von 5 Jahren. Dies kann im Studienprotokoll begründet sein, welches durch verschiedene Behandler für die Stiftsetzung im Rahmen des Studierendenkurses gekennzeichnet war. Im Gegensatz zu diesen Ergebnissen ermittelte eine andere randomisierte, kontrollierte Studie mit Glasfaserstift-basierten Restaurationen auf Prämolaren Überlebensraten von 94,1 % nach 6 Jahren, welche wiederum als außergewöhnlich hoch einzuordnen sind [130]. Bei Betrachtung der Ergebnisse der verschiedenen Studien wird deutlich, dass die Daten für glasfaserverstärkte Aufbaustifte stark variieren. Ein Grund hierfür liegt in den unterschiedlichen Ausgangsbedingungen der versorgten Zähne, unter anderem mit nicht einheitlicher Angabe der verbliebenden Zahnhartsubstanz. Ein aktuelles systematisches Review führte basierend auf entsprechenden Einschlusskriterien eine Meta-Analyse mit vier randomisiert-kontrollierten Studien durch, und kam zum dem Ergebnis, dass in einem Zeitraum von 3 bis 7 Jahren bei endodontisch behandelten Zähnen maximal zwei verbliebenen Kavitätenwänden Restaurationen mit

faserverstärkten Aufbaustiften höhere Überlebensraten erzielen als Restaurationen mit metallischen Aufbaustiften [89]. Im Verlauf von 11 Jahren Nachbeobachtung im Rahmen der vorgestellten Pilotstudie zeigte sich jedoch, dass bei Betrachtung der Kaplan-Meier-Statistik sich in der Tendenz leicht verbesserte Überlebensraten bei den Titanstiftversorgungen darstellen. Es wird deutlich, dass die Durchführung weiterer Langzeitstudien mit entsprechenden Fallzahlen für eine sichere Bewertung der Aufbaustiftsysteme notwendig ist.

Die beobachteten Misserfolge sind über die vorliegenden Studien hinweg heterogen. So wurden in den eigenen Untersuchungen Dezementierungen, Sekundärkaries, endodontische Misserfolge, Aufbaufrakturen, parodontologische Erkrankungen, Zahnfrakturen und Wurzelfrakturen beobachtet [103, 117, 131]. Interessant war die Beobachtung, dass in der Vorgängerstudie mit drei verschiedenen Glasfaseraufbaustiften in den ersten Jahren der Nachbeobachtung vorrangig Dezementierungen der Aufbaustifte beobachtet wurden [103, 117], jedoch in der randomisierten Studie, welche Gegenstand dieser Arbeit ist, dieses Versagensereignis nicht eintrat. Dies liegt mit hoher Wahrscheinlichkeit in der Verwendung eines selbstadhäsiven Befestigungsmaterials für die Aufbaustiftzementierung begründet. Die Nutzung des selbsthaftenden Befestigungskomposits für die Titan- und Glasfaseraufbaustifte kann zum damaligen Zeitpunkt von Vorteil gewesen sein, wie In-vitro-Untersuchungen in den Folgejahren für dieses Befestigungsmaterial nahelegen [94, 101]. Darüber hinaus kann die vergleichsweise hohe Anzahl von Aufbaustiftdezementierungen in der früheren Studie mit dem vermuteten unterschrittenen Fassreifen-Design assoziiert sein. Dieses kann dazu geführt haben, dass sich im marginalen Bereich der Suprakonstruktionen Belastungen unter Kaufunktion auf den Stift-Stumpf-Aufbau und die adhäsiven Grenzschichten stärker übertragen haben und die Dezementierungen somit begünstigt wurden [19].

Weiterhin ist die Beobachtung bemerkenswert, dass die Anzahl der Wurzelfrakturen bei Titanaufbaustiften gegenüber den glasfaserverstärkten Aufbaustiften nicht erhöht war. Die in der Literatur für faserverstärkte Aufbaustifte beschriebenen günstigeren Versagemuster im Sinne einer Wiederversorgbarkeit [66] konnten im Verlauf dieser Studie nicht beobachtet werden. Bei Analyse der Kaplan-Meier-Statistik zeigte sich für beide Versorgungsarten gleichermaßen eine deutliche Zunahme der Versagensereignisse nach 8 Jahren. Dabei ist jedoch nochmals darauf hinzuweisen, dass aufgrund der Kohortengröße eine statistische Testung nicht gerechtfertigt war.

Die materialwissenschaftlich bedingte Gegensätzlichkeit von rigiden, metallischen Aufbaustiften und flexiblen, faserverstärkten Aufbaustiften wurde hinsichtlich biomechanischer Aspekte viel diskutiert [132, 133]. Weiterhin gab es Bestrebungen zu untersuchen, ob verschiedene Aufbaustiftmaterialien hinsichtlich ihrer Effekte auf den alveolären Knochenabbau über die Zeit unterschiedliche Wirkungsweisen zeigen. In einigen wenigen Untersuchungen wurde eine unterschiedliche Stressverteilung unter Kaufunktion auf die alveoläre Knochenunterstützung gezeigt [134, 135]. Es wurden hierzu jedoch bisher keine longitudinalen Daten veröffentlicht. Im Verlauf der Nachuntersuchung der randomisierten kontrollierten Studie konnten Röntgenaufnahmen von 38 Patienten in Form von Einzelbildern an zwei verschiedenen Nachbeobachtungszeitpunkten gefertigt werden, welche longitudinal das Niveau des Limbus alveolaris mesial und distal der versorgten Zähne darstellbar machten. Entwickelt wurde hierfür eine digitale Methode, welche die Röntgenbilder des jeweiligen Zahnes an zwei verschiedenen Zeitpunkten vergleichend vermessen konnte. Im Ergebnis konnte berichtet werden, dass sich die Veränderung des approximalen alveolären Niveaus nicht signifikant zwischen Restaurationen mit Glasfaser- und Titanaufbaustiften unterschied. Im Gegensatz zur vorangegangenen Literatur konnte nicht bestätigt werden, dass endodontische Aufbaustifte mit einem höheren E-Modul zu erhöhtem Knochenabbau führen [136, 137]. Dies kann an den

Einschlusskriterien liegen, welche parodontale Gesundheit der Patienten definierten beziehungsweise eine erfolgreich behandelte leichtgradige Parodontitis mit einer maximalen Sondierungstiefe von 4 mm erforderten. Es gibt Hinweise, dass bei Patienten mit Parodontitis das Aufbaustiftmaterial bei endodontisch behandelten Zähnen aufgrund erhöhter Spannungswerte und Stresskonzentration im Bereich des kortikalen Knochens einen Einfluss auf das Fortschreiten des Knochenabbaus hat [138]. Demgegenüber stehen radiographische Studien, welche bei Parodontitispatienten keine Unterschiede zwischen endodontisch behandelten und vitalen Zähnen zeigten [139, 140]. Der Knochenabbau betrug an den mesialen und distalen Messpunkten deutlich unter 2 mm. Die parodontalen Verhältnisse der versorgten Zähne können somit als sehr stabil bezeichnet werden. Vergleichswerte an Implantatstudien zeigen, dass ein marginaler Knochenabbau von maximal 0,2 mm pro Jahr dem natürlichen Abbauprozess entsprechen [141-143]. Weiterhin wird anhand dieser stabilen Werte deutlich, dass die Einschlusskriterien der Studie mit parodontaler Gesundheit beziehungsweise Sondierungstiefen von maximal 4 mm mit behandelter leichtgradiger Parodontitis hinsichtlich des Behandlungserfolges als wichtige Voraussetzungen für den parodontalen Langzeiterfolg festgelegt wurden. Bestätigt werden konnte damit indirekt, dass eine adäquate präprothetische Bewertung von Pfeilerzähnen sowie eine entsprechende Vorbehandlung, zum Beispiel durch eine chirurgische Kronenverlängerung, die Voraussetzung einer erfolgreichen restaurativen Therapie sind [144, 145].

Die Nachuntersuchung wurde im Rahmen der randomisierten Pilotstudie im Verlauf der ersten 6 Jahre in jährlichen Kontrollintervallen umgesetzt. Dennoch ist die Drop-out-Rate mit 27 % als erhöht einzustufen [121]. Es stellte sich für die Nachuntersuchungen nach 11 Jahren die Herausforderung, die StudienteilnehmerInnen für einen Kontrolltermin zu motivieren. Hierfür können lokale Faktoren nicht ausgeschlossen werden, da die Patientenbindung an einer Hochschule in einer Großstadt wie Berlin nicht derjenigen einer Zahnarztpraxis entspricht. Auch ein

Wechsel im Studienteam durch individuelle berufliche Veränderungen sowie eine Standortverlagerung der Klinik können die Nachkontrollen erschwert haben. Um Langzeitdaten im Rahmen klinischer Nachuntersuchungen zu gewinnen, wurde das Konzept der patientenbezogenen Selbstaussage evaluiert. Grundlage für diese Untersuchung waren Hinweise der Vorgängerstudie, dass Patienten mit Aufbaustiftbasierten postendodontischen Restaurationen durch Selbstaussage beurteilen können, ob der versorgte Zahn noch in Funktion im Munde ist [103, 117]. Im Rahmen der 11-Jahres-Nachuntersuchung der randomisierten klinischen Studie wurden die Patienten bereits bei der Kontaktaufnahme telefonisch befragt, ob ihr zum damaligen Zeitpunkt versorgter Zahn noch im Munde sei und ob er ihnen intakt erscheint. Dies wurde bei dem Termin der Nachuntersuchung durch einen Fragebogen zum Zustand des versorgten Zahnes erweitert. Durch Anwendung diagnostischer Tests wurde die Selbstaussage der Patienten mit der als Goldstandard definierten klinischen und radiologischen Untersuchung hinsichtlich ihrer Validität bewertet. Es konnte gezeigt werden, dass klinisch intakte Restaurationen mit hoher Sicherheit durch die Patienten korrekt beurteilt werden können, und dass durch Anwendung von – weiter zu entwickelnden – Fragebögen auch Versagensereignisse korrekt berichtet werden können. Letztere brachten in der Untersuchung jedoch noch nicht die gewünschte Sensitivität. Es besteht auf der Grundlage dieser Ergebnisse das Potential, Daten von Patienten zu erheben, die zum Beispiel durch einen Wohnortwechsel nicht zur Nachuntersuchung erscheinen können. Vielversprechend erscheint in diesem Zusammenhang der Ansatz, bildgebende Medien zu nutzen. Zum Beispiel könnten intraorale Aufnahmen durch die Patienten mit mobilen Endgeräten erstellt werden. Dass insbesondere bei der Umsetzung von Langzeitstudien die Adhärenz der Patientinnen und Patienten von höchster Bedeutung ist, konnte im Rahmen der Auswertung der Langzeitstudie gezeigt werden.

3.2 In-vitro-Untersuchungen

Die definitive koronale Versorgung endodontisch behandelter Zähne erlaubt bei Betrachtung von Einzelzahnrestaurationen verschiedene Arten der Restauration [18, 113]. Auf der Basis einer eigenen Literaturrecherche wurde erarbeitet, dass es bezogen auf verschiedene koronale Defektkonfigurationen keine einheitlichen Empfehlungen gibt, wann eine direkte, adhäsive Restauration angezeigt ist und für welche Defektkonfiguration eine Kronenrestauration empfohlen werden kann [29]. Auch eine systematische Literaturrecherche konnte in dieser Frage keine hinreichende Evidenz für entsprechende Empfehlungen finden [36]. In-vitro-Studien untersuchten mit dem Fokus auf einzelne Defektarten direkte Restaurationen [146-149], Veneer-Versorgungen [150, 151] sowie Kronenrestaurationen [146, 152-154]. Jedoch sind diese Untersuchungen nur bedingt vergleichbar, da die verwendeten Methoden sehr heterogen sind. In ihren Ergebnissen können sie nicht hinreichend zu einheitlichen, auf die Defektkonfiguration abgestimmten Restaurationsempfehlungen synthetisiert werden. Weiterhin scheint die Frage, wann ein Aufbaustift indiziert ist, aufgrund einer Vielzahl von In-vitro-Studien und klinischen Studien nicht geklärt. Aufbaustifte sind dann indiziert, wenn die Retention für den Aufbau nicht adäquat gewährleistet ist, insbesondere im Falle einer oder keiner verbliebenden koronalen Kavitätenwand [38, 113]. Jedoch gibt es Untersuchungen, welche in ihren Ergebnissen darlegen, dass die Verwendung von faserverstärkten Aufbaustiften die Belastbarkeit endodontisch behandelter Zähne erhöhen beziehungsweise ihr Einsatz auch bei kleineren Defekten vorteilhaft sein kann [148, 151]. Auch klinische Untersuchungen haben Daten hervorgebracht, welche einen positiven Effekt glasfaserverstärkter Aufbaustifte auf die Überlebenswahrscheinlichkeiten darlegen [126, 155, 156].

Im Rahmen einer In-vitro-Untersuchung wurde der Fragestellung nachgegangen, welche Belastbarkeiten obere, mittlere Frontzähne haben, wenn sie unter Berücksichtigung verschieden konfigurierter, simulierter Zahnhartsubstanzverluste mit direkten Kompositrestaurationen versorgt werden und zusätzlich einen oder keinen

glasfaserverstärkten Aufbaustift erhalten. Es konnte gezeigt werden, dass endodontisch behandelte Frontzähne mit geringem bis mittlerem Zahnhartsubstanzverlust im Falle von palatinal lokalisierten endodontischen Trepanationskavitäten sowie zusätzlichen uni- oder biproximalen Klasse-III-Kavitäten nach Versorgung mit direkten Kompositrestaurationen hohe Überlebensraten während der thermomechanischen Belastung erzielen, sowie im statischen Bruchlastversuch vergleichbare Belastbarkeitswerte erreichen können, wie direkte Restaurationen in den angegebenen Defektkonfigurationen mit adhäsiv befestigtem Aufbaustift. Frontzähne ohne verbliebene Kavitätenwand mit einem vollständigen Kompositaufbau und ohne einen zuvor inserierten Aufbaustift zeigen erhöhte Versagensraten während der thermomechanischen Alterung und signifikant geringere Belastbarkeitswerte in der anschließenden linearen Belastung. Damit wurde belegt, dass das Ausmaß des simulierten Zahnhartsubstanzverlustes sowie die Stiftsetzung einen Einfluss auf die maximale Belastbarkeit endodontisch behandelter Frontzähne hat.

Als Probenzähne wurden extrahierte, mittlere Oberkiefer-Frontzähne verwendet. Diese können aufgrund der auf sie einwirkenden Scherkräfte während der dynamischen Okklusion sowie in der Inzisalkantenposition einem Hochrisikogebiet für mechanische Versagensereignisse zugeordnet werden [125, 133]. Im Rahmen dieser Untersuchung kam eine etablierte Vorgehensweise bei der Umsetzung des Versuchsaufbaus zum Einsatz, da die Arbeitsgruppe durch entsprechende Vorarbeiten In-vitro-Untersuchungen an endodontisch behandelten Frontzähnen entwickelt und in Veröffentlichungen dargelegt hat [157, 158]. Zukünftig sollte das Potenzial der thermomechanischen Alterung durch eine gesteigerte Anzahl von Kauzyklen überprüft werden und eine strukturierte Beobachtung während langer Belastungszyklen entwickelt werden [159]. Durch erweiterte bildgebende Verfahren, wie z.B. Mikro-Computertomographie, können für exemplarisch ausgewählte Proben zerstörungsfrei äußerlich nicht sichtbare Alterungsmuster in den Proben nachvollzogen werden [160].

Eine weitere Studie, welche im Rahmen des In-vitro-Projektes durchgeführt wurde, hatte zum Ziel, die Belastbarkeit oberer, mittlerer Frontzähne mit simulierten, biproximalen Klasse-III-Kavitäten unter dem Einsatz direkter und indirekter Restaurationsarten zu untersuchen. Weiterhin sollte für die untersuchten Restaurationsarten die Verwendung oder der Verzicht eines Aufbaustifts evaluiert werden. Es sollten somit verschiedene Restaurationskonzepte - die direkte Füllungstherapie, die zusätzliche Veneer-Restaurationsart sowie die Versorgung mit einer Einzelkrone - evaluiert werden. Unter Anwendung der etablierten methodischen Vorgehensweise erfolgten die Probenherstellung, thermo-mechanische dynamische Belastung sowie die Durchführung der linearen Belastungstests. Es konnte gezeigt werden, dass Versorgungen mit direkten Kompositfüllungen gleiche Belastbarkeitswerte zeigen, wie indirekte Kronenversorgungen. Als vielversprechende Therapieoption sollte die gegenüber der Kronenversorgung minimal invasive Veneer-Restaurationsart weitergehend untersucht werden, da die Proben erhöhte Belastbarkeitswerte zeigten. Diese Beobachtung ist in Übereinstimmung mit einer anderen Publikation zum vergleichenden Einsatz von Veneers gegenüber Kronenrestaurationen bei endodontisch behandelten Frontzähnen [146]. Der Einsatz eines adhäsiv befestigten Aufbaustiftes zeigte bei allen drei Versorgungsmöglichkeiten keinen positiven, belastbarkeitssteigernden Effekt.

Die Ergebnisse der im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten In-vitro-Studien unterstützen in der klinischen Anwendung die Entscheidungsfindung dahingehend, dass für endodontisch behandelte Frontzähne mit geringem bis mittlerem koronalen Zerstörungsgrad direkte Restaurationsarten ohne den Einsatz von Aufbaustiften gewählt werden können.

3.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Versorgung endodontisch behandelter Zähne mit ausgedehnten Zahnhartsubstanzdefekten mit adhäsiv befestigten glasfaserverstärkten Aufbaustiften sowie Titanaufbaustiften erzielt klinisch akzeptable Langzeitergebnisse nach bis zu 11 Jahren Nachbeobachtung. Das Ausmaß der erhaltenen Zahnhartsubstanz gilt für die Überlebenswahrscheinlichkeit als kritischer Faktor. Das Fassreifen-Design in Form einer zirkulären Dentinmanschette von 2 mm bei Zähnen ohne verbliebene Kavitätenwand ist ein prognostischer Schlüsselfaktor. Die Wahl des direkten Aufbaustiftmaterials ist im Vergleich zum Fassreifen-Design von nachgeordneter Bedeutung für das Langzeitüberleben.

Bei klinischen Observations-Studien soll die Definition der Endpunkte Parameter anstreben, die einem möglichst weit verbreiteten Standard entsprechen, um zum Beispiel Überlebenswahrscheinlichkeiten zwischen verschiedenen Studien vergleichbar zu machen. Aspekte wie zahnbezogenes und restaurationsbezogenes Überleben sollten in die Analysen einbezogen werden. Für die Berichtsinhalte und Berichtsstruktur klinischer Kohortenstudien ist die Erstellung eines Konsenspapiers, wie sie das CONSORT – Statement erreicht hat, zu empfehlen. Dies verbessert die Vergleichbarkeit klinischer Studiendaten im Bereich der restaurativen Zahnheilkunde.

Für die Erhebung radiographischer Aufnahmen im Verlauf einer Nachuntersuchung sind patientenindividuelle Röntgenhalter erforderlich, um Röntgenbilder von verschiedenen Zeitpunkten vergleichend auswerten zu können. Auch die anschließende Auswertung sollte durch eine digitalisierte, standardisierte Methodik erfolgen. Weitere patientenindividuelle Parameter wie zum Beispiel die Erfassung der Selbstaussage zum Zustand einer Restauration oder die Erhebung der mundgesundheitsbezogenen Lebensqualität können die Datenbasis restaurativer Therapien im zeitlichen Verlauf erweitern. Es bleibt dabei die Herausforderung, Patienten an den universitären Einrichtungen langfristig zu binden und sie zu

motivieren, an regelmäßigen Nachkontrollen teilzunehmen. Eine Erweiterung der Datenerhebung um weitere Outcome-Parameter im Verlauf einer Langzeitstudie erfordert eine entsprechende personelle und infrastrukturelle Ausstattung des Studienteams. Bei der Erhebung von Langzeitdaten kann zukünftig die vermehrte Einbeziehung spezialisierter Zahnarztpraxen eine Möglichkeit sein, adäquate Patientenzahlen und damit aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen.

Direkte, adhäsive Restaurationskonzepte zeigen für endodontisch behandelte Frontzähne gegenüber Kronenrestorationen vergleichbare Belastbarkeitswerte. Bei Frontzähnen mit Klasse-III-Defekten zeigen kombinierte, adhäsive direkte und indirekte Restaurationen in Form von Veneer-Restorationen sehr gute Belastbarkeitswerte. Weitere Untersuchungen sollten Defektkonfigurationen simulieren, welche deutlich ausgedehnten Klasse-III-Defekten entsprechen, zusätzlich zervikale Kavitäten einbeziehen, jedoch noch nicht vollständig dem Zahnhartsubstanzverlust eines Zahnes ohne verbliebene Kavitätenwände entsprechen. Für die Wiederherstellung endodontisch behandelter Frontzähne mit ausgedehntem koronalen Zahnhartsubstanzverlust ohne umsetzbares Fassreifen-Design sollten weitere direkte oder kombiniert direkt-indirekte restaurative Konzepte untersucht werden, welche den Zahnerhalt ermöglichen. Dies ist insbesondere dann von klinischem Interesse, wenn eine chirurgische Kronenverlängerung aus ästhetischer Perspektive oder aufgrund allgemeinmedizinischer Probleme nicht möglich ist.

4 Zusammenfassung

Die Restauration endodontisch behandelter Zähne stellt eine restaurative Herausforderung dar, da sie gegenüber vitalen Zähnen höhere Komplikationsraten aufweisen. Dabei ist das Ausmaß des koronalen Zahnhartsubstanzverlustes ein kritischer prognostischer Faktor. Postendodontische Restaurationen mit Aufbaustiften und plastischen Aufbauten sind indiziert, wenn eine oder keine Kavitätenwand verblieben ist.

Im Rahmen der 11-Jahres-Nachuntersuchung einer randomisierten, kontrollierten Studie wurde die Versorgung mit Titanaufbaustiften der Rekonstruktion mit Glasfaseraufbaustiften zum Vergleich der Überlebensraten und Versagensereignisse gegenübergestellt. Es zeigte sich im Rahmen dieser Langzeitstudie, dass beide Aufbaustiftsysteme vergleichbare Überlebensraten erzielen. Die adhäsive Befestigung der Aufbaustifte und die Einhaltung des Fassreifen-Designs begründen das Ergebnis. Versagensereignisse traten in beiden Versorgungsgruppen 8 Jahre nach Eingliederung der Restauration mit deutlicher Progredienz auf. Es gab keinen Unterschied im Muster des Versagens.

Im Rahmen der Nachbeobachtung der randomisierten, kontrollierten Studie zu Glasfaser- und Titanaufbaustiften wurden Röntgenbilder der Versorgungen an zwei verschiedenen Zeitpunkten angefertigt. Es wurde eine digitale Methode zur Vermessung der Höhe des mesialen und distalen Limbus alveolaris entwickelt, um das marginale Knochenniveau im Verlauf einer mittleren Nachbeobachtungszeit von 54 (Glasfaseraufbaustifte) und 50 (Titanaufbaustifte) Monaten zu bewerten. Im Ergebnis zeigte sich, dass die Rigidität des Aufbaustiftmaterials keinen Einfluss auf die Veränderung des marginalen Knochenniveaus hat.

Desweiteren wurde die Selbstaussagekraft von Patienten zum Zustand ihrer postendodontischen Versorgung im Rahmen der Langzeit-Nachbeobachtung der randomisierten klinischen Studie untersucht. Es zeigte sich, dass die Selbstaussage

unter Anwendung eines Fragebogens ein vielversprechender, weiter zu untersuchender Ansatz ist, wenn Patienten mit postendodontischen Restaurationen nicht an einer klinischen Nachuntersuchung teilnehmen können.

Auf Basis einer eigenen Literaturrecherche wurde eine Serie von In-vitro-Untersuchungen erarbeitet, um direkte und indirekte Kompositrestaurationen unter Berücksichtigung verschiedener Zahnhartsubstanzdefekte und der Insertion glasfaserverstärkter Aufbaustifte nach thermomechanischer dynamischer und anschließender linearer Belastung zu evaluieren. Dabei zeigte sich, dass endodontisch behandelte Frontzähne mit bis zu zwei Klasse-III-Kavitäten bei Versorgung mit direkten Komposit-Restaurationen adäquate Belastbarkeitswerte zeigen. Die Verwendung von Aufbaustiften hatte dabei keinen die Belastbarkeit steigernden Effekt. Bei stark ausgedehnten Frontzahndefekten mit vollständig fehlenden Kavitätenwänden war für direkte Restaurationen eine signifikant verringerte Belastbarkeit messbar. Die Anwendung eines Aufbaustiftes hatte dabei einen deutlich belastbarkeitssteigernden Effekt. Im Vergleich mit Kronenrestaurationen erzielten bei mesialen und distalen Klasse-III-Kavitäten endodontisch behandelte Frontzähne mit direkten Kompositrestaurationen gleiche Belastbarkeitswerte. Die Kombination von Kompositfüllungen mit Veneer-Restaurationen zeigte hohe Belastbarkeitswerte und stellte sich als vielversprechendes, weiter zu untersuchendes Konzept dar.

5 Literaturnachweise

- [1] B.E. Pjetursson, K. Tan, N.P. Lang, U. Bragger, M. Egger, M. Zwahlen, A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years IV. Cantilever or extension FPDs, *Clinical oral implants research* 15(6) (2004) 667-676.
- [2] K. Tan, B.E. Pjetursson, N.P. Lang, E.S. Chan, A systematic review of the survival and complication rates of fixed partial dentures (FPDs) after an observation period of at least 5 years, *Clinical oral implants research* 15(6) (2004) 654-66.
- [3] G. Adolphi, M. Zehnder, L.M. Bachmann, T.N. Gohring, Direct resin composite restorations in vital versus root-filled posterior teeth: a controlled comparative long-term follow-up, *Operative dentistry* 32(5) (2007) 437-42.
- [4] E. Lempel, B.V. Lovasz, E. Bihari, K. Krajczar, S. Jeges, A. Toth, J. Szalma, Long-term clinical evaluation of direct resin composite restorations in vital vs. endodontically treated posterior teeth - Retrospective study up to 13 years, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 35(9) (2019) 1308-1318.
- [5] I. Peroz, F. Blankenstein, K.P. Lange, M. Naumann, Restoring endodontically treated teeth with posts and cores--a review, *Quintessence Int* 36(9) (2005) 737-46.
- [6] K. Bitter, J. Noetzel, O. Stamm, J. Vaudt, H. Meyer-Lueckel, K. Neumann, A.M. Kielbassa, Randomized clinical trial comparing the effects of post placement on failure rate of postendodontic restorations: preliminary results of a mean period of 32 months, *Journal of endodontics* 35(11) (2009) 1477-82.
- [7] K.I. Afrashtehfar, E. Emami, M. Ahmadi, O. Eilayyan, S. Abi-Nader, F. Tamimi, Failure rate of single-unit restorations on posterior vital teeth: A systematic review, *The Journal of prosthetic dentistry* 117(3) (2017) 345-353 e8.
- [8] H.A. Ray, M. Trope, Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration, *International endodontic journal* 28(1) (1995) 12-8.
- [9] E.S.o. Endodontology, Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology, *International endodontic journal* 39(12) (2006) 921-30.
- [10] G. Bergenholtz, Assessment of treatment failure in endodontic therapy, *Journal of oral rehabilitation* 43(10) (2016) 753-8.
- [11] M.K. Iqbal, A.A. Johansson, R.F. Akeel, A. Bergenholtz, R. Omar, A retrospective analysis of factors associated with the periapical status of restored, endodontically treated teeth, *The International journal of prosthodontics* 16(1) (2003) 31-8.
- [12] R.S. Schwartz, J.W. Robbins, Post placement and restoration of endodontically treated teeth: a literature review, *Journal of endodontics* 30(5) (2004) 289-301.
- [13] B.M. Gillen, S.W. Looney, L.S. Gu, B.A. Loushine, R.N. Weller, R.J. Loushine, D.H. Pashley, F.R. Tay, Impact of the quality of coronal restoration versus the quality of root canal fillings on success of root canal treatment: a systematic review and meta-analysis, *Journal of endodontics* 37(7) (2011) 895-902.
- [14] C.J. Goodacre, G. Bernal, K. Rungcharassaeng, J.Y. Kan, Clinical complications in fixed prosthodontics, *The Journal of prosthetic dentistry* 90(1) (2003) 31-41.
- [15] P.K. Wegner, S. Freitag, M. Kern, Survival rate of endodontically treated teeth with posts after prosthetic restoration, *Journal of endodontics* 32(10) (2006) 928-31.

- [16] E.S. Reeh, H.H. Messer, W.H. Douglas, Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures, *Journal of endodontics* 15(11) (1989) 512-6.
- [17] O.H. Ikram, S. Patel, S. Sauro, F. Mannocci, Micro-computed tomography of tooth tissue volume changes following endodontic procedures and post space preparation, *International endodontic journal* 42(12) (2009) 1071-6.
- [18] M.A. Carvalho, P.C. Lazari, M. Gresnigt, A.A. Del Bel Cury, P. Magne, Current options concerning the endodontically-treated teeth restoration with the adhesive approach, *Braz Oral Res* 32(suppl 1) (2018) e74.
- [19] Q. Jiang, Y. Huang, X. Tu, Z. Li, Y. He, X. Yang, Biomechanical Properties of First Maxillary Molars with Different Endodontic Cavities: A Finite Element Analysis, *Journal of endodontics* 44(8) (2018) 1283-1288.
- [20] Y. Zhang, Y. Liu, Y. She, Y. Liang, F. Xu, C. Fang, The Effect of Endodontic Access Cavities on Fracture Resistance of First Maxillary Molar Using the Extended Finite Element Method, *Journal of endodontics* 45(3) (2019) 316-321.
- [21] C. Verissimo, P.C. Simamoto Junior, C.J. Soares, P.Y. Noritomi, P.C. Santos-Filho, Effect of the crown, post, and remaining coronal dentin on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary central incisors, *The Journal of prosthetic dentistry* 111(3) (2014) 234-46.
- [22] D. Pedrollo Lise, A. Van Ende, J. De Munck, T.Y. Umeda Suzuki, L.C. Cardoso Vieira, B. Van Meerbeek, Biomechanical behavior of endodontically treated premolars using different preparation designs and CAD/CAM materials, *Journal of dentistry* 59 (2017) 54-61.
- [23] J.P.M. Tribst, A.M.O. Dal Piva, C.F.L. Madruga, M.C. Valera, A.L.S. Borges, E. Bresciani, R.M. de Melo, Endocrown restorations: Influence of dental remnant and restorative material on stress distribution, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 34(10) (2018) 1466-1473.
- [24] L. Zhou, Q. Wang, Comparison of fracture resistance between cast posts and fiber posts: a meta-analysis of literature, *Journal of endodontics* 39(1) (2013) 11-5.
- [25] D. Teshigawara, T. Ino, H. Otsuka, T. Isogai, M. Fujisawa, Influence of elastic modulus mismatch between dentin and post-and-core on sequential bonding failure, *J Prosthodont Res* 63(2) (2019) 227-231.
- [26] K. Randow, P.O. Glantz, On cantilever loading of vital and non-vital teeth. An experimental clinical study, *Acta odontologica Scandinavica* 44(5) (1986) 271-7.
- [27] B.J. Schneider, S. Freitag-Wolf, M. Kern, Tactile sensitivity of vital and endodontically treated teeth, *Journal of dentistry* 42(11) (2014) 1422-7.
- [28] M. Naumann, K.-P. Lange, Ansichten und Techniken zur Rekonstruktion endodontisch behandelter Zähne- eine Umfrage unter Zahnärzten im Bundesgebiet., *DZZ* 58(8) (2003) 280-285.
- [29] M. Koelpin, G. Sterzenbach, M. Naumann, Composite filling or single crown? The clinical dilemma of how to restore endodontically treated teeth, *Quintessence Int* 45(6) (2014) 457-66.
- [30] N.J. Opdam, E.M. Bronkhorst, B.A. Loomans, M.C. Huysmans, 12-year survival of composite vs. amalgam restorations, *Journal of dental research* 89(10) (2010) 1063-7.
- [31] T. Dammaschke, K. Nykiel, D. Sagheri, E. Schafer, Influence of coronal restorations on the fracture resistance of root canal-treated premolar and molar teeth: a retrospective study, *Australian endodontic journal : the journal of the Australian Society of Endodontology Inc* 39(2) (2013) 48-56.

- [32] N. Kramer, C. Reinelt, R. Frankenberger, Ten-year Clinical Performance of Posterior Resin Composite Restorations, *The journal of adhesive dentistry* 17(5) (2015) 433-41.
- [33] T. Serin Kalay, T. Yildirim, M. Ulker, Effects of different cusp coverage restorations on the fracture resistance of endodontically treated maxillary premolars, *The Journal of prosthetic dentistry* 116(3) (2016) 404-10.
- [34] V.A. Mergulhao, L.S. de Mendonca, M.S. de Albuquerque, R. Braz, Fracture Resistance of Endodontically Treated Maxillary Premolars Restored With Different Methods, *Operative dentistry* 44(1) (2019) E1-E11.
- [35] F. Mannocci, E. Bertelli, M. Sherriff, T.F. Watson, T.R. Ford, Three-year clinical comparison of survival of endodontically treated teeth restored with either full cast coverage or with direct composite restoration, *The Journal of prosthetic dentistry* 88(3) (2002) 297-301.
- [36] P. Sequeira-Byron, Z. Fedorowicz, B. Carter, M. Nasser, E.F. Alrowaili, Single crowns versus conventional fillings for the restoration of root-filled teeth, *Cochrane Database Syst Rev* (9) (2015) CD009109.
- [37] W. Suksaphar, D. Banomyong, T. Jirathanyanatt, Y. Ngoenwiwatkul, Survival rates against fracture of endodontically treated posterior teeth restored with full-coverage crowns or resin composite restorations: a systematic review, *Restorative dentistry & endodontics* 42(3) (2017) 157-167.
- [38] H.D. Edelhoff D , Kern M , Weigl P, Aufbau endodontisch behandelter Zähne, *Dtsch Zahnärztl Z* 58 (2003) 199-201.
- [39] F. Murphy, A. McDonald, A. Petrie, G. Palmer, D. Setchell, Coronal tooth structure in root-treated teeth prepared for complete and partial coverage restorations, *Journal of oral rehabilitation* 36(6) (2009) 451-61.
- [40] S.A. Aquilino, D.J. Caplan, Relationship between crown placement and the survival of endodontically treated teeth, *The Journal of prosthetic dentistry* 87(3) (2002) 256-63.
- [41] W.A. Fokkinga, C.M. Kreulen, E.M. Bronkhorst, N.H. Creugers, Up to 17-year controlled clinical study on post-and-cores and covering crowns, *Journal of dentistry* 35(10) (2007) 778-86.
- [42] J.A. Skupien, M.S. Cenci, N.J. Opdam, C.M. Kreulen, M.C. Huysmans, T. Pereira-Cenci, Crown vs. composite for post-retained restorations: A randomized clinical trial, *Journal of dentistry* 48 (2016) 34-9.
- [43] J.W. Robbins, Guidelines for the restoration of endodontically treated teeth, *J Am Dent Assoc* 120(5) (1990) 558, 560, 562 passim.
- [44] C.J. Goodacre, K.J. Spolnik, The prosthodontic management of endodontically treated teeth: a literature review. Part I. Success and failure data, treatment concepts, *Journal of prosthodontics : official journal of the American College of Prosthodontists* 3(4) (1994) 243-50.
- [45] M. Naumann, K.W. Neuhaus, M. Kolpin, R. Seemann, Why, when, and how general practitioners restore endodontically treated teeth: a representative survey in Germany, *Clinical oral investigations* 20(2) (2016) 253-9.
- [46] The Glossary of Prosthodontic Terms: Ninth Edition, *The Journal of prosthetic dentistry* 117(5S) (2017) e1-e105.
- [47] M. Naumann, Rekonstruktion endodontisch behandelter Zähne – glasfaserverstärkte Aufbaustifte in vivo und in vitro, *Medizinische Fakultät Charité - Universitätsmedizin Berlin*, Berlin, 2007.
- [48] K. P, *Das Kurer Anker System.*, Quintessenz, Berlin, 1986.

- [49] J.P. Standlee, A.A. Caputo, E.C. Hanson, Retention of endodontic dowels: effects of cement, dowel length, diameter, and design, *The Journal of prosthetic dentistry* 39(4) (1978) 400-5.
- [50] J.P. Standlee, A.A. Caputo, J. Holcomb, K.C. Trabert, The retentive and stress-distributing properties of a threaded endodontic dowel, *The Journal of prosthetic dentistry* 44(4) (1980) 398-404.
- [51] M. Naumann, M. Kölpin, Sind schraubenförmige Aufbaustifte noch zeitgemäß?, *Quintessenz* 62(3) (2011) 337-346.
- [52] M. Naumann, Postendodontische Versorgung, *Zahnmedizin up2date* 4 4(4) (2010) 395-412.
- [53] B. Bergman, P. Lundquist, U. Sjogren, G. Sundquist, Restorative and endodontic results after treatment with cast posts and cores, *The Journal of prosthetic dentistry* 61(1) (1989) 10-5.
- [54] S. Ellner, T. Bergendal, B. Bergman, Four post-and-core combinations as abutments for fixed single crowns: a prospective up to 10-year study, *The International journal of prosthodontics* 16(3) (2003) 249-54.
- [55] M. Balkenhol, B. Wostmann, C. Rein, P. Ferger, Survival time of cast post and cores: a 10-year retrospective study, *Journal of dentistry* 35(1) (2007) 50-8.
- [56] F. Zicari, B. Van Meerbeek, E. Debels, E. Lesaffre, I. Naert, An up to 3-Year Controlled Clinical Trial Comparing the Outcome of Glass Fiber Posts and Composite Cores with Gold Alloy-Based Posts and Cores for the Restoration of Endodontically Treated Teeth, *The International journal of prosthodontics* 24(4) (2011) 363-72.
- [57] S. Habibzadeh, H.R. Rajati, H. Hajmiragha, S. Esmailzadeh, M. Kharazifard, Fracture resistances of zirconia, cast Ni-Cr, and fiber-glass composite posts under all-ceramic crowns in endodontically treated premolars, *The journal of advanced prosthodontics* 9(3) (2017) 170-175.
- [58] R.E. Jung, O. Kalkstein, I. Sailer, M. Roos, C.H. Hammerle, A comparison of composite post buildups and cast gold post-and-core buildups for the restoration of nonvital teeth after 5 to 10 years, *The International journal of prosthodontics* 20(1) (2007) 63-9.
- [59] B. Akkayan, T. Gulmez, Resistance to fracture of endodontically treated teeth restored with different post systems, *The Journal of prosthetic dentistry* 87(4) (2002) 431-7.
- [60] M. Hülsmann, *Endodontie, Checklisten der Zahnmedizin* (Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, New York) (2008) 20.
- [61] R. Marxkors, H. Meiners, *Taschenbuch der zahnärztlichen Werkstoffkunde*, Deutscher Zahnärzte Verlag, DÄV-Hanser 5. Auflage (ISBN 3-934280-16-1) (2001) 310.
- [62] B. Duret, M. Reynaud, F. Duret, [New concept of coronoradicular reconstruction: the Compositopost (1)], *Le Chirurgien-dentiste de France* 60(540) (1990) 131-41 contd.
- [63] E. Asmussen, A. Peutzfeldt, T. Heitmann, Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts, *Journal of dentistry* 27(4) (1999) 275-8.
- [64] J.M. Bae, K.N. Kim, M. Hattori, K. Hasegawa, M. Yoshinari, E. Kawada, Y. Oda, The flexural properties of fiber-reinforced composite with light-polymerized polymer matrix, *The International journal of prosthodontics* 14(1) (2001) 33-9.
- [65] G. Bateman, D.N. Ricketts, W.P. Saunders, Fibre-based post systems: a review, *British dental journal* 195(1) (2003) 43-8; discussion 37.

- [66] K. Bitter, A.M. Kielbassa, Post-endodontic restorations with adhesively luted fiber-reinforced composite post systems: a review, *American journal of dentistry* 20(6) (2007) 353-60.
- [67] F. Isidor, P. Odman, K. Brondum, Intermittent loading of teeth restored using prefabricated carbon fiber posts, *The International journal of prosthodontics* 9(2) (1996) 131-6.
- [68] C.G. Raygot, J. Chai, D.L. Jameson, Fracture resistance and primary failure mode of endodontically treated teeth restored with a carbon fiber-reinforced resin post system in vitro, *The International journal of prosthodontics* 14(2) (2001) 141-5.
- [69] P.A. King, D.J. Setchell, J.S. Rees, Clinical evaluation of a carbon fibre reinforced carbon endodontic post, *Journal of oral rehabilitation* 30(8) (2003) 785-9.
- [70] M. Fredriksson, J. Astback, M. Pamenius, K. Arvidson, A retrospective study of 236 patients with teeth restored by carbon fiber-reinforced epoxy resin posts, *The Journal of prosthetic dentistry* 80(2) (1998) 151-7.
- [71] F. Mannocci, M. Ferrari, T.F. Watson, Intermittent loading of teeth restored using quartz fiber, carbon-quartz fiber, and zirconium dioxide ceramic root canal posts, *The journal of adhesive dentistry* 1(2) (1999) 153-8.
- [72] S. Malferrari, C. Monaco, R. Scotti, Clinical evaluation of teeth restored with quartz fiber-reinforced epoxy resin posts, *The International journal of prosthodontics* 16(1) (2003) 39-44.
- [73] C. Goracci, M. Ferrari, Current perspectives on post systems: a literature review, *Australian dental journal* 56 Suppl 1 (2011) 77-83.
- [74] C.J. Soares, A.D. Valdivia, G.R. da Silva, F.R. Santana, S. Menezes Mde, Longitudinal clinical evaluation of post systems: a literature review, *Braz Dent J* 23(2) (2012) 135-740.
- [75] P.P. Shetty, R. Meshramkar, K.N. Patil, R.K. Nadiger, A finite element analysis for a comparative evaluation of stress with two commonly used esthetic posts, *Eur J Dent* 7(4) (2013) 419-22.
- [76] L.V. Lassila, J. Tanner, A.M. Le Bell, K. Narva, P.K. Vallittu, Flexural properties of fiber reinforced root canal posts, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 20(1) (2004) 29-36.
- [77] P.C. Lazari, M.A. de Carvalho, A.A. Del Bel Cury, P. Magne, Survival of extensively damaged endodontically treated incisors restored with different types of posts-and-core foundation restoration material, *The Journal of prosthetic dentistry* 119(5) (2018) 769-776.
- [78] S. Nokar, M. Bahrami, A.S. Mostafavi, Comparative Evaluation of the Effect of Different Post and Core Materials on Stress Distribution in Radicular Dentin by Three-Dimensional Finite Element Analysis, *Journal of dentistry (Tehran, Iran)* 15(2) (2018) 69-78.
- [79] M. Naumann, S. Kiessling, R. Seemann, Treatment concepts for restoration of endodontically treated teeth: A nationwide survey of dentists in Germany, *The Journal of prosthetic dentistry* 96(5) (2006) 332-8.
- [80] K.H. Meyenberg, H. Luthy, P. Scharer, Zirconia posts: a new all-ceramic concept for nonvital abutment teeth, *J Esthet Dent* 7(2) (1995) 73-80.
- [81] Z. Ozkurt, E. Kazazoglu, Clinical success of zirconia in dental applications, *Journal of Prosthodontics* 19(1) (2010) 64-68.
- [82] M. Bateli, M. Kern, M. Wolkewitz, J.R. Strub, W. Att, A retrospective evaluation of teeth restored with zirconia ceramic posts: 10-year results, *Clinical oral investigations* 18(4) (2014) 1181-1187.

- [83] C. Abert, Die kritische Wertung der Bestimmung der kritischen Risszähigkeit von Zirkoniumdioxidsinterkeramik mit der Indenter- Technik, Dissertationsschrift Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin (2009) 10.
- [84] T. Castrisos, P.V. Abbott, A survey of methods used for post removal in specialist endodontic practice, *International endodontic journal* 35(2) (2002) 172-80.
- [85] J.D. Satterthwaite, A.N. Stokes, Dentinal crack incidence following ultrasonic vibration to intra-radicular posts, *N Z Dent J* 100(4) (2004) 105-9.
- [86] F.P. Nothdurft, P.R. Pospiech, Clinical evaluation of pulpless teeth restored with conventionally cemented zirconia posts: a pilot study, *The Journal of prosthetic dentistry* 95(4) (2006) 311-4.
- [87] D. Dietschi, O. Duc, I. Krejci, A. Sadan, 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) (2008) 117-29.
- [88] C. Parisi, L.F. Valandro, L. Ciocca, M.R. Gatto, P. Baldissara, Clinical outcomes and success rates of quartz fiber post restorations: A retrospective study, *The Journal of prosthetic dentistry* 114(3) (2015) 367-72.
- [89] X. Wang, X. Shu, Y. Zhang, B. Yang, Y. Jian, K. Zhao, Evaluation of fiber posts vs metal posts for restoring severely damaged endodontically treated teeth: a systematic review and meta-analysis, *Quintessence Int* 50(1) (2019) 8-20.
- [90] M. Del Fabbro, S. Taschieri, G. Lodi, G. Banfi, R.L. Weinstein, Magnification devices for endodontic therapy, *Cochrane Database Syst Rev* (12) (2015) CD005969.
- [91] J.H. Kinney, S.J. Marshall, G.W. Marshall, The mechanical properties of human dentin: a critical review and re-evaluation of the dental literature, *Critical reviews in oral biology and medicine : an official publication of the American Association of Oral Biologists* 14(1) (2003) 13-29.
- [92] Y. Malyk, C. Kaaden, R. Hickel, N. Ilie, Analysis of resin tags formation in root canal dentine: a cross sectional study, *International endodontic journal* 43(1) (2010) 47-56.
- [93] J. Perdigo, Dentin/enamel bonding, *Journal of esthetic and restorative dentistry : official publication of the American Academy of Esthetic Dentistry ... [et al.]* 22(2) (2010) 82-5.
- [94] G. Sterzenbach, Die post-endodontische Rekonstruktion als sekundärer Monoblock bei ausgeprägtem Zahnhartsubstanzverlust, Habilitationsschrift CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
Institut für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre(Charité – Universitätsmedizin Berlin) (2016) 15-16.
- [95] D.H. Pashley, F.R. Tay, L. Breschi, L. Tjaderhane, R.M. Carvalho, M. Carrilho, A. Tezvergil-Mutluay, State of the art etch-and-rinse adhesives, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 27(1) (2011) 1-16.
- [96] B. Van Meerbeek, K. Yoshihara, Y. Yoshida, A. Mine, J. De Munck, K.L. Van Landuyt, State of the art of self-etch adhesives, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 27(1) (2011) 17-28.
- [97] J. De Munck, M. Vargas, K. Van Landuyt, K. Hikita, P. Lambrechts, B. Van Meerbeek, Bonding of an auto-adhesive luting material to enamel and dentin, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 20(10) (2004) 963-71.

- [98] H.U. Gerth, T. Dammaschke, H. Zuchner, E. Schafer, Chemical analysis and bonding reaction of RelyX Unicem and Bifix composites--a comparative study, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 22(10) (2006) 934-41.
- [99] K. Bitter, A. Hambarayan, K. Neumann, U. Blunck, G. Sterzenbach, Various irrigation protocols for final rinse to improve bond strengths of fiber posts inside the root canal, *European journal of oral sciences* 121(4) (2013) 349-54.
- [100] J.L. Ferracane, J.W. Stansbury, F.J. Burke, Self-adhesive resin cements - chemistry, properties and clinical considerations, *Journal of oral rehabilitation* 38(4) (2011) 295-314.
- [101] G. Sterzenbach, G. Karajouli, M. Naumann, I. Peroz, K. Bitter, Fiber post placement with core build-up materials or resin cements-an evaluation of different adhesive approaches, *Acta odontologica Scandinavica* 70(5) (2012) 368-76.
- [102] L.O.-W. Premium, <https://owb.langenscheidt.com/>, *Fachwörterbuch Maschinen- und Anlagenbau, Fachwörterbuch Technik* (Zugriff über medizinische Bibliothek Charité - Universitätsmedizin Berlin am 21.10.2019).
- [103] M. Kölpin, Postendodontische Restaurationen mit glasfaserverstärkten Aufbaustiften - eine prospektive klinische Beobachtungsstudie., *Open Access Repositorium der Universität Ulm Dissertation* (<http://dx.doi.org/10.18725/OPARU-3432>) (2014).
- [104] J.A. Sorensen, M.J. Engelman, Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth, *The Journal of prosthetic dentistry* 63(5) (1990) 529-36.
- [105] N.R. Stankiewicz, P.R. Wilson, The ferrule effect: a literature review, *International endodontic journal* 35(7) (2002) 575-81.
- [106] H. Rosen, Operative procedures on mutilated endodontically treated teeth, *J Pros Dent* 11 (1961) 973-986.
- [107] H. Rosen, M. Partida-Rivera, Iatrogenic fracture of roots reinforced with a cervical collar, *Operative dentistry* 11(2) (1986) 46-50.
- [108] J. Juloski, I. Radovic, C. Goracci, Z.R. Vulicevic, M. Ferrari, Ferrule effect: a literature review, *Journal of endodontics* 38(1) (2012) 11-9.
- [109] B. Dejak, A. Mlotkowski, The influence of ferrule effect and length of cast and FRC posts on the stresses in anterior teeth, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 29(9) (2013) e227-37.
- [110] P. Magne, P.C. Lazari, M.A. Carvalho, T. Johnson, A.A. Del Bel Cury, Ferrule-Effect Dominates Over Use of a Fiber Post When Restoring Endodontically Treated Incisors: An In Vitro Study, *Operative dentistry* 42(4) (2017) 396-406.
- [111] M. Naumann, M. Schmitter, R. Frankenberger, G. Krastl, "Ferrule Comes First. Post Is Second!" Fake News and Alternative Facts? A Systematic Review, *Journal of endodontics* 44(2) (2018) 212-219.
- [112] J.A. Sorensen, J.T. Martinoff, Intracoronal reinforcement and coronal coverage: a study of endodontically treated teeth, *The Journal of prosthetic dentistry* 51(6) (1984) 780-4.
- [113] F. Mannocci, J. Cowie, Restoration of endodontically treated teeth, *British dental journal* 216(6) (2014) 341-6.
- [114] E.K. Hansen, E. Asmussen, N.C. Christiansen, In vivo fractures of endodontically treated posterior teeth restored with amalgam, *Endodontics & dental traumatology* 6(2) (1990) 49-55.
- [115] I. Krejci, O. Duc, D. Dietschi, E. de Campos, Marginal adaptation, retention and fracture resistance of adhesive composite restorations on devital teeth with and without posts, *Operative dentistry* 28(2) (2003) 127-35.

- [116] Z. Fedorowicz, B. Carter, R.F. de Souza, C.A. Chaves, M. Nasser, P. Sequeira-Byron, Single crowns versus conventional fillings for the restoration of root filled teeth, *Cochrane Database Syst Rev* 5 (2012) CD009109.
- [117] M. Naumann, M. Koelpin, F. Beuer, H. Meyer-Lueckel, 10-year survival evaluation for glass-fiber-supported postendodontic restoration: a prospective observational clinical study, *Journal of endodontics* 38(4) (2012) 432-5.
- [118] M. Bolla, M. Muller-Bolla, C. Borg, L. Lupi-Pegurier, O. Laplanche, E. Leforestier, Root canal posts for the restoration of root filled teeth, *Cochrane Database Syst Rev* (1) (2007) CD004623.
- [119] K. Balto, Root-filled teeth with adequate restorations and root canal treatment have better treatment outcomes, *Evid Based Dent* 12(3) (2011) 72-3.
- [120] M.K. McGuire, M.E. Nunn, Prognosis versus actual outcome. III. The effectiveness of clinical parameters in accurately predicting tooth survival, *Journal of periodontology* 67(7) (1996) 666-74.
- [121] M.S. Fewtrell, K. Kennedy, A. Singhal, R.M. Martin, A. Ness, M. Hadders-Algra, B. Koletzko, A. Lucas, How much loss to follow-up is acceptable in long-term randomised trials and prospective studies?, *Archives of Disease in Childhood* 93(6) (2008) 458-61.
- [122] M. Naumann, Restorative procedures: effect on the mechanical integrity of root-filled teeth, *Endodontic Topics* 33 (2015) 73-86.
- [123] A. Torbjorner, S. Karlsson, P.A. Odman, Survival rate and failure characteristics for two post designs, *The Journal of prosthetic dentistry* 73(5) (1995) 439-44.
- [124] J.C. Mancebo, E. Jimenez-Castellanos, D. Canadas, Effect of tooth type and ferrule on the survival of pulpless teeth restored with fiber posts: a 3-year clinical study, *American journal of dentistry* 23(6) (2010) 351-6.
- [125] M. Schmitter, K. Hamadi, P. Rammelsberg, Survival of two post systems--five-year results of a randomized clinical trial, *Quintessence International* 42(10) (2011) 843-50.
- [126] M. Ferrari, M.C. Cagidiaco, S. Grandini, M. De Sanctis, C. Goracci, Post placement affects survival of endodontically treated premolars, *Journal of dental research* 86(8) (2007) 729-34.
- [127] N.H. Creugers, A.G. Mentink, W.A. Fokkinga, C.M. Kreulen, 5-year follow-up of a prospective clinical study on various types of core restorations, *The International journal of prosthodontics* 18(1) (2005) 34-9.
- [128] F. Monticelli, S. Grandini, C. Goracci, M. Ferrari, Clinical behavior of translucent-fiber posts: a 2-year prospective study, *The International journal of prosthodontics* 16(6) (2003) 593-6.
- [129] R. Sarkis-Onofre, R.C. Jacinto, N. Boscato, M.S. Cenci, T. Pereira-Cenci, Cast metal vs. glass fibre posts: a randomized controlled trial with up to 3 years of follow up, *Journal of dentistry* 42(5) (2014) 582-7.
- [130] M. Ferrari, A. Vichi, G.M. Fadda, M.C. Cagidiaco, F.R. Tay, L. Breschi, A. Polimeni, C. Goracci, A randomized controlled trial of endodontically treated and restored premolars, *Journal of dental research* 91(7 Suppl) (2012) 72S-78S.
- [131] M. Naumann, G. Sterzenbach, T. Dietrich, K. Bitter, R. Frankenberger, M. von Stein-Lausnitz, Dentin-like versus Rigid Endodontic Post: 11-year Randomized Controlled Pilot Trial on No-wall to 2-wall Defects, *Journal of endodontics* 43(11) (2017) 1770-1775.

- [132] P.A. King, D.J. Setchell, An in vitro evaluation of a prototype CFRC prefabricated post developed for the restoration of pulpless teeth, *Journal of oral rehabilitation* 17(6) (1990) 599-609.
- [133] A. Torbjorner, B. Fransson, Biomechanical aspects of prosthetic treatment of structurally compromised teeth, *The International journal of prosthodontics* 17(2) (2004) 135-41.
- [134] S. Eliasson, J. Bergstrom, A. Sanda, Periodontal bone loss of teeth with metal posts. A radiographic study, *Journal of clinical periodontology* 22(11) (1995) 850-3.
- [135] S. Katsamakis, M. Timmerman, U. Van der Velden, M. de Cleen, F. Van der Weijden, Patterns of bone loss around teeth restored with endodontic posts, *Journal of clinical periodontology* 36(11) (2009) 940-9.
- [136] Z. Hirschfeld, N. Stern, Post and core--the biomechanical aspect, *Australian dental journal* 17(6) (1972) 467-8.
- [137] R.A. Reinhardt, R.F. Krejci, Y.C. Pao, J.G. Stannard, Dentin stresses in post-reconstructed teeth with diminishing bone support, *Journal of dental research* 62(9) (1983) 1002-8.
- [138] M.G. Roscoe, P.Y. Noritomi, V.R. Novais, C.J. Soares, Influence of alveolar bone loss, post type, and ferrule presence on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary canines: strain measurement and stress distribution, *The Journal of prosthetic dentistry* 110(2) (2013) 116-26.
- [139] M.F. Timmerman, G.A. Van der Weijden, Bone level around endodontically treated teeth in periodontitis patients, *Journal of clinical periodontology* 33(9) (2006) 620-5.
- [140] D. Adyani-Fard, T.S. Kim, P. Eickholz, Interproximal bone loss at contra-lateral teeth with and without root canal filling in periodontitis patients, *Journal of clinical periodontology* 38(3) (2011) 269-75.
- [141] T. Albrektsson, T. Jansson, U. Lekholm, Osseointegrated dental implants, *Dental clinics of North America* 30(1) (1986) 151-174.
- [142] P. Astrand, B. Engquist, S. Dahlgren, K. Grondahl, E. Engquist, H. Feldmann, Astra Tech and Branemark system implants: a 5-year prospective study of marginal bone reactions, *Clinical oral implants research* 15(4) (2004) 413-420.
- [143] E. Romeo, D. Lops, E. Margutti, M. Ghisolfi, M. Chiapasco, G. Vogel, Long-term survival and success of oral implants in the treatment of full and partial arches: a 7-year prospective study with the ITI dental implant system, *Int J Oral Maxillofac Implants* 19(2) (2004) 247-59.
- [144] M. Naumann, G. Heydecke, T. Joda, Prothetische Rehabilitation im parodontal geschädigten (aber sanierten) Gebiss, *Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGZPW)* (2010).
- [145] G. Heydecke, E.J. Richter, H. Seedorf, Festsitzender Zahnersatz für zahnbegrenzte Lücken, *Wissenschaftliche Mitteilung der Deutschen Gesellschaft für Zahnärztliche Prothetik und Werkstoffkunde (DGZPW)* (2008).
- [146] A.D. Valdivia, L.H. Raposo, P.C. Simamoto-Junior, V.R. Novais, C.J. Soares, The effect of fiber post presence and restorative technique on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary incisors: an in vitro study, *The Journal of prosthetic dentistry* 108(3) (2012) 147-57.
- [147] M. Vadini, F. De Angelis, M. D'Amario, G. Marzo, M. Baldi, C. D'Arcangelo, Conservative restorations of endodontically compromised anterior teeth in paediatric patients: physical and mechanical considerations, *Eur J Paediatr Dent* 13(3 Suppl) (2012) 263-7.

- [148] M. Abduljawad, A. Samran, J. Kadour, M. Al-Afandi, M. Ghazal, M. Kern, Effect of fiber posts on the fracture resistance of endodontically treated anterior teeth with cervical cavities: An in vitro study, *The Journal of prosthetic dentistry* 116(1) (2016) 80-4.
- [149] M. Abduljawad, A. Samran, J. Kadour, W. Karzoun, M. Kern, Effect of fiber posts on the fracture resistance of maxillary central incisors with class III restorations: An in vitro study, *The Journal of prosthetic dentistry* (2016).
- [150] C. D'Arcangelo, F. De Angelis, M. Vadini, S. Zazzeroni, C. Ciampoli, M. D'Amario, In vitro fracture resistance and deflection of pulpless teeth restored with fiber posts and prepared for veneers, *Journal of endodontics* 34(7) (2008) 838-41.
- [151] C. D'Arcangelo, F. De Angelis, M. Vadini, M. D'Amario, S. Caputi, Fracture resistance and deflection of pulpless anterior teeth restored with composite or porcelain veneers, *Journal of endodontics* 36(1) (2010) 153-6.
- [152] G. Heydecke, M.C. Peters, The restoration of endodontically treated, single-rooted teeth with cast or direct posts and cores: a systematic review, *The Journal of prosthetic dentistry* 87(4) (2002) 380-6.
- [153] M. Naumann, A. Preuss, M. Rosentritt, 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 odontologica Scandinavica* 64(1) (2006) 31-6.
- [154] A. Ramirez-Sebastia, T. Bortolotto, M. Cattani-Lorente, L. Giner, M. Roig, I. Krejci, Adhesive restoration of anterior endodontically treated teeth: influence of post length on fracture strength, *Clinical oral investigations* 18(2) (2014) 545-54.
- [155] N. Scotti, C. Eruli, A. Comba, D.S. Paolino, M. Alovise, D. Pasqualini, E. Berutti, Longevity of class 2 direct restorations in root-filled teeth: A retrospective clinical study, *Journal of dentistry* 43(5) (2015) 499-505.
- [156] K.A. Guldener, C.L. Lanzrein, B.E. Siegrist Guldener, N.P. Lang, C.A. Ramseier, G.E. Salvi, Long-term Clinical Outcomes of Endodontically Treated Teeth Restored with or without Fiber Post-retained Single-unit Restorations, *Journal of endodontics* 43(2) (2017) 188-193.
- [157] M. Naumann, G. Sterzenbach, P. Proschel, Evaluation of load testing of postendodontic restorations in vitro: linear compressive loading, gradual cycling loading and chewing simulation, *J Biomed Mater Res B Appl Biomater* 74(2) (2005) 829-34.
- [158] G. Sterzenbach, M. Rosentritt, R. Frankenberger, S. Paris, M. Naumann, Loading standardization of postendodontic restorations in vitro: impact of restorative stage, static loading, and dynamic loading, *Operative dentistry* 37(1) (2012) 71-9.
- [159] M. Rosentritt, M. Behr, J.M. van der Zel, A.J. Feilzer, Approach for valuating the influence of laboratory simulation, *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials* 25(3) (2009) 348-52.
- [160] Y. Onel, A. Lange, A. Staude, K. Ehrig, A. Kupsch, M.P. Hentschel, T. Wolk, B.R. Müller, G. Bruno, Evaluating Porosity in Cordierite Diesel Particulate Filter Materials, Part 2 Statistical Analysis of Computed Tomography Data, *J.Ceram.Sci.Tech.* 05(01) (2013) 13-22.

6 Votum der Ethikkommission

Das Studienprotokoll der randomisierten klinischen Studie wurde von der Ethikkommission der Charité-Universitätsmedizin Berlin bestätigt (CCM 03.02.2003 RelyX Unicem). Die Untersuchung wurde entsprechend des CONSORT 2010 Statement durchgeführt und ausgewertet (Schulz Altman et al. 2010) und ist registriert in der Datenbank *clinicaltrials.gov*, Nummer NCT01520766.

7 Danksagung

Mein Dank gilt Prof. Dr. Florian Beuer, Direktor der Abteilung für Zahnärztliche Prothetik, Alterszahnmedizin und Funktionslehre. Lieber Florian, Du hast die Voraussetzungen geschaffen, die Forschungsprojekte umzusetzen und fortzuführen, hast mich stets motiviert und mich mit gezielten Hilfestellungen aktiv unterstützt. Für Deine Förderung und Dein Vertrauen bin ich sehr dankbar.

Ich danke Prof. Dr. Michael Naumann, meinem Doktorvater und wissenschaftlichen Mentor. Lieber Micha, Du hast mich von Anfang an für das Thema begeistert. Du hast Deine Ideen mit mir geteilt, mich mit erfahrenerm Blick beraten, stets ermuntert und immer wieder daran erinnert, nicht vom Ziel abzukommen. Für die unzähligen Stunden gemeinsamer Arbeit danke ich Dir. Deine Perspektiven und Gedanken beim Gespräch unterm Apfelbaum bedeuten mir sehr viel.

Mein weiterer Dank gilt Frau Oberärztin Prof. Dr. Ingrid Peroz. Liebe Ingrid, Du hast mir in der Zeit Deiner kommissarischen Leitung die Stelle als wissenschaftliche Mitarbeiterin gegeben, ohne welche ich den weiteren Weg nicht hätte gehen können. Du hast mich immer unterstützt und mir durch die Übertragung verantwortungsvoller Aufgaben Dein Zutrauen gezeigt. Darüber hinaus hast Du mir die Welt der Funktion eröffnet. Dafür danke ich Dir.

Danken möchte ich Herrn Priv.-Doz. Dr. Guido Sterzenbach. Lieber Guido, von Anfang an warst Du ein wertvoller Begleiter meiner Arbeit und hast mir durch Rat und Tat zur Seite gestanden. Die Zusammenarbeit in unseren gemeinsamen Projekten ist stets erfüllend und den Austausch mit Dir habe ich immer als große Bereicherung empfunden. Immer gern denke ich an mein Kongressdebüt zurück, bei welchem Du mir ein stärkender Begleiter warst.

Ich danke Frau Oberärztin Priv.-Doz. Dr. Kerstin Bitter. Liebe Kerstin, ich empfinde es als großes Glück, seit vielen Jahren mit Dir zusammen zu arbeiten. Du hast mir immer

Deine großzügige Unterstützung gegeben und mich auf besondere Art motiviert. Für die Teilhabe an Deiner Expertise und Deinen Erfahrungen bin ich Dir sehr dankbar.

Mein Dank gilt Frau Dr. Maria Bruhnke, Herrn ZA André Mehnert, Herrn Dr. Iven Helm und Herrn Dr. Steffen Schmid, welche durch ihre wertvolle Arbeit im Rahmen ihrer Promotionen einen entscheidenden Beitrag zum Entstehen der Publikationen geleistet haben.

Ich danke sehr herzlich allen Ko-Autoren für die bereichernde Zusammenarbeit.

Meinen Freunden danke ich für Ihr Verständnis, dass ich mich zeitweise sehr rar machte und wenig präsent war.

Meinen Eltern und meiner Schwester danke ich für die Kraft, die sie mir immer geben. Mein besonderer Dank gilt Dir, Axel. Dein Rückhalt und Dein Verständnis tragen mich stets.

ERKLÄRUNG

§ 4 Abs. 3 (k) der HabOMed der Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde,
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen und mit technischen Hilfskräften sowie die verwendete Literatur vollständig in der Habilitationsschrift angegeben wurden,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

Ich erkläre ferner, dass mir die Satzung der Charité – Universitätsmedizin Berlin zur Sicherung Guter Wissenschaftlicher Praxis bekannt ist und ich mich zur Einhaltung dieser Satzung verpflichte.

.....
Datum

.....
Unterschrift