

1. EINLEITUNG

Die Restauration endodontisch behandelter Zähne ist eine Routinebehandlung in der zahnärztlichen Praxis. Zwischen 70 % (1) und 97 % (2) der befragten Zahnärzte zweier Umfragen in den USA und der BRD gaben an, häufig, das heißt mehr als 30 endodontisch behandelte Zähne pro Jahr, restaurativ zu versorgen. Das Misserfolgsrisiko ist dabei beachtlich. Langzeitergebnisse zeigen, dass im größeren Umfang restaurierte endodontisch behandelte Zähne im Vergleich zu ebenfalls stark gefüllten, aber vitalen Zähnen ein mehr als dreimal so hohes Misserfolgsrisiko haben (3).

Zum Wiederaufbau verlorener Zahnhartsubstanz im Rahmen einer postendodontischen Versorgung werden heute gegossene oder konfektionierte Aufbaustifte verwendet (2). Der Trend geht dabei mehr und mehr in Richtung konfektionierter, nicht metallischer Materialien aus faserverstärktem Komposit. Die Idee, die Zahnwurzel für den Halt einer Krone zu benutzen, wurde bereits im 17. Jahrhundert von Fauchard beschrieben. Er inserierte Holzstifte in den Wurzelkanal, welche aber durch ihre Quellung Wurzelfrakturen verursachten. 1878 beschrieb Richmond die gleichnamige Krone als Einstückstiftaufbau. Erst durch die Verbesserung der endodontischen Therapie in den 1950-er Jahren wurde die Trennung von Krone und gegossenem Stiftstumpfaufbau (SSA) zur Routinemethode als logische Weiterentwicklung der Richmondkrone (4). Der gegossene SSA blieb für die nächsten 50 Jahre die Therapie der Wahl. Ende der 70-er Jahre des letzten Jahrhunderts wurden vermehrt konfektionierte Stiftsysteme propagiert (5). Aufbaustifte aus faserverstärkten Kompositmaterialien wurden explizit für die Indikation des postendodontischen Aufbaus erstmals im Jahr 1990 beschrieben (6, 7). Hierbei handelte es sich um karbonfaserverstärkte Stiftsysteme, welche durch ihre grau-schwarze Farbe ästhetisch unzureichend erschienen. Man versuchte dieses Problem durch Bedeckung der Stiftoberfläche mit weißen Quarzfasermaterialien zu lösen, bis man 1999 die Aufbaustifte erst vollständig aus quarz- und etwas später aus glasfaserverstärkten Kompositmaterialien herstellte.

Die Idee für die Verwendung faserverstärkter Materialien als Aufbaustifte basiert auf theoretischen Überlegungen, die ein Material mit einem dem Dentin ähnlichen Elastizitätsmodul (E-Modul) für vorteilhaft postulierten. Dieses gewebs- oder auch strukturkompatibel genannte Verhalten sollte unter Belastung eine Biegung des

gesamten Komplexes aus Zahn, postendodontischer und definitiver Versorgung entsprechend dem Dentin ermöglichen und dadurch klinisch konventionellen metallischen Stiftsystemen überlegen sein. Insbesondere die Vermeidung von Wurzelfrakturen steht argumentativ stets im Fordergrund, wobei ein dentinähnlicher E-Modul und Wurzelfrakturvermeidung synonym gebraucht werden. Methodisch vergleichbare In-vitro-Untersuchungen, welche den klinischen Einsatz rechtfertigen würden, fehlten allerdings. Die wenigen klinischen Untersuchungen wurden fast ausnahmslos mit karbon- oder quarzfaserverstärkten Aufbaustiftsystemen durchgeführt. Trotz ihrer stetig steigenden Verwendung in der zahnärztlichen Praxis waren verlässliche klinische Daten über die Überlebenswahrscheinlichkeit moderner glasfaserbasierter Aufbaustiftsysteme somit nicht bekannt.

Ziel dieser Habilitationsarbeit sollte es deshalb zu allererst sein, ein aussagekräftiges In-vitro-Modell zu entwickeln. Auf dessen Basis sollte dann, neben dem Einfluss der Defektausdehnung und des Fassreifeneffektes, die tatsächliche Bedeutung des E-Moduls des Aufbaustiftmaterials auf die Belastbarkeit und den Frakturmodus glasfaserverstärkter Kompositaufbaustifte systematisch studiert werden. Die Gültigkeit der in vitro gewonnenen Daten war dann klinisch zu prüfen.

Es wurde die Nullhypothese formuliert, dass der E-Modul der Aufbaustifte keinen signifikanten Einfluss auf die Belastbarkeit und den Frakturmodus von mit glasfaserverstärkten Kompositaufbaustiften postendodontisch versorgten Zähnen im Vergleich zu metallischen Aufbauten hat.

1.1. Indikation und Einteilung von Aufbaustiften

Zum Wiederaufbau eines endodontisch behandelten Zahnes ist, abhängig vom Zerstörungsgrad, das Einsetzen eines Aufbaustiftes in Kombination mit einem Aufbaumaterial notwendig (8). Die Academy of Prosthodontics definiert im aktuellen Glossary of Prosthodontic terms (9) einen Aufbaustift noch als Stift, der für gewöhnlich aus Metall gefertigt und in einem präparierten Wurzelkanal eines natürlichen Zahnes zementiert wird. In Kombination mit einem Aufbau und einer künstlichen Krone gewährleistet dieser Halt und Festigkeit für die Restauration (9). Der Aufbau wird zum Ersatz verloren gegangener Zahnhartsubstanz, je nach

System, als Teil eines SSA gegossen oder in Kombination mit einem konfektionierten Aufbaustift aus einem plastischen Restaurationsmaterial wie Komposit hergestellt. Der aus Aufbaustift und Aufbau bestehende Verbund wird als SSA bezeichnet (Abb. 1).

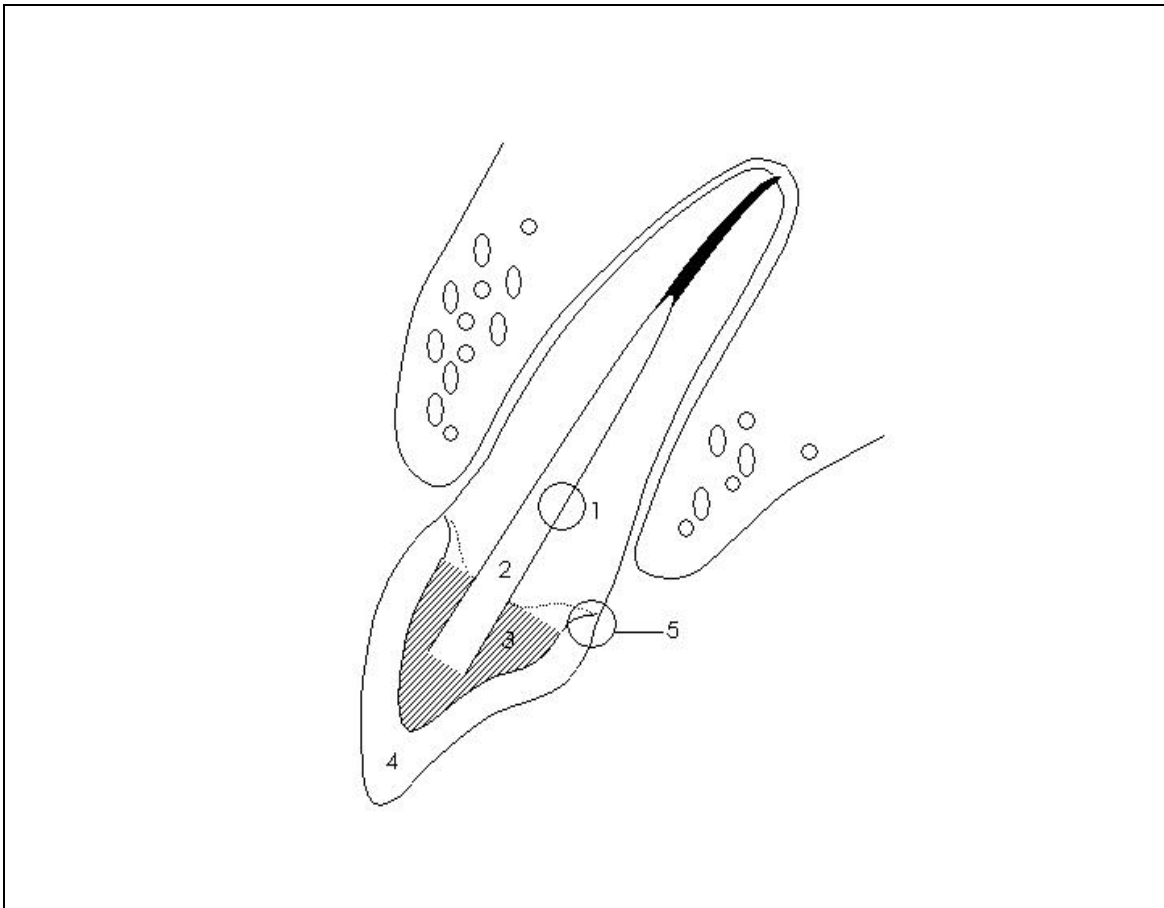


Abb. 1: Postendodontischer Komplex: 1 Verbundzone Aufbaustift – Befestigungsmaterial, 2 Aufbaustift, 3 Aufbau, 4 definitive Versorgung (Krone), 5 Fassreifenpräparation

SSA werden hierarchisch nach Art der Verarbeitung (direkt, indirekt), der Art des Einbringens in den Wurzelkanal (passiv, aktiv), der Verwendung vorgefertigter Anteile und nach der Geometrie des Aufbaustiftkörpers eingeteilt (Abb. 2).

Es besteht allgemeiner Konsens, dass die Stiftsetzung *per se* nicht zur Stabilisierung oder Verstärkung des endodontisch behandelten Zahnes beiträgt. Die Präparation eines Stiftbettes ist immer mit einer Entfernung von Zahnhartsubstanz verbunden. Dieses stellt eine nicht gewünschte Schwächung für das Gesamtsystem des postendodontisch restaurierten Zahnes dar (4, 10-12).

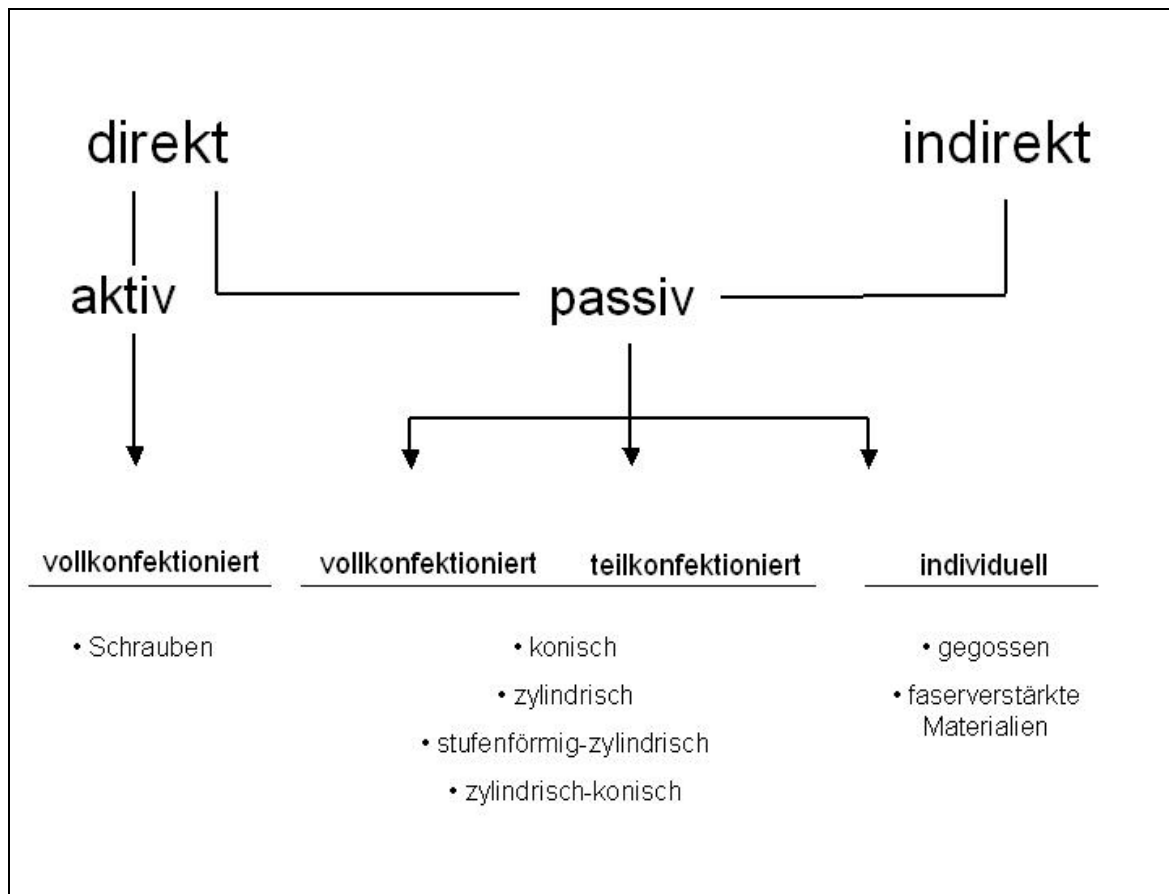


Abb. 2: Klassifizierung der Stiftstumpfaufbauten entsprechend eines Einteilungsentwurfs des Arbeitskreises „Aufbaustifte“, Arbeitsausschuss „Füllungswerkstoffe“, Normenausschuss Dental, Deutsches Institut für Normung e.V. (DIN)

1.2. Aufbaustiftmaterialien

Die postendodontische Restauration ist ein komplexes System mit einer multiaxialen, nicht uniformen Stressverteilung, die vom Betrag und Richtung der applizierten Belastung abhängt (13). Es ist ausgesprochen schwierig, bestimmte Effekte nur einer Variable zuzuschreiben. Zurzeit ist es nicht möglich, das biomechanisch optimale Aufbaustiftmaterial anzugeben. Die Problematik des Adhäsivverbundes im Wurzelkanal gilt als noch nicht gelöst. Der Einfluss des Dentins auf die Standardabweichung der In-vitro-Ergebnisse ist problematisch. Die Modelle zur Bewertung des Grenzflächenstress Dentin zu Aufbaustift und Aufbau und Krone sind nicht ausgreift. Die Ergebnisse aus Finite-Elemente-Analysen (FEA) oder Belastungsuntersuchungen sind teilweise widersprüchlich. Das ideale Aufbaustiftmaterial soll durch die Verankerung im Wurzelkanal zum

Halt und Stabilisierung des Aufbaus beitragen. Dabei soll ein nur minimales Stressmoment, sowohl bei der Stiftsetzung, als auch unter Funktion, erzeugt werden. Im Falle einer Revisionsbedürftigkeit der Wurzelkanalfüllung oder der Fraktur des Aufbaustiftes ist eine leichte Entfernbarkeit gewünscht (14).

Insbesondere bei tiefen Präparationen innerhalb des Wurzelkanals besteht ein erhebliches Perforationsrisiko (15).

Die Beurteilung der Eignung von Aufbaustiften erfolgt typischerweise anhand des E-Modul, der Wirkung auf die Belastbarkeit der Gesamtrestauration und der Wiederentfernbarkeit des Aufbaustiftes. Die Wahl des passenden Aufbaustiftmaterials wird dabei kontrovers diskutiert (16):

E-Modul

Es wurde die Theorie entwickelt, dass der E-Modul dem des Dentins entsprechen müsse (17-19). Als Ausdruck für den optimalen E-Modul wird gern die Häufigkeit wieder versorgbarer Frakturmuster beim Versagen gesehen. Werden faserbasierte Aufbaustifte verwendet, wurde ein steigender Anteil wieder versorgbarer postendodontischer Versorgungen im Vergleich zur Verwendung metallischer Aufbaustifte beobachtet (20).

Im Vergleich zu anderen bekannten Aufbaustiftmaterialien, wie zahnärztlichen Keramiken oder Goldlegierungen, ist der E-Modul glasfaserverstärkter Komposite näher dem des Dentins. Dieses wird als deren Hauptvorteil postuliert (21, 22, 23, 24). Der E-Modul wurde als wichtig für die Bewertung im Wurzelkanal anzuwendender Befestigungszemente identifiziert. Ein Aufbaustift mit dentinähnlichem E-Modul soll einen Verstärkungseffekt auf stark aufgeweitete Wurzelkanäle haben (25). Es wurde auf Basis von FEA postuliert, dass mit steigender Flexibilität des Aufbaustifts (niedrigerer E-Modul als glasfaserverstärkte Systeme) die stressverteilende Wirkung des Befestigungszementes in den Hintergrund tritt (26). Die E-Moduln relevanter Aufbaustiftmaterialien sind in Tabelle 1 dargestellt.

Tabelle 1: E-Moduln wichtiger Materialien des postendodontischen Komplexes

Material	E-Modul
Titan	110 GPa (16)
glasfaserverstärktes Komposit	30 GPa (Herstellerangabe ER DentinPost, Gebr. Brasseler, Lemgo, Deutschland) bis 56 GPa (Herstellerangabe Fiberpoints Root Pins Glas, Schütz Dental Group, Rosbach, Deutschland)
karbonfaserverstärktes Komposit	75 GPa bis 215 GPa (16)
Zirkondioxid	200 GPa (Herstellerangabe ER CeraPost, Gebr. Brasseler)
Aufbaukomposite	12,5 GPa bis 25 GPa (16, 27-29)
Kompositzemente	
niedriger E-Modul	7 GPa (25, 26)
hoher E-Modul	18,6 GPa (25, 26)
selbst-adhäsiver Universalkompositzement	~ 9 GPa (Herstellerinformation, 3M ESPE, Seefeld, Deutschland)
Zinkoxidphosphatzement (Pulver- Flüssigkeitsverhältnis von 1,5)	12,6 GPa (interne Daten Fa. 3M ESPE)
Vollkeramikkrone (Glaskeramik)	120 GPa (28)
Dentin	12 GPa (30), 15 GPa (16), 19 GPa (31, 32) bis 25 GPa (30)

Faserstifte allgemein sollen eine gewisse Biegung unter Belastung zulassen und somit eine verbesserte Spannungsverteilung zwischen Aufbaustift und Dentin ermöglichen (33). Das Risiko der Wurzelfraktur kann dadurch verringert werden (34), jedoch werden Spannungen im Bereich von Zement und Aufbaustift konzentriert, was zum Retentionsverlust des Stiftes führen kann (35). Der Verstärkungseffekt der Glasfasern selbst liegt in der Erhöhung der Ermüdungsfestigkeit des Komposites. Sie wirken als stressaufnehmende Komponente und aktivieren rissstoppende oder rissauslenkende Mechanismen.

Die mechanischen Eigenschaften der Fasern hängen von der Faserausrichtung in der Polymermatrix ab. Unidirektionale kontinuierliche Fasern weisen im Gegensatz zu gewobenen Fasern einen anisotropen Verstärkungseffekt auf (36). Das bedeutet, dass der E-Modul abhängig von der Belastungsrichtung ist.

Wurzelfrakturen wurden unter anderem extremen Unterschieden zwischen der Rigidität des Aufbaustiftes und des Dentins mit Stresskonzentration innerhalb der Wurzel zugeschrieben (35). In diesem Zusammenhang wurde das Phänomen der „Elastizitätsmodulbedingten Kompensation stressinduzierter Wurzelfrakturen“ postuliert (37). Im Widerspruch zu dieser Argumentation zeigen FEA, dass der stiftaufbaubedingte Stress mit steigendem E-Modul in der Reihenfolge Glasfaser, Titan, Zirkondioxid reduziert wird (38). Ferner soll durch ein rigideres Stiftmaterial eine weniger invasive Stiftbettpräparation notwendig sein, da der Stiftdurchmesser verringert werden kann (17, 39). Steifere Materialien würden auch die Deformation des gesamten SSA verhindern, wodurch wiederum das durch die Öffnung der Zementfuge bedingte Sekundärkariesrisiko verringert werden soll (40).

Belastbarkeit

Der Vorteil der reduzierten Stressinduktion bei Belastung faserverstärkter Aufbaustifte wird mit einer reduzierten Belastbarkeit gegenüber metallischen Stiftsystemen erkauft (16). Eine systematische Literaturanalyse (20) zeigte, dass faserverstärkte Stiftsysteme signifikant weniger belastbar, als gegossene SSA sind ($p = 0,04$). Die Belastbarkeit gegenüber metallisch-konfektionierten Aufbaustiften ist vergleichbar ($p = 0,15$) und signifikant höher als die keramischer SSA ($p = 0,02$). Diese Analyse beinhaltet allerdings die Summe des methodischen Bias jeder einzelnen, in die Analyse eingeschlossenen Studie und ist entsprechend vorsichtig zu bewerten.

Es wurde konstatiert, dass man im Prinzip nur die Wahl zwischen einem höher belastbarem, nicht wieder versorgbar frakturierenden metallischen und einem wieder versorgbar versagenden, aber weniger belastbaren faserverstärkten Aufbaustiftsystem hat. Es bleibt auch festzuhalten, dass die Aussagekraft der Mehrheit der Untersuchungen in vitro und in vivo bisher durch erhebliche methodische Mängel (41) und sehr große Standardabweichungen (42) limitiert ist.

Wiederentfernbarkeit

Ein weiterer Aspekt ist die in der Wiederentfernbarkeit deutliche Überlegenheit faserverstärkter Materialien gegenüber metallischen oder keramischen Stiftmaterialien. Diese erklärt sich durch den Verlust des Verbundes zwischen Faser und Matrix beim Einsatz entsprechend entwickelter Bohrer (43-45). Für die Entfernung nicht faserverstärkter Stiftmaterialien gibt es keine wirklich effektive Methode (46, 47). Zusätzlich ist das Risiko für Perforationen oder der Induktion von Dentinsprüngen erheblich (48).

Somit bleibt festzuhalten, dass die tatsächlichen Vorteile des Konzeptes eines Aufbaustiftes mit einem dentinähnlichen E-Modul einer Überprüfung in vitro und in vivo bedürfen.

1.3. Fassreifen und Fassreifeneffekt

Für die postendodontische Rekonstruktion mit gegossenen SSA wurde 1990 erstmals der sogenannte Fassreifeneffekt (englisch: ferrule effect) beschrieben (Abb. 3) (49). Dieser funktioniert ähnlich den Metallringen um ein Weinfass. Die definitive Restauration umfasst zirkulär die parallel präparierten koronalen Dentinwände und bildet so den sogenannten Fassreifen (englisch: ferrule)(50). Der Fassreifeneffekt bewirkt eine gesteigerte Belastbarkeit, eine verbesserte marginale Integrität der definitiven Versorgung. Die Keilwirkung der postendodontischen Rekonstruktion wird reduziert (49, 50). Um einen Fassreifeneffekt zu erzielen, wird eine minimale Dentinhöhe von 1,5 bis 2,0 mm genannt (50-53). Diese Empfehlung basiert allerdings ausschließlich auf In-vitro-Daten. Bereits ein 1 mm hoher Fassreifen verdoppelt die Belastbarkeit im Vergleich zu einer Situation, in der kein Fassreifen präpariert wurde (49). Sollte eine adäquate Fassreifenpräparation nicht möglich sein, wird deshalb eine kieferorthopädische Extrusion oder eine chirurgische Kronenverlängerung als präprothetische Maßnahme vorgeschlagen (49, 54).

Wird im Zuge einer starken Kanalbettpräparation oder endodontischen Aufbereitung oder bedingt durch kariöse Läsionen der Kanaleingang stark aufgeweitet und somit die verbliebene Wurzelwandstärke unter 1 mm reduziert, gilt die Belastbarkeit der Gesamtversorgung als kritisch (55-57). Darüber hinaus

wird für diese Situation der Verlust der belastbarkeitssteigernden Wirkung des Fassreifeneffektes beschrieben (58). Allerdings beziehen sich diese Angaben ausschließlich auf In-vitro-Beobachtungen an gegossenen SSA mit experimentellen Unzulänglichkeiten. In-vitro-Untersuchungen zu dieser Problematik mit konfektionierten Aufbaustiftsystemen liegen nicht vor. Der Effekt des Fassreifens wurde bisher in vivo nicht belegt.

Somit war es notwendig, den Einfluss der axialen Kanalwandstärke auf die Belastbarkeit von postendodontisch mit glasfaserverstärkten Kompositstiften restaurierten Zähnen in vitro einzuschätzen. Der Fassreifeneffekt bedarf eines klinischen Beleges. Beide Aspekte waren Gegenstand eigener Untersuchungen. Die Ergebnisse werden im Rahmen dieser Habilitationsarbeit dargestellt.

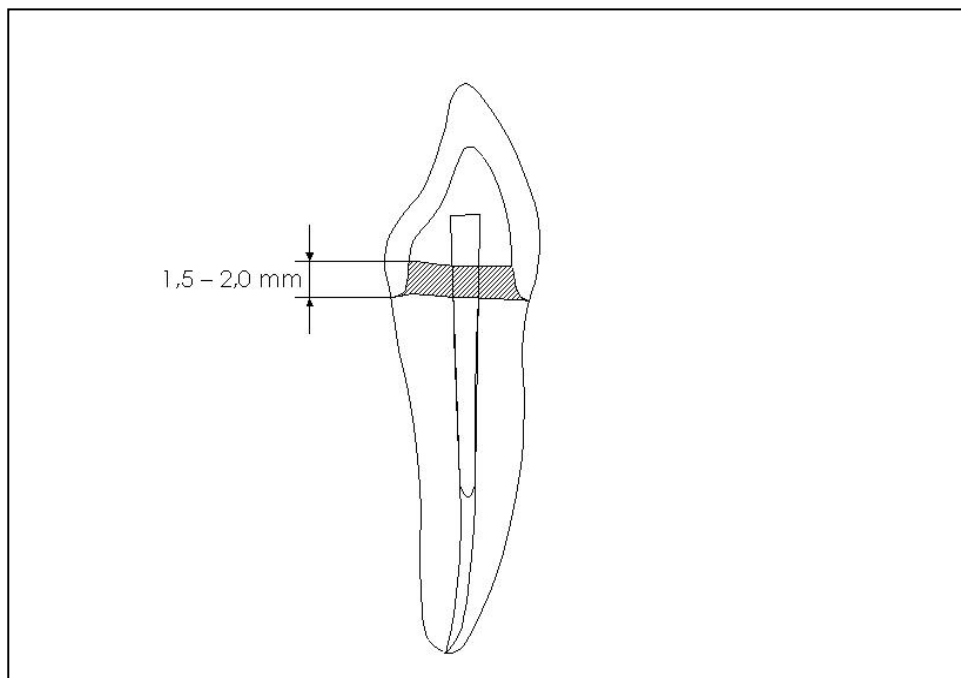


Abb. 3: Fassreifen und Fassreifeneffekt: Restauration umfasst zirkulär den Dentinkragen, Mindesthöhe für adäquat belastbarkeitssteigernden Effekt (Fassreifeneffekt, ferrule effect) 1,5 bis 2,0 mm

1.4. Versuchsmethoden

Ein wesentliches Problem von In-vitro-Untersuchungen postendodontischer Versorgungen ist deren mangelnde Vergleichbarkeit (59). So wurde im Rahmen einer Literaturübersicht festgestellt, dass für die gleiche Fragestellung zwei Untersucher einander widersprechende Schlussfolgerungen treffen (60). Eine wesentliche Ursache liegt in der Anwendung unterschiedlicher Untersuchungsmethoden. Für den Zeitraum von 1966 und 2005 führten wir eine systematische Literaturrecherche in Medline durch, die nicht Teil dieser Habilitationsarbeit ist. Es wurden alle in vitro durchgeführten Belastbarkeitsuntersuchungen an menschlichen Zähnen der bleibenden Dentition für postendodontische Versorgungen analysiert. Im Mittelpunkt stand die Frage, welche die gebräuchlichste Testmethode ist, um postendodontische Versorgungen zu untersuchen. Man kann dabei grob zwischen zerstörenden und nicht zerstörenden Methoden unterscheiden. Nur 12 % (n = 7) der evaluierten Studien sind nicht zerstörend und widmen sich im Wesentlichen der marginalen Randanalyse. Die überwiegende Mehrheit ist jedoch von zerstörendem Charakter. Hiervon wiederum wird in Zweidrittel der Studien (n = 38; 64 %) die lineare Belastung bis zum Versagen der Proben angewendet. In 12 % (n = 7) der Studien wird die simultane thermomechanische Belastung je nach Kausimulator mit 1,2 Millionen Kauzyklen zwischen 1 N und 30 N, 1 N und 50 N ohne Aufschlagimpuls oder mit einem Anfahrtsweg der Stößels zwischen 0 N und 50 N mit Aufschlagimpuls und einer parallel durchgeführten thermischen Wechsellast zwischen 5° und 55° C für 6.000 oder 10.000 Zyklen durchgeführt. Diese Untersuchungsbedingungen sollen eine orale, klinische Funktionsperiode von 5 Jahren nachahmen (61, 62). Im Anschluss an diese Simulation erfolgt zusätzlich eine rein lineare, quasi-statische Belastung der noch intakten Proben bis zu deren Versagen. Dieser Ablauf wird derzeit als Goldstandard angesehen (Abb. 4) (17). Die meisten Materialien werden dabei über einen gewissen Zeitraum versagen, wenn sie Stress oder Spannungen ausgesetzt sind. Grundsätzlich können Stress oder Spannung statisch, über die Zeit konstant, dynamisch, appliziert in einer konstanten Rate, oder zyklisch sein, d. h. der Stress- oder die Spannungsstärke ändern sich mit der Zeit (36, 63, 64).

Es ist ebenso schwierig wie aufwendig, d. h. zeit- und kostenintensiv, die oralen

Bedingungen zu simulieren. Wie auch der beschriebene Goldstandard, werden jedoch alle Versuchsanordnungen letzten Endes nur eine modellhafte Vereinfachung darstellen können.

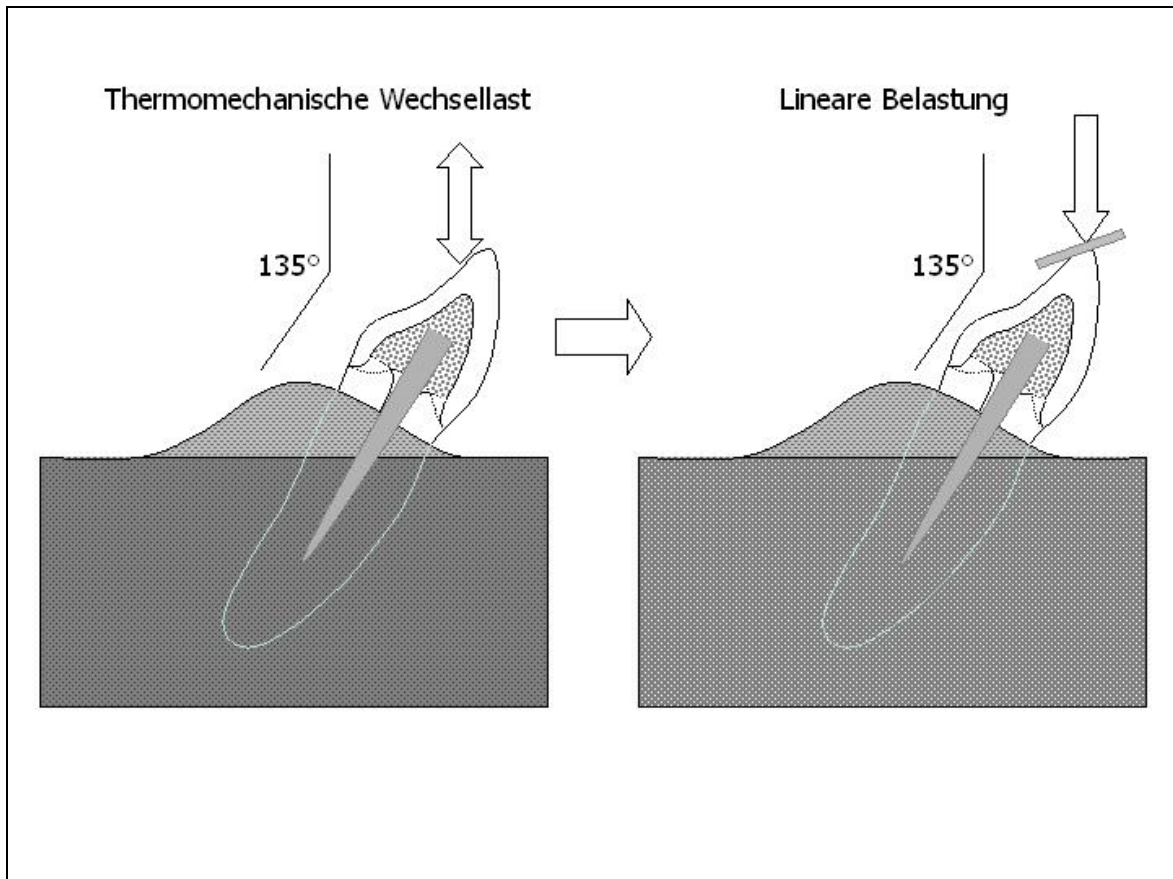


Abb. 4: Kausimulation im Sinne einer thermomechanischen Wechselbelastung (1,2 Millionen Kauzyklen, 10.000 Zyklen 5° / 55°C) mit anschließender linearer Belastung bis zum Versagen der Restauration

1.5. Eigenschaften des Wurzeldentins und Befestigung von Aufbaustiften

Die mechanischen Eigenschaften des Wurzeldentins bedürfen einer besonderen Würdigung. Diese sind der wahrscheinlich wesentlichste, in der Regel wenig beachtete Parameter bei In-vitro-Untersuchung postendodontischer Versorgungen. Dentin als Substrat ist außerordentlich heterogen. Besonders bei Belastungsstudien sind die Einflussfaktoren vielfältig (65). Es zeigt sich eine

aufspannende Schere der Werte des E-Modul seit Beginn der Bestimmung vor zirka 50 Jahren. Gäbe man dem Dentin theoretisch unendlich große Relaxationszeit kann der E-Modul 12 GPa betragen, kurzfristig können aber auch 25 GPa gemessen werden (30).

Das Wurzelkanaldentin weist einige strukturelle Besonderheiten auf. Die Zahl der Dentinkanälchen nimmt von koronal im Bereich der Schmelz-Zement-Grenze nach apikal ab. Die Zahl und Orientierung variiert stark. Interne Resorptionsdefekte, die mit irregulärem, zementartigem Gewebe bedeckt sind und irreguläres, physiologisches, alterungsassoziiertes Sekundärdentin treten auf (66-68).

Das Argument der Austrocknung des Wurzeldentins (69) nach endodontischer Behandlung konnte als Ursache für die allgemein beobachtete Brüchigkeit im Zuge von Extraktionen oder Kronen- und Wurzelfrakturen während der Funktionszeit widerlegt werden (70). Vielmehr sind insbesondere architektonische Änderungen, beginnend mit der Trepanation des Pulpakavums, für verringerte Belastbarkeiten verantwortlich (71). Vermutlich spielen auch Änderungen im Dentinkollagen über die Funktionsperiode eine Rolle (72).

Wichtig im Zusammenhang mit der Analyse von Misserfolgen zahnärztlicher Restaurationen ist der Begriff der Ermüdung. Der Prozess der Ermüdung beinhaltet Entstehung, Ausbreitung und Zusammentreffen von Rissen und wird definiert als das mechanische Versagen eines Materials oder einer Grenzschicht nach wiederholter Applikation von Stress unterhalb der eigentlichen Frakturfestigkeit (65). Ermüdung spiegelt so das Vermögen eines Materials oder Grenzschicht wider der Rissentwicklung nach einer großen Anzahl von Zyklen zu widerstehen (36). Die Ermüdungsgrenze des Dentins von ca. 30 MPa wird bedingt durch das Vorhandensein initialer Risse, die mindestens eine Größe von 0,3 – 1,0 mm haben müssen, um wachsen zu können. Diese Risse können durch eine vorangegangene Kavitätenpräparation, Abnutzung während der oralen Funktionsperiode oder durch eine traumatische Krafteinwirkung verursacht worden sein (30). Da gänzlich rissfreie Dentinproben kaum anzutreffen sind, beeinflusst ein weiteres Risswachstum im erheblichen Maße die zu beobachtende Belastbarkeit im Kausimulator und während der anschließenden linearen Belastung.

Die adhäsive Befestigung von Aufbaustiften im Wurzelkanal ist vergleichsweise neu und wurde eher zufällig entdeckt (73). Als vorteilhaft wurde eine verbesserte Randdichtigkeit (74) und Stiftretention (75) auch bei geringerer Stiftlänge (76), eine spannungsreduzierende (25, 41) sowie belastbarkeitssteigernde Wirkung im Vergleich zur konventionellen Zementierung mit Zinkoxidphosphat- und Glasionomorzementen beobachtet (77).

Das Wurzelentin ist mit Phosphorsäure konditionierbar. Die erreichbare Oberflächenvergrößerung reduziert sich jedoch von koronal nach apikal erheblich (68). Die adäquate Ausprägung einer Hybridschicht ist möglich (78).

Die Bedingungen zur sicheren Anwendung der Adhäsivtechnik sind vergleichsweise ungünstig. Die kontrollierte Applikation der einzelnen Substanzen ist aufgrund des schmalen Wurzelkanals erschwert. Eine visuelle Kontrolle ist nicht möglich. Überreste von der Kanalaufbereitung und der Kanalkonditionierung können im Kanallumen verbleiben (79). Als Folge der Applikationstechnik und Polymerisationsschrumpfung finden sich eine Vielzahl von Fehlstellen und Lufteinschlüssen innerhalb der Zementfuge (80, 81). Die Polymerisationsschrumpfung innerhalb der dünnen Zementfuge ist hoch (82) und wird unkontrollierbar, wenn diese eventuell zusätzlich ungleichmäßig ist (83, 84). Nur langsam abbindenden, chemisch härtenden Kompositzementen oder Glasionomorzementen (85) werden die geeigneten visko-elastischen Eigenschaften zugeschrieben, in diesem Umfeld akzeptable Verbundfestigkeiten zu erzielen (86-88). Die Applikation von Adhäsivsystemen ist techniksensitiv (89-91) und kann aufgrund ihrer Hydrophilie bei vereinfachten Systemen Flüssigkeitsbewegungen durch das Wurzelentin auslösen, die wiederum den adhäsiven Verbund negativ beeinflussen können (91, 92).

In zwei aktuellen Publikationen wird die Effizienz der adhäsiven Befestigung im Wurzelkanal grundsätzlich in Frage gestellt. Untersuchungsergebnisse weisen darauf hin, dass der Anteil von Friktion und Haftreibung an der Aufbaustiftretention erheblich sein könnte (88, 93). Das würde wiederum dafür sprechen, konventionelle Zementierungsmethoden anzuwenden zu können. Hier bedarf es weiterer zukünftiger Forschung.

1.6. Misserfolgsrisiko postendodontischer Versorgungen

Vor allem verschiedene materialtechnische Aspekte, wie Stiftdurchmesser, -länge, -geometrie und Oberfläche sind beständig in der Diskussion die Prognose postendodontischer Versorgung zu beeinflussen. Allgemein gültige Richtlinien sind bisher jedoch nicht formulierbar (12, 94). Die Wechselwirkungen von Restaurationmaterial, Verarbeitungsmethode und funktionellen Gegebenheiten sind schwer kalkulierbar. Somit erscheint es sinnvoll im Sinne einer Systematik die Einflussfaktoren in eher mechanische und biologische zu unterteilen (95), wohl wissend, dass es sich aufgrund der hohen Dynamik in Forschung und Entwicklung dentaler Materialien immer nur um eine Momentaufnahme handeln wird.

Es gibt Hinweise darauf, dass die Belastbarkeit und somit der klinische Erfolg postendodontisch behandelter Zähne abhängig ist von mechanischen Aspekten wie der Eingliederung einer Kronenversorgung (96, 97), der Anzahl bzw. Lage der okklusalen Kontakte (98, 99), dem Interinzisalwinkel (100), der Position des Zahnes im Zahnbogen (101, 102) und der Art der definitiven Versorgung, festsitzender oder herausnehmbarer Zahnersatz (101, 103).

Als biologische Einflussfaktoren kommen die Zahl der benachbarten Zähne (104), der endodontische Befund (105), die verbliebene Unterstützung des Alveolarknochens (106), die Anfertigung einer nur provisorischen Versorgung (107), die Degradation des Kollagens im Wurzeldentin (72), die zahntypspezifische intermolekulare Vernetzung des Wurzeldentins (108) und der Betrag der verbliebenen Zahnhartsubstanz (12, 71, 109, 110) in Betracht. Auf den Vorteil eines Fassreifens wurde bereits verwiesen (50). Vermutlich spielen aber auch Aspekte wie die Primärpassung der definitiven Restauration und die entsprechende Zementspaltbreite eine Rolle. Problematisch für die Versorgung endodontisch behandelter Zähne ist, dass die propriozeptive Rückkopplung reduziert und somit der vor Überlastung schützende Reflexbogen beeinträchtigt ist. Es wurde festgestellt, dass erst bei einer zweifach höheren Belastung vitaler gegenüberliegender und benachbarter Zähne entspricht, ein Schmerzgefühl empfunden wird (111).

Außer den eigenen klinischen Daten (112, 113) sind keine verlässlichen In-vivo-Studien mit suffizienter Berichterstattung der Studiendetails, wie Patienten- und Zahncharakterisierung, zur Überlebenswahrscheinlichkeit glasfaserverstärkter

Kompositaufbaustifte publiziert. In einer Studie werden Zweijahresdaten über ein Glasfaserstiftsystem, neben denen von Karbonfaser- und quarzfaserummantelten Karbonfaserstiften, dargestellt. Die Misserfolgswahrscheinlichkeit nach 24 Monaten betrug 4 % (Retentionsverlust des Stiftes) für 75 Patienten mit 75 Glasfaserstiften ohne Einschluss der beobachteten periapikalen Läsionen (114). Studien über karbon- und quarzfaserverstärkte finden sich hingegen in geringer Zahl. Da Karbonfaserstifte einen bis zu dreifach höheren E-Modul (28) als Glasfaserstifte haben und andere biomechanische Eigenschaften ähnlich denen metallischer Aufbaustifte besitzen, ist eine Übertragbarkeit der Studienergebnisse nicht gestattet.

Zur Orientierung sollen die vorhandenen klinischen Daten über die Misserfolgswahrscheinlichkeit kurz dargestellt werden: Retrospektiv wurden in einer klinischen Studie für 249 Quarzfaserstifte nach 12 bis 16 Monaten bei 4,4 % der Rekonstruktionen Misserfolge festgestellt (115). In der gleichen Studie zeigten nach 18 bis 68 Monaten 2,6 % der 840 Karbonfaserstifte und nach 12 bis 18 Monaten 3,7 % von 215 quarzfaserummantelten Karbonfaserstiften Misserfolge (115). Periapikale Läsionen und Retentionsverluste traten auf. 236 Karbonfaserstifte bei 146 Patienten blieben nach 27 bis 41 Monaten ohne einen Misserfolg (116), während bei 100 Karbonfaserstiften in 100 Patienten nach 48 Monaten 5 % der Versorgungen als Misserfolg betrachtet wurden (14). 3 % der Patienten wurden als nicht mitarbeitend eingestuft und 2 % der Zähne zeigten periapikale Läsionen.

In 5 prospektiven Studien wurden folgende Misserfolgsraten beobachtet: für 97 vollständig nachuntersuchte Quarzfaserstifte in 97 Patienten nach 60 Monaten mit Sekundärkaries als ausschließliche Misserfolgsursache 10,3 % (117), für 100 Quarzfaserstifte in 81 Patienten nach bis zu 30 Monaten im Sinne einer Erneuerung der Gesamtversorgung bedingt durch notwendige Revision der Wurzelkanalbehandlung 0,04 % (118), für 180 Quarzfaserstifte in 132 Patienten nach ebenfalls 30 Monaten mit einer Aufbaufraktur und zwei Retentionsverlusten 1,7 % (119), für 52 Karbonfaserstifte in 42 Patienten nach 6,7 bis 45,4 Monaten 7,7 % (je ein Retentionsverlust des Aufbaus und der Krone, zwei periapikale Läsionen) (120). Für 117 Patienten mit versorgungsbedürftigen Klasse-II-Füllungen wurden 60 Karbonfaserstifte mit Kompositfüllungen kombiniert und für 57 Karbonfaserstifte zusätzlich eine Einzelkrone angefertigt. Nach 36 Monaten

ergaben sich Misserfolgsraten von 6,7 % (ein Retentionsverlust des Aufbaustiftes und zwei Randspalten) bzw. 5,2 % (zwei Retentionsverluste des Aufbaustiftes und eine Randspalte) (97). 75 Patienten mit je einem Karbonfaserstift und 75 Patienten mit je einem quarzfaserverstärkten Kompositstift zeigten nach bis zu 30 Monaten eine Misserfolgsrate von 5,3 % (je zwei Retentionsverluste und periapikale Läsionen) bzw. 8 % (je drei Retentionsverluste und periapikale Läsionen) (114). Interessanterweise war bisher für die Verwendung von konfektionierten Titanaufbaustiften keine Publikation bekannt, die deren häufige Verwendung auf Basis einer klinischen Prüfung rechtfertigen würde.

Wiederholt wird im Zusammenhang mit systematischen Übersichtsarbeiten zum Thema postendodontischer Rekonstruktionen die Notwendigkeit kontrollierter klinischer Studien betont. Metaanalysen sind aufgrund der Qualität der publizierten klinischen Daten bisher nicht möglich (12, 20, 121). Eine Studienplanung und Berichterstattung entsprechend der Richtlinien der CONSORT-Gruppe (Consolidated Standards of Reporting Trials) (122) fehlten bisher.

Unter besonderer Berücksichtigung glasfaserverstärkter Kompositstifte zeigt sich somit zusammenfassend die Notwendigkeit, den Einfluss des E-Moduls von Aufbaustiften, des Zahnhartsubstanzverlustes sowie des Fassreifeneffektes in vitro in einem geeigneten Modell und in vivo zu bestimmen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind im Rahmen dieser Habilitationsschrift im Folgenden dargestellt.