

Aus der Poliklinik für Zahnärztliche Prothetik
der Universität Würzburg

Direktor: Prof. Dr. med. dent. Schmitter

„Klinische Bewährung des Würzburger Stiftes über einen
Beobachtungszeitraum von 9 Jahren – eine retrospektive Studie“

Inauguraldissertation

zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Oliver Krebes

aus Feldkirch

Würzburg, April 2021

Referent: Prof. Dr. med. dent. Marc Schmitter

Korreferent: Prof. Dr. med. Dr. med. dent. Alexander Kübler

Dekan: Prof. Dr. med. Matthias Frosch

Tag der mündlichen Prüfung: 01.12.2021

Der Promovend ist Zahnarzt

Für meine Frau Laura, meine Tochter Lilly und
meine Eltern und Schwiegereltern,
die mich auf meinem Weg stets unterstützt haben.

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG	1
1.1	Der koronale Substanzdefekt und die Möglichkeiten der präprothetischen Versorgung.....	1
1.2	Stand der Technik - Einteilung der konventionellen Stiftstumpf-Aufbau-Systeme .3	
1.2.1	Arten von Wurzelstiftsystemen.....	3
1.2.2	Wurzelstiftmaterialien	5
1.2.3	Befestigungswerkstoffe.....	10
1.2.4	Einfluss der Oberflächenkonditionierung auf die Verbundstabilität.....	12
1.2.5	Der Ferrule- Effekt.....	12
1.3	Rekurrenente Versagensmodi konventioneller Stiftstumpf-Aufbau-Systeme - adäquate Lösungsansätze.....	13
1.4	Der Würzburger Stift - Design und endgültige Bemaßung	17
1.4.1	Insertionsprotokoll	20
1.4.2	Stressverteilung in der FEA (Finite Element Analysis)	26
1.5	Klinische Bewährung des Würzburger Stiftes	28
2	MATERIAL UND METHODE	29
2.1	Studienkollektiv	29
2.2	Studienkonzept.....	32
2.3	Stiftversagen.....	33
2.4	Untersuchungsprotokoll und statistische Analyse.....	34
3	ERGEBNISSE.....	35
3.1	Patientenkollektiv	36
3.2	Überlebenswahrscheinlichkeit des Würzburger Stiftes - die Survival Distribution Function (SDF) nach Kaplan Meier.....	40
3.3	Das Beobachtungsende der Studie – Überleben oder Verlust – Zensurgründe	44

3.4	Falldokumentationen – Der Würzburger Stift in situ.....	47
3.4.1	Fall 1 - Der Würzburger Stift (Kugelvariante) als Ersatz eines frakturierten Teleskopes 47	
3.4.2	Fall 2 – Der Würzburger Stift als alleiniges Halteelement einer Teleskopprothese ...	50
3.4.3	Fall 3 - Teleskopersatz und Wiederherstellung der Prothesenfunktion	53
3.4.4	Fall 4 - Dezentementierung eines Würzburger Stiftes aufgrund von Sekundärkaries nach 7 Jahren	56
3.5	Klinische Dokumentationen.....	57
4	DISKUSSION	61
4.1	Zusammenfassung der Hauptergebnisse	61
4.2	Diskussion der Methoden	62
4.3	Diskussion der Ergebnisse	64
4.3.1	Konus versus Kugel	70
5	ZUSAMMENFASSUNG	73
6	LITERATURVERZEICHNIS	74
	Appendix	1
I.	Abkürzungsverzeichnis	1
II.	Abbildungsverzeichnis	2
III.	Diagrammverzeichnis	5
IV.	Tabellenverzeichnis	6

1 Einleitung

1.1 Der koronale Substanzdefekt und die Möglichkeiten der präprothetischen Versorgung

Der durch Karies und Trauma hervorgerufene koronale Substanzdefekt erfordert die Wiederherstellung der Zahnkrone zur schnellen Wiederaufnahme der Funktion und Ästhetik. Biologische sowie technische Aspekte sind bei der Wahl geeigneter Materialien ebenso zu berücksichtigen, wie Größe und Lokalisation des Defektes. Kleinere Substanzverluste im Zahnhalsbereich (Klasse V nach Black), Seitenzahnbereich (Klasse I und II) oder Frontzahnbereich (Klasse III und IV) können heutzutage mit plastischen Füllungsmaterialien unter Zuhilfenahme der Adhäsivtechnik restauriert werden. Die defektorientierte Präparation erfüllt dabei den Wunsch nach einem geringen Zahnschmelzabtrag und bietet die Möglichkeit einer direkten Versorgung. Mit zunehmendem Defektvolumen können jedoch indirekt gefertigte Restaurationen, wie Teilkronen und zuletzt die Kronenversorgung, unumgänglich werden. Eine häufige präprothetische Komplikation, die zu umfassenden Zahnhartsubstanzverlusten führt, kann eine durch Karies oder Trauma hervorgerufene, irreversible Pulpitis sein. Sie tritt bei hochgradigen Substanzdefekten auf und diktiert dem Behandler zunächst die Durchführung einer Wurzelkanalaufbereitung und -füllung. Plastische Aufbauten und Kronen bieten im weiteren Behandlungsverlauf Möglichkeiten einer stabilen Langzeitversorgung [1]. Im Extremfall, dem Totalverlust der Zahnkrone, bietet die verbliebene Zahnoberfläche jedoch selbst für diese Maßnahmen keine ausreichende Retention. Die im Vergleich zum Schmelzverbund deutlich geringere mechanische Belastbarkeit von Aufbaumaterialien auf Dentinoberflächen ließen in den vergangenen Jahrzehnten die Forderung nach retentiven Verankerungsmöglichkeiten entstehen [2]. Der im Wurzelkanal befestigte Stiftstumpf-Aufbau (StA) soll dabei eine zusätzliche Verankerung erzeugen. Durch Präparation und Konditionierung des Wurzelkanallumens wird jedoch seither auch eine Schwächung der Wurzelstabilität und die Zunahme der

Frakturanfälligkeit diskutiert [3][4][5]. Dentinähnliche Stiftmaterialien sowie verschiedene Stiftgeometrien wurden entwickelt durch diesen Umstand bedingte Komplikationen zu minimieren [6]. Diverse Schwachstellen des konventionellen StA konnten dabei bis dato nicht eliminiert werden. Einige Autoren bestätigen die Legitimität dieser Maßnahme, andere interpretieren klinische Daten dahingehend, dass der konventionelle StA obsolet sei [7][8][9].

1.2 Stand der Technik - Einteilung der konventionellen Stiftstumpf- Aufbau-Systeme

Zur Klassifizierung von postendodontischen Stiftsystemen werden Stiftgeometrie, Stiftmaterial und das verwendete Befestigungsmaterial gegenübergestellt. Grundsätzliche Begriffe wie Kraftschluss, Formschluss und Ferrule-Effekt, die die Funktionsweise und den Halt eines StA im Wurzellumen beschreiben, bedürfen gleichermaßen Klärung. Tabelle 1 zeigt eine Einteilung von Wurzelstiftsystemen nach Stiftgeometrie, Verbundprinzip und Art der Anwendung.

Tabelle 1 – Klassifizierung bekannter Wurzelstiftsysteme

Verbundprinzip	Art der Anwendung und Stiftgeometrie	
	direkt	indirekt
Kraftschluss	<ul style="list-style-type: none"> • zylindrisch, konisch oder zylindrokönische Mischform, halbkonfektionierter Stift mit modelliertem Aufbau aus Komposit o.a. geeigneten Materialien 	<ul style="list-style-type: none"> • vollständig gegossener StA • halbkonfektionierter Stift mit modelliertem Aufbau (angepresst, angegossen, separat zementiert)
Formschluss	<ul style="list-style-type: none"> • schraubenförmiger Stift mit modelliertem Aufbau aus Komposit o.a. geeigneten Materialien 	

1.2.1 Arten von Wurzelstiftsystemen

Die Verwendung eines geeigneten Stiftsystems nach erfolgter endodontischer Behandlung bietet dem Behandler die Möglichkeit den koronalen Substanzdefekt des Zahnes mit einer zusätzlichen Verankerung im Wurzelkanal

zu restaurieren. Zur Wahl stehen individuell gegossene und konfektionierte Stifte unterschiedlicher Materialien. Alle genannten Typen unterscheiden sich grundlegend in Geometrie, Art der Insertion und Retentionsprinzip im Wurzellumen. Individuelle Stifte werden im zahntechnischen Labor aus unterschiedlichen Metalllegierungen gegossen. An halbkonfektionierte Stifte aus Zirkoniumdioxid können im Labor Stumpfaufbauten modelliert und in einem zweiten Schritt gegossen oder aus Lithiumdisilikat-Keramik aufgedrückt werden. Titanstifte sind zwar nicht angussfähig, jedoch können Stift und ein modellierter, separat gegossener Aufbau später zusammen in die Zahnwurzel zementiert werden. Zunächst wird der Wurzelkanal des Zahnes präpariert und durch geeignete Hilfsmittel abgeformt. Das vom Zahntechniker hergestellte Modell dient der Modellation des StAs. Laborgefertigte Stiftstumpf-Aufbauten können ein- oder mehrteilig sein und somit, falls nötig, in mehrwurzeligen Zähnen mit divergierenden Wurzeln verwendet werden. Die Insertion des Stiftes erfolgt in der Zahnarztpraxis zu getrennten Terminen. Im Gegensatz dazu bieten konfektionierte Stiftstumpf-Aufbauten dem Behandler die Möglichkeit, nach Präparation und Konditionierung des Wurzelkanallumens, den Stift innerhalb eines Behandlungstermines im Zahn zu befestigen. Konfektionierte Bohrer unterschiedlicher Form und Länge dienen hierbei der Stiftbettpräparation und erreichen eine annähernde Formkongruenz zum passenden Wurzelstift. Der bei der nachfolgenden Zementierung bzw. adhäsiven Befestigung angestrebte Kraftschluss soll einer Dezementierung entgegenwirken [10]. Konfektionierte Stifte können aus korrosionsbeständigen, hochgold- oder palladiumhaltigen Legierungen, Titan, carbon- bzw. glasfaserverstärktem Komposit oder Zirkoniumdioxid bestehen [11][12][13]. Auch weitere Legierungen mit Anteilen von Platin und Iridium sind verfügbar. Eine weitere Variante der konfektionierten StA-Systeme sind schraubenförmige Stifte: die primären Absichten der Verankerung mit Gewinden waren einerseits die Herabsetzung der Wahrscheinlichkeit einer Dezementierung durch Schaffen einer formschlüssigen Verbindung, andererseits die Verkürzung von entstehenden Wartezeiten durch Einsparung des zweiten Insertionstermins. Dabei wird ein schraubenförmiger Stift, in ein zuvor präpariertes Gewinde im Wurzelkanal, eingedreht. Eine

weitere Variante sind selbstschneidende Gewindeschrauben, die ohne Vorpräparation in den Wurzelkanal eingebracht werden. Der dabei erzielte Formschluss erzeugt hohe Retentionswerte, die jedoch das Risiko von Wurzelfrakturen mit sich bringen können [14][15]. Die Außengewindespitzen solcher Stiftsysteme stehen im Verdacht beim Eindrehen hohe Spannungen im Wurzelknochen hervorzurufen, die zu Rissen führen [16]. Im direkten Vergleich zwischen konfektionierten Glasfaserstiften und Metallschrauben wurde von SCHMITTER et al. festgestellt, dass über einen Beobachtungszeitraum von fünf Jahren die Gruppe der Metallschrauben eine deutlich höhere Versagensrate zeigte als die der Glasfaserstifte [15].

1.2.2 Wurzelstiftmaterialien

Metallische Wurzelstifte

Metallische Wurzelstifte gelten heutzutage immer noch als Goldstandard. Sie wurden in einfachen Varianten schon Ende des 19. Jahrhunderts gefertigt. Stift und Krone waren bei der Richmond-Krone 1880 und Logan-Krone 1885 noch einteilig. Der erste separate Wurzelstift wurde von Ruetz im Jahr 1946 patentiert. Dieser zylindrische Wurzelstift bildet die Vorlage für heutige konfektionierte Wurzelstiftsysteme. Das Mooser-System (1966), das Kurer-Anker-System (1967) sowie das Radix-Anker-System (1975) und das Erlanger-System (1985) ergänzten in den Folgejahren das Angebot an konfektionierten und halbkonfektionierten StA-Systemen. Nach den Ergebnissen einer nationalen Studie in Deutschland im Jahr 2006 nutzten 55 % aller befragten Zahnärzte (n=6029) in Deutschland metallische Wurzelstifte, 34 % davon ausschließlich konfektionierte [17]. Ihre Vorteile sind gute Röntgenopazität, mechanische Eigenschaften, das Vorhandensein von klinischen Langzeiterfahrungen, hohe Verfügbarkeiten sowie Sortimentsreichtum. Als Werkstoffe werden Titan und Legierungen aus Gold-Iridium oder Gold-Platin genutzt: diese erfüllen alle Anforderungen an Korrosionsbeständigkeit, mechanischen Eigenschaften und Langzeithaltbarkeit [18][19][20]. Die von

Kritikern angeführten Zahn- und Gingivaverfärbungen sowie ein metallischer Geschmack, konnten nach Ansicht der Arbeitsgruppe EDELHOFF et al. im Zusammenhang mit diesen Legierungen nicht bestätigt werden [21]. Metallische Wurzelstifte können in verschiedenen Geometrien (zylindrisch, konisch, zylindrokönisch, schraubenförmig) erworben werden. Das Insertionsprotokoll unterscheidet sich dabei jeweils nur geringfügig und beinhaltet die Nutzung formkongruenter Bohrer verschiedener ISO-Größen. Vor- und Nachteile sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2 - Vor- und Nachteile verschiedener Stiftgeometrien

Stiftform	Vorteile	Nachteile
zylindrisch	<ul style="list-style-type: none"> • sehr gute Retention im Wurzelkanal 	<ul style="list-style-type: none"> • hoher Substanzverlust im apikalen Bereich • Gefahr der Perforation
konisch	<ul style="list-style-type: none"> • gute Passgenauigkeit • leicht anzupassen • geringe Wurzelschwächung 	<ul style="list-style-type: none"> • geringere Retention • rel. hoher Substanzverlust im koronalen Wurzelbereich
zylindrokonisch	<ul style="list-style-type: none"> • anatomische Form • gute Retention im Wurzelkanal 	<ul style="list-style-type: none"> • geringere Retention als Schraubensysteme
schraubenförmig	<ul style="list-style-type: none"> • erhöhte Retention gegenüber Stiften 	<ul style="list-style-type: none"> • Auftreten von Spannungen und Rissen im Wurzel-dentin • Gefahr der Wurzelfraktur

Die Verwendung eines hochgoldhaltigen Werkstoffes für StA-Systeme ergab in zahlreichen in vitro-Studien hohe Bruchlasten. Jedoch können bei Belastung am Übergang von apikalem Wurzelstiftende zum Wurzelentuin Spannungsspitzen auftreten, die das Risiko von Wurzelfrakturen erhöhen. Nach einer Fraktur ist eine Neuversorgung des Zahnes, der bereits mit einem Metallstift versorgt wurde, nur selten möglich [19][22][23][24]. Ungeachtet dessen wird die Frakturresistenz von einigen Autoren noch immer positiv hervorgehoben [25][26].

Tabelle 3 - Elastizitätsmoduln von Werkstoffen verschiedener StA-Systeme

Werkstoff	E-Modul
FRC (glasfaserverstärkter Kunststoff)	15 GPa
Dentin	18,6 GPa
Edelmetall-Legierung	96 GPa – 120 GPa
Titan Grad 5 (Ti ₆ Al ₄ V)	114 GPa
Zirkoniumdioxid (ZrO ₂)	210 GPa

Neben halbkonfektionierten Stiften aus Edelmetall können, bei ausreichender Restzahnschubstanz nach Stiftpräparation, auch Stifte aus Titan verwendet werden. Der Stumpfaufbau nach Stifteinsetzung erfolgt dabei mit Hilfe von lichthärtenden Kompositmassen am Retentionskopf. Titanstifte sind zwar nicht angussfähig aber dennoch als individuell hergestellter, geteilter StA verwendbar. Dabei wird der Aufbau an einen Titanstift modelliert, anschließend separat gegossen und später gemeinsam mit dem Titanstift in der Zahnwurzel zementiert. Die gute Biokompatibilität und Korrosionsbeständigkeit sowie der vergleichsweise niedrige Preis rechtfertigen daher für einige Autoren deren Verwendung [27].

Stifte aus faserverstärktem Kompositmaterial

Die Forderung nach einem Werkstoff für halbkonfektionierte Wurzelstifte, der dentinähnliche, ästhetische und gute biomechanische Eigenschaften besitzt, trieb zu Beginn der 1990er Jahre die Entwicklung von faserverstärkten Kompositstiften (FRC - fiber-reinforced composite) voran [28][29][30]. FRC-Stifte bestehen aus einer Harzmatrix, in die zur Strukturverstärkung Fasern (z. B. Carbon, Quarz, Glas) eingearbeitet sind. PEGORETTI et al. beobachteten 2002 in ihrer FEA, dass bei Standard-Belastungsversuchen glasfaserverstärkter StA-Systeme im Bereich des Wurzeldentins geringere Kräfte wirken als bei individuell gegossenen Stiftstumpf-Aufbauten. Nachfolgend wurde postuliert, dass die Verringerung des radikulären Stresses durch die Möglichkeit einer leichten Deformation erreicht wird. Belastungen werden jedoch vermehrt auf das zervikale Dentin übertragen und gefährden den Verbund zwischen Dentin und Aufbaumaterial [31]. Die Stressverteilung von Wurzelstift auf angrenzende Wurzeldentinareale wird hingegen als homogen beschrieben [32]. Diese Beobachtungen können nach UPADHYAYA et al. auf den geringeren E-Modul und die Anordnung der Glasfaser im inneren des Stiftes zurückgeführt werden (Tabelle 3) [33]. Das zeigen auch Finite-Elemente-Analysen, die in diesem Zusammenhang das Phänomen der „Elastizitätsmodulbedingten Kompensation stressinduzierter Wurzelfrakturen“ aufführen [34]. Die Glasfasern erzeugen hierbei einen Verstärkungseffekt und erhöhen somit die Ermüdungsfestigkeit des Kompositwerkstoffes. Nach Meinung einiger Autoren ist eine Wiederversorgung nach Fraktur eines FRC-Stiftes, im Gegensatz zu metallischen oder keramischen Stiften, in den meisten Fällen besser möglich [10][24][23]. Die Neuversorgung des Zahnes erfolgt nach Aufbereitung des Stiftbettes. Dabei wird mit geeigneten Ultraschallspitzen oder piezoelektrischen Trepanzylindern der frakturierte Glasfaserstift freigelegt und wenn möglich aus dem Wurzelkanal gelöst. Die Entfernung des Stiftes kann auch alternativ mit rotierenden Rosenbohrern erfolgen. NAUMANN et al. ermittelten im Jahr 2016, dass FRC-Stifte die am häufigsten verwendeten Stifte in deutschen Zahnarztpraxen sind [35]. Zehn Jahre zuvor fanden noch überwiegend metallische Wurzelstifte in Deutschland Verwendung [17].

Zirkoniumdioxidstifte

Zirkoniumdioxid als Werkstoff hat einen hohen Elastizitätsmodul von 210 GPa (Tabelle 3), gute optische Eigenschaften und eine hervorragende biologische Verträglichkeit [36][37][38][39]. Als weiterer Vorteil gilt die Möglichkeit der konventionellen Zementierung mit klassischen Glasionomern, wobei auf eine techniksensitive und damit fehleranfällige adhäsive Befestigung verzichtet werden kann [40]. Die Verteilung von Kaukräften auf das zervikale und radikuläre Dentin muss hierbei jedoch genau evaluiert werden. Durch funktionelle Belastung wird nicht nur auf das zervikale Dentin, wie bei FRC-Stiften, sondern über die gesamte Klebefläche auf das Wurzel-Dentin verteilt. Die hohe Härte des Werkstoffes erschwert dabei die Revidierbarkeit des Stiftes, die geringe Biegefestigkeit zeigt zudem eine statistisch signifikant hohe Versagensrate durch Wurzelfrakturen [41][42][38]. Wurzelstifte aus Zirkoniumdioxid können zum einen direkt inseriert und nachträglich mit einem Kompositaufbau versorgt, zum anderen indirekt als StA zementiert werden. Hierbei wird nach einer Präzisionsabformung im zahntechnischen Labor ein Meistermodell hergestellt und im weiteren Verlauf Lithiumdisilikatkeramik an den halbkonfektionierten Zirkoniumdioxidstift angearbeitet. Die Kombination von Zirkoniumdioxidstift und Kompositaufbau zeigten in einer in vitro Studie von BUTZ et al. hohe Versagensraten und können ihrer Meinung nach nicht für den klinischen Gebrauch empfohlen werden [43]. NOTHDURFT und POSPIECH stellten 2006 im Gegensatz dazu, in einem durchschnittlich 29-monatigem Überwachungszeitraum, keine Unterschiede zwischen direkt und indirekt inserierten Zirkoniumdioxidstiften in Front- und Seitenzähnen fest.

1.2.3 Befestigungswerkstoffe

Die Befestigungsmaterialien und die Kavitäten- sowie die Stiftkonditionierung unterscheiden sich je nach Art des Stiftmaterials grundlegend. In Abbildung 1 sind Abbinde- und Reaktionsweisen der verschiedenen Befestigungsmaterialien sowie deren werkstoffspezifischen Eigenschaften beschrieben [44].

Befestigungsmaterial	Beschreibung	Vorteile	Nachteile
Polycarboxylatzemente	Säure-Base-Reaktion zwischen Metall-Oxiden und Polyacrylsäure	<ul style="list-style-type: none"> • einfache Anwendung • geringe Kosten 	<ul style="list-style-type: none"> • hohe Wasserlöslichkeit
Phosphatzemente	Säure-Base-Reaktion zwischen Phosphorsäure und basischen Oxiden	<ul style="list-style-type: none"> • einfache Anwendung • klinische Erfahrung seit mehr als 100 Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> • geringe Haftung: ausschliesslich retentive Befestigung • hohe Wasserlöslichkeit • sehr spröde
Glasionomerezemente	Säure-Base-Reaktion zwischen Polyacrylsäure und Calciumfluoraluminium-silikat-Glas	<ul style="list-style-type: none"> • Freisetzung von Fluorid • klinische Erfahrung seit mehr als 20 Jahren 	<ul style="list-style-type: none"> • schwache Haftung an Zahnhartsubstanz
Kunststoffverstärkte Glasionomerezemente	Hybridzemente: Glasionomerezemente mit zusätzlichen lichthärtenden Komponenten	<ul style="list-style-type: none"> • Kombination aus anorganischem Netzwerk und lichtinduziertem Polymer-Netzwerk 	<ul style="list-style-type: none"> • meistens schwache Haftung an Zahnhartsubstanz
Befestigungscomposites	organische Monomere und anorganische Füllstoffpartikel; Härtung basiert auf Licht-initiiert oder chemisch initiiert Polymerisation und Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> • abrasionsbeständig • gute Adhäsion an Zahnhartsubstanz • beständig im Mundmilieu • sehr gute Ästhetik durch Farbauswahl möglich 	<ul style="list-style-type: none"> • teilw. techniksensibel • aufwändigere Anwendung

Abbildung 1 - Abbinde- und Reaktionsweisen verschiedener Befestigungsmaterialien (Quelle: Ivoclar Vivadent/ „Wissenschaftliche Dokumentation Multilink® Automix“ 2013)

Ein gegossener Wurzelstift kann klassisch mit einem Zinkphosphatzement oder Glasionomerezement inseriert werden. Alternativ finden auch dualhärtende Befestigungskomposite Verwendung.

Ein isoliert lichthärtendes Adhäsivsystem ist bei der Insertion des StAs nicht zu empfehlen. Es kann dabei nicht gewährleistet werden, dass alle Bereiche der Restauration, wie Stift und mögliche Hohlräume in der Zahnhartsubstanz, vom

Licht der Polymerisationslampe ungehindert erreicht werden können [44]. Zusätzlich bietet das dualhärtende Material die Möglichkeit, durch eine höhere Druckfestigkeit im Vergleich zu klassischen Zinkphosphat- und Glasionomern, vorhandene Lakunen und Hohlräume im Wurzellumen aufzufüllen und einen festen Verbund mit der Zahnhartsubstanz einzugehen (Abbildung 2).

Auch hinsichtlich der Randstabilität und Undichtigkeiten („microleakage“) zeigen dualhärtende, dentale Komposite bessere Ergebnisse als klassische Zink-

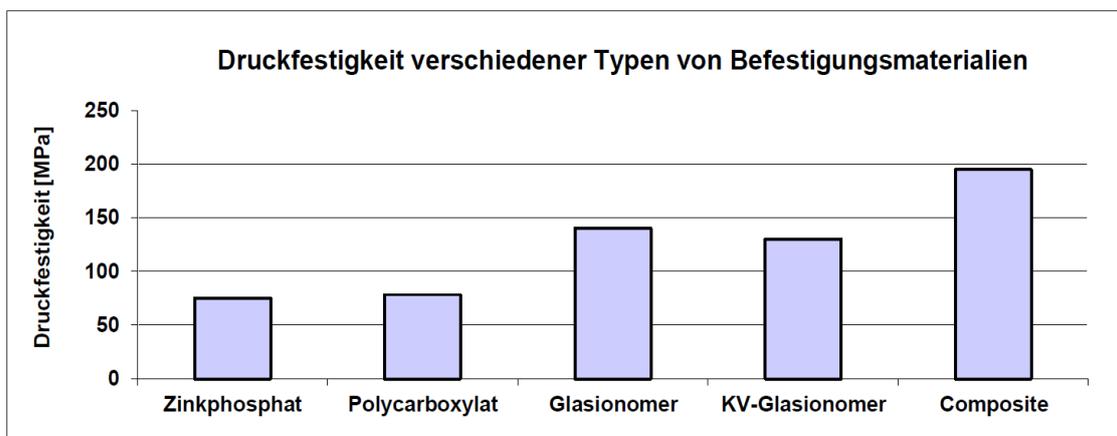


Abbildung 2 - Druckfestigkeit verschiedener Befestigungsmaterialien (Quelle: Ivoclar Vivadent/ „Wissenschaftliche Dokumentation Multilink® Automix“ 2013)

Phosphatzemente wie beispielsweise Harvard Cement [45]. Von den Autoren ASMUSSEN et al. konnte eine Verringerung von Spannungen im Wurzelkanal beobachtet werden, wenn der Stift adhäsiv mit vorheriger Konditionierung eingebracht wurde [46]. Unabhängig vom inserierten Stiftmaterial, ergeben sich nach den Auswertungen von STERZENBACH et al. die höchsten Überlebensraten für adhäsiv zementierte Stifte [6]. Das im Vergleich zu konventionellen Zementen erheblich umfangreichere und techniksensitive Insertionsprotokoll, bildet hinsichtlich Verarbeitungszeit und geforderter absoluter Trockenlegung erwähnenswerte Nachteile. Die Überschussentfernung ist bei (Glasionomer-)Zementen deutlich leichter durchzuführen.

1.2.4 Einfluss der Oberflächenkonditionierung auf die Verbundstabilität

Zur Erhöhung der Verbundstabilität und Verminderung von Scherkräften, gibt es zahlreiche Möglichkeiten die Oberflächen von Wurzelstiften und Dentin chemisch und mechanisch vor der Eingliederung zu bearbeiten. Nach Ansicht der Arbeitsgruppe ASAKAWA et al. erreicht eine mit Al_2O_3 sandgestrahlte Oberfläche von FRC-Stiften durch die Aufrauung eine höhere Verbundstabilität als eine unbehandelte Oberfläche [47]. Die mit einem Erbium-Yag-Laser vorbehandelte Oberfläche zeigte in Untersuchungen von ARSLAN et al. ebenso bessere Ergebnisse als eine unbehandelte [48]. VALANDRO et al. kamen 2006 zum Ergebnis, dass die Kombination einer mikromechanisch und chemisch behandelten Oberfläche eines FRC-Stiftes mit silikatisiertem Aluminiumoxidpulver (Rocatec, 3M Espe) und anschließender Silanapplikation vergleichsweise bessere Ergebnisse erzielt als die Vorbehandlung mit 10%iger Flusssäure oder 32%iger Phosphorsäure mit Silan [49]. Auch eine selektive Silanisierung der Stiftoberfläche wirkt sich nach Ergebnissen von KIM et al. im Jahr 2013 positiv auf die Verbundstabilität aus [50]. Die Rauigkeit der Zahnstumpfoberfläche hat einen weiteren Einfluss auf den Verbund zum Kompositaufbaumaterial. Hierbei sollte eine grobe, mit Grünringdiamant erzeugte Oberfläche, einer finierten Oberfläche vorgezogen werden [51].

1.2.5 Der Ferrule- Effekt

Die Versorgung von Zähnen mit ausgedehnten koronalen Defekten unterliegt gewissen Gesetzmäßigkeiten. Zum einen ist es bei einer Infektion des pulpalen Gewebes zwingend notwendig eine suffiziente Wurzelkanalaufbereitung und -füllung durchzuführen, zum anderen sollte nach Kariesexkavation genügend Zahnhartsubstanz verbleiben, um den Halt einer späteren Kronenversorgung zu garantieren. Die Spannungsverteilung von auftreffenden Kaukräften sollte dabei optimal auf die Zahnwurzel und das umgebende Parodont übertragen werden. Die Bedeutung des Ferrule oder auch Fassreifeneffekt wurde erstmals 1990 von SORENSEN und ENGELMANN beschrieben [52]. Die Arbeit befasst sich

mit den Auswirkungen verschiedener Fassreifendesigns auf die Frakturanfälligkeit von Zahnstümpfen. Hierbei wird eine gleichmäßige Reststumpfhöhe von mindestens 1mm gefordert. In diesem Fall erhöht sich die Überlebenswahrscheinlichkeit (ÜW) der Einheit aus Zahnwurzel und Restauration um das Doppelte im Vergleich zu Zähnen, bei denen die geforderte Reststumpfhöhe nicht erreicht wird. Nach heutigen Kenntnissen repräsentativer Reviews und Meta-Analysen erzeugt ein zirkulär 1,5 bis 2mm messender Fassreifen einen positiven Effekt auf die Frakturresistenz endodontisch behandelter Zähne [53][54]. Insbesondere die am marginalen Übergang von Zahnkrone zu Zahnwurzel entstehenden Kraftspitzen von FRC-Stiften können durch einen Ferrule minimiert werden [55][56][57][58]. Die Ergebnisse von TAN et al. zeigten, dass ein zirkulär nicht einheitlicher Fassreifen (0,5mm-2,0mm) zwar eine deutlich höhere Frakturanfälligkeit besitzt als ein einheitlich 2mm hoher, jedoch statistisch signifikant geringer als ein Zahnstumpf mit fehlendem Fassreifen [59]. Zusammenfassend wurde schon von JULOSKI et al. in einem Literatur-Review 2012 über den Ferrule Effekt berichtet, dass er auch die Kraftereinwirkung bei Kaubelastung gleichmäßiger auf den Stiftaufbau verteilt und den Adhäsivverbund bzw. die Zementfuge in geringerem Ausmaß schwächt [54]. In einem systematischen Review von NAUMANN et al. konnte in den herangezogenen Studien nicht ausreichend belegt werden, dass die Stiftversorgung wurzelkanalbehandelter Zähne zu einer Herabsetzung der Frakturanfälligkeit führt. Jedoch zeigte der Ferruleeffekt einen positiven Einfluss auf die Stabilität [9].

1.3 Rekurrente Versagensmodi konventioneller Stiftstumpf-Aufbau-Systeme - adäquate Lösungsansätze

Planungsfehler sowie material- und insertionsbedingte Komplikationen bei der Stiftversorgung können zum Misserfolg konventioneller Stiftstumpf-Systeme führen. Zusätzlich beeinträchtigen Techniksensitivität und Idiopathie die ÜW

eines Stiftstumpf-Aufbaus. In Tabelle 4 sind potenzielle Komplikationen der Stiftversorgung, deren Ursache und adäquate Lösungsansätze zusammengefasst. Beispielsweise kann die Gefahr der Wurzelperforation lediglich durch die Verkürzung der Aufbereitungstiefe und einer angemessenen Röntgendiagnostik mit zusätzlicher exzentrischer Darstellung der Wurzelanatomie und Zahnachse vermindert werden. Eine weitere Komplikation kann durch das gewählte Stiftmaterial auftreten: durch einen hohen E-Modul und eine geringe Biegefestigkeit des Stiftmaterials können hierbei bei Kaubelastung Spannungsspitzen auftreten, die innerhalb des Stiftmaterials nicht in die umliegenden Gewebe (Wurzeldentin/parodontaler Faserapparat) abgeführt werden. Das kann im Extremfall zur Stiftfraktur führen. Kompensatorisch sollte deshalb ein Material mit angepasstem E-Modul und einer hohen Biegefestigkeit verwendet werden. In Untersuchungen von KAYA et al. zeigten Zirkoniumdioxidstifte vergleichbare Werte in Belastungsversuchen wie FRC-Stifte [60]. Die Länge der Zirkoniumdioxidstifte musste jedoch deutlich größer sein, um vergleichbare Ergebnisse zu erzielen. Allgemein wird dem Werkstoff ZrO_2 hohe Steifheit und Härte sowie das Fehlen einer plastischen Verformbarkeit zugeschrieben [38][61][62]. Die Frakturanfälligkeit ist nach Meinung einiger Autoren erhöht [42][42]. Neben Stiftfrakturen stellen Frakturen des Wurzeldentins einen weiteren üblichen Versagensmodus dar. Dabei kann zusammengefasst berichtet werden, dass bei Stiftstumpf-Aufbauten aus Materialien mit hohem E-Modul (ZrO_2 , Au/Pd/Ir, gegossene StA) apikale Wurzelfrakturen und mit niedrigem E-Modul (FRC-Stifte) zervikale Frakturen begünstigt werden können [63][26][43]. Zusätzlich hat die Richtung, aus der die Belastung auf den Zahn trifft, Einfluss auf die Lokalisation und den Frakturverlauf in der Wurzel [64]. So ist das Stressmaximum bei null Grad zur Wurzellängsachse apikal gelegen und bei 45 und 90 Grad zervikal am Übergang von Stiftaufbau und Wurzeldentin. Belastungsspitzen mit dem Risiko von kleinen Frakturen entstehen verstärkt bei Wurzelschrauben [14][15]. Dabei wird von den Autoren auf das schmale Anwendungsspektrum verwiesen. Ein vorspannungsfreier Sitz des Stiftes ermöglicht einen suffizienten Kraftschluss der Grenzflächen Stift/Dentin und optimiert die Überführung auftreffender und

abziehender Kräfte in die umliegenden Dentinareale zervikal/apikal. Eine stark verkürzte Restwurzelfüllung und „microleakage“ an den Grenzflächen sind weitere Aspekte, die zu (endodontischen) Komplikationen führen können. AL-MADI et al. vertreten die Auffassung, dass derzeit kein Adhäsivsystem bzw. Befestigungszement in der Lage ist „microleakage“ zu verhindern [65]. Ein geringer Vorteil wird in dieser Studie jedoch „total-etch“-Adhäsivsystemen gegenüber den Zementen zugeschrieben [66][67]. Die geringste Gefahr von Verbundproblemen und daraus resultierenden Kapillareffekten stellt nach Ansicht der Arbeitsgruppe von BASARAN et al. die Verwendung eines Zirkoniumdioxidstiftes mit adhäsivem Insertionsmodus dar [68]. Auch unter diesem Gesichtspunkt kann es vorteilhaft sein, die Aufbereitungstiefe zu verkürzen. Ein zentraler Faktor bei adhäsivem Verbund und Zementierung ist der Kraftschluss zwischen Stift und Wurzelentin. Die potenzielle Gefahr einer Dezementierung und damit einhergehendem Retentionsverlust kann zum einen bei Überbelastung durch extraaxiale und parafunktionelle Schubkräfte (Bruxismus, Habits) und zum anderen durch Verarbeitungsfehler techniksensitiver Adhäsivsysteme sowie Fehlen einer formkongruenten Passung entstehen. SARKIS-ONOFRE et al. formulieren zusammenfassend in ihrem Literatur- und Meta-Review, dass einerseits die Verwendung eines adhäsiven Insertionsmodus die Verbundstabilität erhöhen kann, andererseits jedoch eine hohe Heterogenität bei den Ergebnissen in in vitro-Studien herrscht [69]. Neben der Formkongruenz von Stift und Bohrkanal sollte der Wurzelstift einen vorspannungsfreien Sitz aufweisen. Eine zusätzliche makromechanische Verankerung könnte, ergänzend zum Kraftschluss des Adhäsivverbundes, abziehenden Kräften entgegenwirken.

Tabelle 4 - Rekurrente Versagensmodi und adäquate Lösungsansätze

Versagensmodus	Ursache	Lösungsansatz
Perforation der Wurzel	Vorbohrung und Stiftbettaufrbereitung	Verkürzung Aufbereitungstiefe, adäquate Röntgendiagnostik
Stiftfraktur	Materialüberbelastung, hoher E-Modul, geringe Biegefestigkeit	Kürzerer Stift, Stiftmaterial
Dentinfraaktur	E-Modul hoch → apikale Fraktur, E-Modul niedrig → zervikale Fraktur, Spannungsspitzen an Gewindegängen bei Schrauben	optimierte Überführung der auftreffenden Kaukräfte auf das zervikale und apikale Dentin, vorspannungsfreier Sitz des Stiftes
Retentionsverlust/ Dezementierung	Kraftschlüssiger Verbund bei extraaxialen, parafunktionellen Kräften überbelastet	Adhäsiver Insertionsmodus, vorspannungsfreier Sitz des Stiftes, zusätzliche makromechanische Verankerung
Endodontische Komplikation	Verkürzung der Restwurzelfüllung bei Wurzelkanalaufbereitung, Microleakage	Verkürzung der Aufbereitungstiefe, adhäsiver Insertionsmodus und rigides Stiftmaterial zur Verminderung von microleakage

1.4 Der Würzburger Stift - Design und endgültige Bemaßung

Nach Identifizierung der üblichen Versagensmodi, ihrer Ursache und der Formulierung adäquater Lösungsansätze, wurde ein neuartiges Design vorgeschlagen, um die Kraftweiterleitung in die Wurzel zu verbessern und gleichzeitig Widerstand gegen abziehende Kräfte zu erzeugen. Der StA soll dabei die Forderung nach einer kürzeren Stiftlänge realisieren, die Perforationsgefahr bei der Bohrung vermindern und eine längere Restwurzelfüllung gewährleisten. Durch die inverse Konizität erhält der Stift gleichzeitig die Fähigkeit, abziehenden Kräften entgegenzuwirken und auftreffende Kaukräfte in horizontaler und vertikaler Richtung durch den großen Tellerdurchmesser und die gefräste Umlauffassung gleichmäßig zu verteilen [70].



Abbildung 3 - Würzburger Stift als KONUS- und KUGEL-Variante (Quelle: Julian Boldt/ Universität Würzburg)

In Abbildung 3 werden beide Versionen des Würzburger Stiftes dargestellt: auf der linken Seite die Version für festsitzende Versorgungen mit konischem und beschleifbarem Rohstumpf, auf der rechten Seite die Variante für herausnehmbaren Zahnersatz mit einem 2,25mm Kugelkopf.

Das Lastenheft des Würzburger Stiftes umfasst verschiedene Aufgaben [70]:

- Option zur Verankerung in möglichst vielen Zahnwurzeln
- größtmöglicher Erhalt von Zahnhartsubstanz
- ausreichend feste Verankerung bei physiologischer Belastung
- Anwendbarkeit für nicht-herausnehmbare oder herausnehmbare Prothetik
- Kompatibilität zu gängigen Verbindungselementen
- Biokompatibilität
- sichere und zeitsparende Anwendung für den Behandler
- Integrierbarkeit in zahntechnische Prozesse
- einfache mechanische Ausführung
- kostengünstige Herstellung

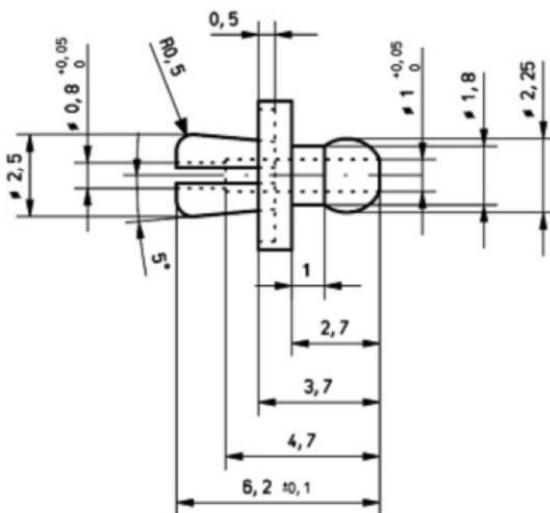


Abbildung 4 - Endgültige Bemaßung des Stiftes (Quelle: Julian Boldt/ Universität Würzburg)

Ein Spreizwinkel von 6° und der Tellerdurchmesser von 4,5mm wurde als beste Variation ermittelt, um ein breites Anwendungsspektrum zu ermöglichen [70].

Folgende Abmaße ergeben sich für den Würzburger Stift (Abbildung 4):

- Tellerdurchmesser 4,5mm
- Spreizdorndurchmesser von apikal 2,5mm
- Spreizwinkel von 6° in gespreiztem Zustand
- zirkuläre Einfassungstiefe von 0,5mm
- Kugelkopf mit 2,25mm Durchmesser zur Aufnahme einer konfektionierten Matrize

In zahlreichen Versuchen (Finite-Elemente-Simulation, Abzugs- und Lateralbelastungsversuch) und in vitro-Tests wurde das Design und die Bemaßung geprüft und im Rahmen der damals gültigen rechtlichen Bedingungen als Medizinprodukt zugelassen.

1.4.1 Insertionsprotokoll

Die Bruchfläche des frakturierten Zahnes wird zunächst für die Stiftbettpräparation mit einer diamantierten Walze geebnet (Abbildung 5). Im zweiten Schritt wird eine 1-2mm tiefe Ankörnung mit Hilfe einer diamantierten Kugel in der zukünftigen Mitte des Stiftkörpers angelegt (Abbildung 6). Darauf folgt die Pilotbohrung, die möglichst in der späteren prothetischen Einschubrichtung, im Idealfall auch in axialer Richtung zur Zahnwurzel, verlaufen sollte. Der Pilotbohrer legt dabei in einem Arbeitsschritt das 3mm tiefe, zylindrische Basisloch, die Auflagefläche und die 0,5mm tiefe, 0,5mm breite und 4,5mm diametral messende Ringnut an (Abbildung 8).



Abbildung 5 - Ausgangssituation: Der avitale Zahn 44 war vor Fraktur mit einer Einzelzahnkrone versehen (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)



Abbildung 6 - Mit einer diamantierten Kugel wird der zukünftige Mittelpunkt der Stiftbohrung festgelegt (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)



Abbildung 7 - Pilotschleifer des Würzburger Systems: mit diesem Werkzeug werden das zylindrische Basisloch und die umlaufende Nut geschaffen (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)



Abbildung 8 - Pilotbohrung: Mit dem Pilotbohrer werden in einem Arbeitsgang das zentrische Sackloch, die Stirnfläche und eine umlaufende Nut erzeugt (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)

Im nächsten Schritt wird das zylindrische Bohrloch in eine, dem Spreizdorn des Würzburger Stiftes entsprechende, Form gebracht. Hierzu dient der Spreizschleifer, der das zylindrische Bohrloch in eine invers konische Kavität umformt. Dazu wird zunächst die Bohrkronen auf die Vorbohrung fest aufgesetzt und nachfolgend mit dem im Winkelstück befindlichen Mitnehmer bis zum Endpunkt bei 40000 U/min unter Wasserkühlung heruntergedrückt (Abbildung 11). Die Lamellen der Bohrkronen werden dabei bis auf das Endmaß gespreizt und der Motor gestoppt. Die Entnahme von Mitnehmer und Bohrkronen erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.



Abbildung 9 - Bohrkronen bei Insertion des Mitnehmers (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)



Abbildung 10 - Eingeführte Bohrkronen in die Kavität der Pilotbohrung (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)



Abbildung 11 - Insertion des Mitnehmers und Umformen des Sacklochs zur invers konischen Kavität mit darauffolgender Entnahme in umgekehrter Reihenfolge (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)



Abbildung 12 - Die fertige Kavität (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)

Nach erfolgter Reinigung mit Wasserspray kann mit den Vorbereitungen zum adhäsiven Einsetzen des Stiftes begonnen werden. Hierbei wird der Zahnstumpf mit 40%iger Phosphorsäure für eine Dauer von 15 Sekunden geätzt, danach nach Herstellervorgaben mit einem Adhäsivsystem inseriert. Dabei benetzt man, zur Vermeidung von Lufteinschlüssen, die Lamellen des Stiftes sowie die Kavität, setzt den Anker ein und schiebt den Spreizdorn sofort bis zur Endposition in den Aufbau (Abbildung 13).



Abbildung 13 - Einsetzen des Stiftes mit einem dualhärtenden Adhäsivsystem (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)

Nach Aushärtung wird der überschüssige Anteil des Spreizdornes gekürzt und entgratet. Kugelanker bedürfen keiner weiteren Bearbeitung. Konische Stiftaufbauten sollten, sofern nötig, durch Schleifen an den Platzbedarf der

folgenden Restauration angepasst und mit zwei ca. 0,5mm tiefen Rillen als Rotationssicherung versehen werden.



Abbildung 14 - Situation nach Entfernung von Kompositüberschüssen und Präparation (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)



Abbildung 15 - Kugelvariante nach dem Inserieren und vor Verschleifen und Polieren des Spreizdorns (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)



Abbildung 16 - Würzburger Stift in situ ein Jahr nach Insertion (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)

Abbildung 16 zeigt einen Würzburger Stift mit Kugelkopf als Ersatz nach Fraktur der Teleskopkrone des Zahnes 33. In weiteren Schritten wird mit Hilfe eines dualhärtenden Adhäsivsystems eine Dalbo-Plus-Matrize (Cendres+Métaux SA, Rue de Boujean 122, 2501 Biel/Bienne, Schweiz) in das vorhandene Außenteleskop der Prothese in situ einpolymerisiert. Nach der Überschussentfernung wird die Ein- und Ausgliederung mit dem Patienten geübt sowie weitere Mundhygienemaßnahmen besprochen.



Abbildung 17 - Dalbo Plus® – Matrize im Außenteleskop 33 einpolymerisiert (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)

Durch die Versorgung mit dem Würzburger Stift konnte die Funktionalität des Zahnersatzes innerhalb einer Behandlungssitzung wiederhergestellt werden (Abbildung 17).

1.4.2 Stressverteilung in der FEA (Finite Element Analysis)

Um die Kraftverteilung bei Belastung zu veranschaulichen, wurde der Würzburger Stift einer Finite Elemente Simulation mit Hilfe des Programms SolidWorks (SolidWorks GmbH, Haar) unterzogen. In Ermangelung von Materialkonstanten des Dentins wurden die relevanten Werte aus der Literatur interpoliert. Als Näherung erster Ordnung diente die Kompakta des menschlichen Knochens, um einen guten Mittelwert der natürlichen Varianzen des Dentins zu finden. Für den Stiftkörper wurde als Werkstoff Reintitan Grad IV verwendet, dessen Eigenschaften bekannt waren [70].

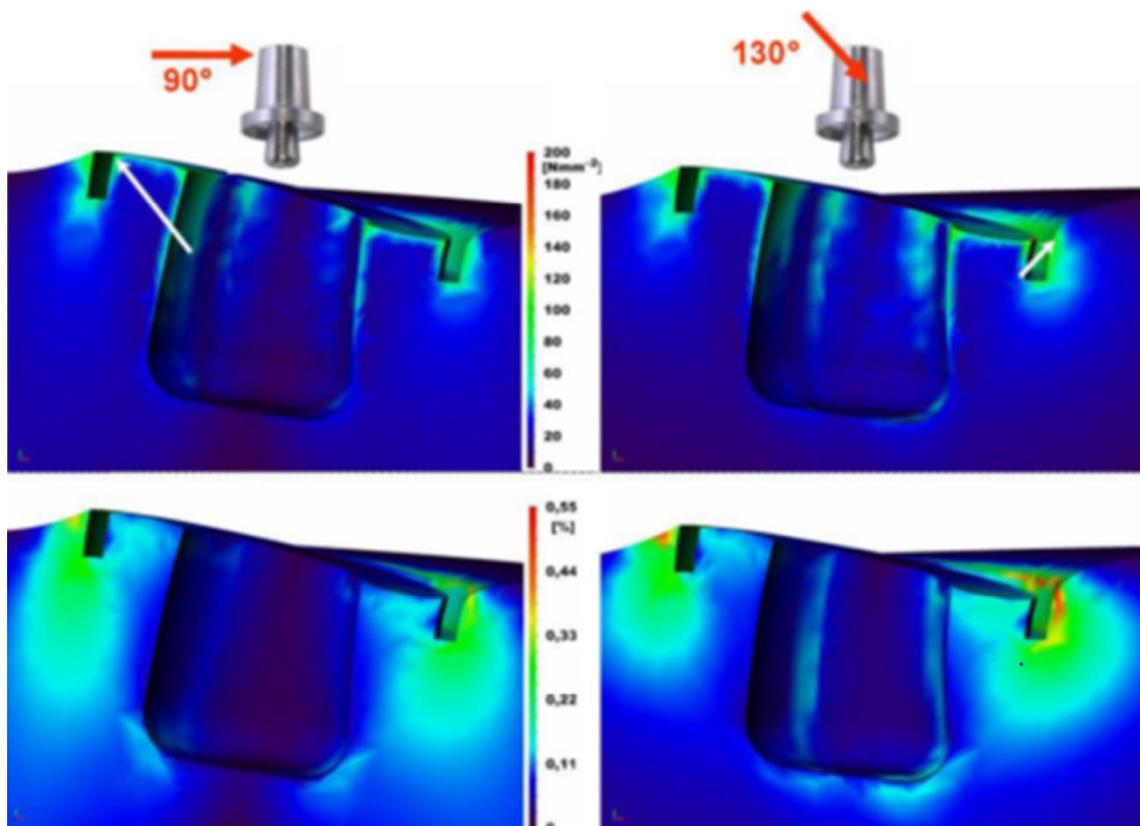


Abbildung 18 - FEA Spannungs- Dehnungsdiagramm Würzburger Stift (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)

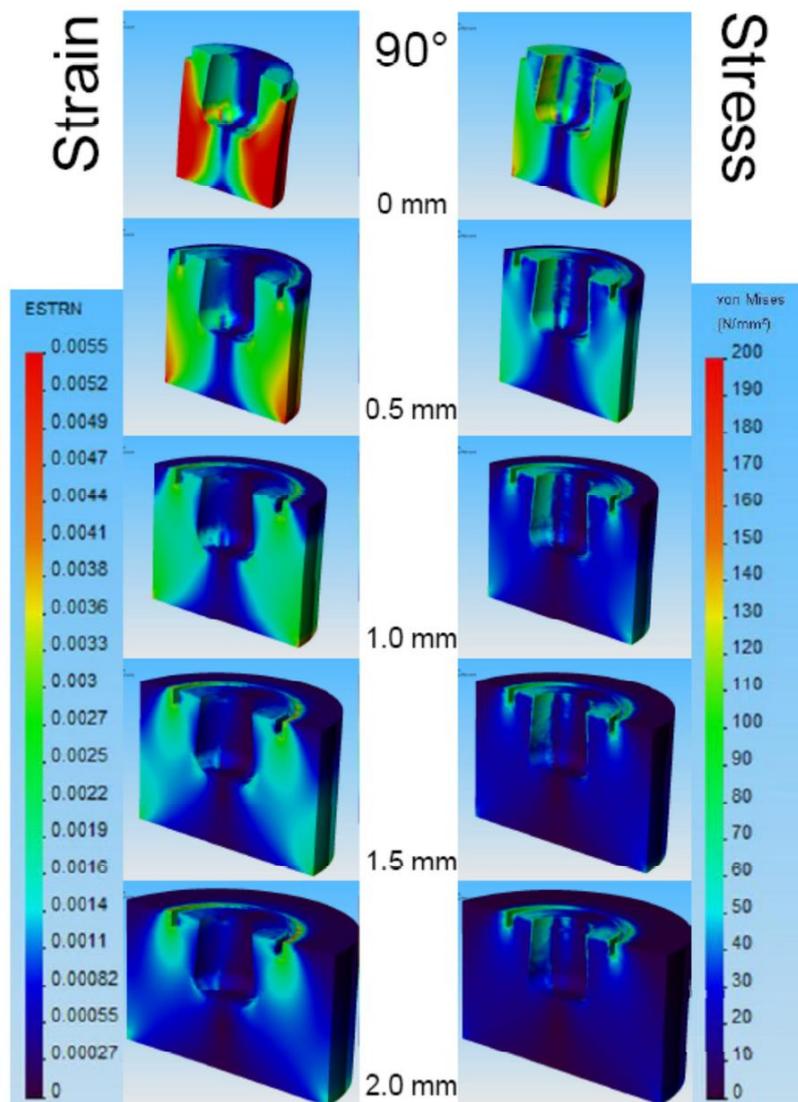


Abbildung 19 - Spannung und Dehnung im Dentin unter 90° Belastung bei zunehmendem Dentinquerschnitt (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)

Bei Lateralbelastung befindet sich der Ort der höchsten Spannung (97N/mm^2) in jenem Dentinvolumen, das auf der Kraft zugewandten Innenseite der zirkulären Einfassung liegt. Dieses Volumen wurde somit auf Zug belastet. Die Spannungs- (obere Zeile) und Dehnungsdiagramme (untere Zeile) unter lateraler (linke Reihe) und schräger Belastung (rechte Reihe) zeigen welche Daten experimentell im Bruchversuch ermittelt wurden (Abbildung 18). Die Deformation ist aus Gründen der Übersichtlichkeit 100-fach vergrößert dargestellt. Die kritische Dentinspannung wird bei schräger Belastung (130°) auf der gegenüberliegenden Seite, somit der Druckspannungsseite außerhalb

des Ringes erreicht. Dort wird das Dentin komprimiert [70]. Besonders hervorzuheben ist, dass bei beiden Versuchen keine spreizenden Kräfte im Bereich der Wurzel auftraten, wie sie üblicherweise bei konfektionierten Stiften bei gleicher Belastung auftreten können. Die Spannungsspitzen konzentrieren sich überwiegend auf das zervikale Dentinvolumen. Ähnliche Belastungen wurden schon bei den FRC-Stiften beobachtet [31]. Bei den folgenden Versuchen wurden weitere Parameter, wie der Dentindurchmesser, ermittelt. Hier zeigte sich, dass ab einem Überstand von 1mm von Dentin über die Einfassung hinaus nur noch eine marginale Senkung des Spannungsniveaus resultiert.

1.5 Klinische Bewährung des Würzburger Stiftes

Der in vitro-Phase schließen sich Beobachtung und Bewertung der klinischen Erfahrungen an. Zu diesem Zweck wurden weitere Studien durchgeführt, um Komplikationen, unvorhergesehene Effekte und Überlebensdauern zu erfassen und diese in mögliche weitere Iterationen des Designs zu implementieren.

2 Material und Methode

2.1 Studienkollektiv

In der vorliegenden retrospektiven klinischen Studie wurden ausschließlich Patienten der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Universität Würzburg eingeschlossen, für die ein positives Ethikvotum (Bearbeitungsnummer 128/06) der Ethik-Kommission der Medizinischen Fakultät der Universität Würzburg vorlag. Die Teilnahme an der Studie war freiwillig. Die Probanden wurden über den Zweck der Studie und über den Behandlungsablauf informiert und erteilten ihr Einverständnis. Die Rekrutierung fand über den gesamten Beobachtungszeitraum statt. Als Einschlusskriterien für die Aufnahme in die Studie galten:

1. Mindestalter von 18 Jahren
2. Versorgung mit einem Zahnersatz in der Poliklinik für zahnärztliche Prothetik der Universität Würzburg
3. ein bis mehrere Stiftstumpf-Aufbauten sind erforderlich

Auf eine weiterführende Vorselektion wurde bewusst verzichtet, um klinisch repräsentative Ergebnisse zu erhalten. So wurden auch Zähne mit erheblichen Substanzverlusten versorgt, solange diese keinen Anhalt für ein apikales Entzündungsgeschehen und keine klinischen Anzeichen einer erhöhten (unphysiologischen) Lockerung aufwiesen. Die parodontale und endodontische Prognose der zu versorgenden Zähne wurde im Einklang zur Verwendung konventioneller Stiftstumpf-Systeme gestellt. Bis zum Beobachtungsende wurden 349 Würzburger Stifte inseriert, wobei jeder Fall (= inserierter Stift) einzeln betrachtet und gezählt wurde. Die Patienten wurden weiterhin, sofern sie nicht ohnehin schon zur zahnärztlichen Regeluntersuchung erschienen, in ein regelmäßiges Recall-Schema aufgenommen. Das zeitliche Intervall betrug sechs Monate entsprechend dem üblichen zahnärztlichen Kontrollregime. Jeder Patient wurde weiterhin instruiert sich bei subjektiven Beschwerden

unverzöglich vorzustellen. Das daraus gewonnene Datenmaterial wurde zur Erhebung und Auswertung von Lebensdauer und aufgetretenen Versagensursachen genutzt. Bei Stiftinsertion und bei den Kontrolluntersuchungen wurden folgende Werte erhoben und abgeglichen:

- Name, Geburtsdatum
- Stifttyp (Kugel Ø 2,25mm/Ø 3,0mm; Konus)
- FDI-Schemabezeichnung des versorgten Zahnes
- Datum der Stiftinsertion
- Datum des letzten Recalls
- ggf. Datum des Beobachtungsendes
- ggf. Grund für Beobachtungsende
- Behandler
- Freitext

Im Freitext wurden klinisch relevante Besonderheiten oder Unregelmäßigkeiten notiert, jedoch nicht in die Auswertung dieser Arbeit einbezogen. Dazu zählten u. a.:

- Taschentiefe
- Karies
- Zahnlockerung
- Randspalten
- Perkussionsempfindlichkeit
- subjektive Einschätzung der Mundhygiene

In der röntgenologischen Beurteilung wurden Suffizienz der Wurzelfüllungen, apikale Transluzenzen sowie das Knochenniveau betrachtet.

Das Durchschnittsalter des Patientengutes zum Zeitpunkt der Stiftinsertion lag bei 70 Jahren. Die Streuung um diesen Mittelwert ist deutlich: sie beschreibt ihr Maximum bei 92 Jahren und ihr Minimum bei 44 Jahren.

Die Geschlechterverteilung kann als ausgeglichen betrachtet werden (Abbildung 20). Zum Zeitpunkt des Beobachtungsendes 01.04.2015 waren noch 158 Stifte intakt, diese bilden die Indexgruppe.

Patientenverteilung w/m bei Stiftinsertion

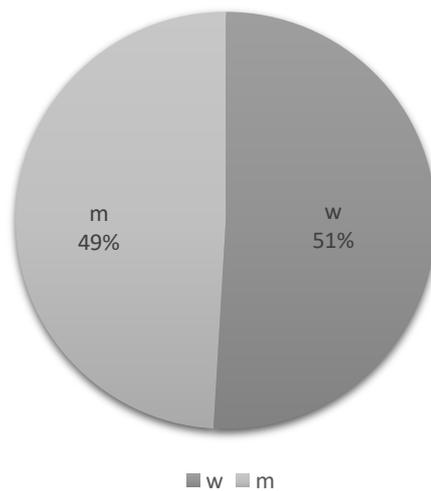


Abbildung 20 - Geschlechterverteilung inserierter Würzburger Stifte

2.2 Studienkonzept

Diese retrospektive klinische Studie soll die ÜW des Würzburger Stiftes über einen Beobachtungszeitraum von neun Jahren aufzeigen und Aufschluss über die Versagensursachen geben.

Die Gesamtanzahl von 349 inserierten Stifte setzt sich aus Kugelankern und Konusstiften zusammen (Abbildung 21). Nach Abzug der nicht evaluierbaren Stifte (s.g. „Drop-outs“) reduzierte sich die Gesamtstiftanzahl auf $n_{\text{GESAMT}} = 320$, die in 229 Patienten inseriert wurden. Stifte wurden zur Gruppe der „Drop-outs“ zugeordnet, wenn Kontrolltermine nicht eingehalten wurden oder die Patienten nach Stiftinsertion nicht mehr erreicht werden konnten. Eine Erinnerung zum halbjährlichen Recall wurde dabei mindestens dreimal telefonisch und einmalig auf postalischem Weg versucht.

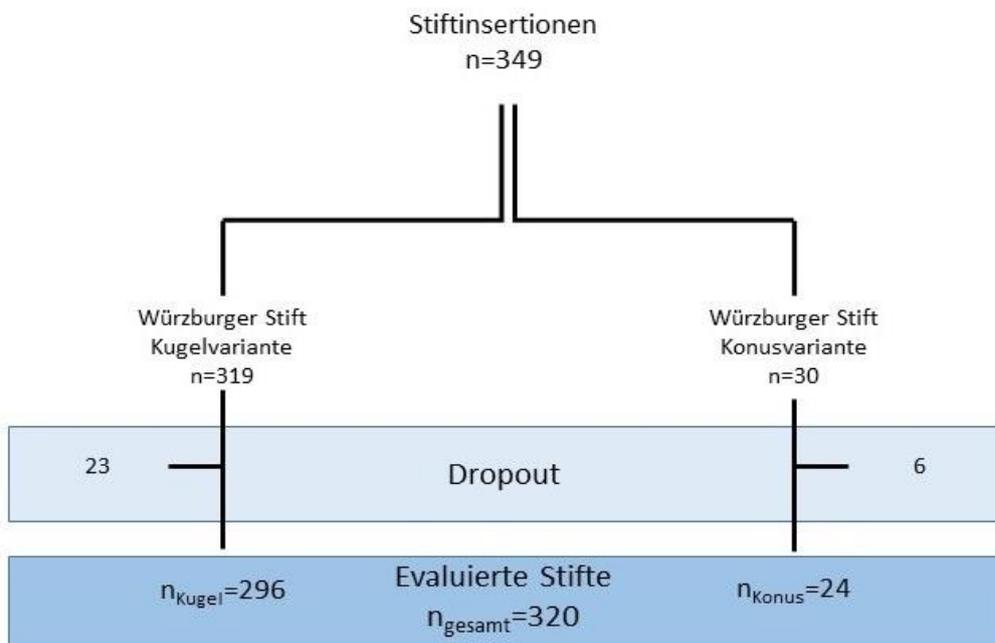


Abbildung 21 - Insertionen und evaluierte Würzburger Stifte als Kugel- und Konusvariante

2.3 Stiftversagen

Das Versagen eines Würzburger Stiftes (Konus- oder Kugelvariante) wurde durch verschiedene Kriterien charakterisiert und eingeordnet. Tabelle 5 zeigt die unterschiedlichen Versagensursachen mit und ohne Relevanz für die Konstruktionseinheit aus Stift und Zahn.

Tabelle 5 - Stiftversagen

Versagen mit Relevanz für die Konstruktionseinheit aus Stift und Zahn	Versagen ohne Relevanz (zensiert)
Stiftverlust aufgrund von Sekundärkaries	Endo-Paro Läsion (biologische Komplikation ohne Kausalzusammenhang)
Dentinfraaktur (biologische Komplikation mit Kausalzusammenhang)	Extraktion des mit Stift versorgten Zahnes durch Fremd- oder Nachbehandler im Zusammenhang mit einer prothetischen Neuversorgung
Dezementierung	Anwendung außerhalb der für das Produkt festgelegten Spezifikationen, z. B. ohne Beseitigung einer erhöhten Prothesenkinematik/andere Verarbeitungsfehler
Stiftverlust ohne erkennbare Kausalität	schwere Erkrankung/Patient verstorben hohe Kariesaktivität/ offensichtliche Mundhygienemängel

Die zum Zeitpunkt des Beobachtungsendes noch intakten Stifte, für die kein Ereignis eingetreten ist, stellen für die Statistik (Kaplan-Meier-Auswertung) nur einen untergeordneten Stellenwert dar.

2.4 Untersuchungsprotokoll und statistische Analyse

Das Instrumentarium bestand bei allen Kontrolluntersuchungen aus zahnärztlicher Sonde, Mundspiegel und kleinem Speichelzieher. Eine zahnärztliche Fachangestellte assistierte. Zur Dokumentation wurden mit einer Spiegelreflexkamera der Firma Nikon D 700 und einem Makroobjektiv (Nikon Nikkor Medical 120mm) mit integriertem Ringblitz Bilder zur Dokumentation aufgenommen. Wangenabhalter aus rostfreiem Medizinstahl, ein Spiegel mit Handgriff für Aufbissaufnahmen und ein Spiegel mit Handgriff für Seitenzahnaufnahmen wurden verwendet. Der älteste inserierte und noch intakte Stift war zum Beobachtungsende (01.04.2015) neuneinhalb Jahre inseriert. Zur Auswertung der erhobenen Daten wurde die Darstellung der ÜW mit einem 95 %-Konfidenzintervall vorgenommen. Hierbei wurden die Daten tabellarisch nach den Vorgaben des Kaplan-Meier-Schätzers arrangiert und für Gesamt-, Konus- und Kugelvariante berechnet. Die Überlebensfunktion beschreibt hierbei die Wahrscheinlichkeit einen Zeitpunkt t zu überleben bzw. bis zu einem Zeitpunkt t noch ereignisfrei zu sein und ist definiert als $S(t) = P(T > t)$, wobei T die Überlebenszeit bzw. die Ereigniszeit bezeichnet [71]. Dargestellt wird die Überlebenszeit dabei, in Abhängigkeit von der ÜW, in Form von Kaplan-Meier-Plots. Mit Hilfe der Kaplan-Meier-Kurven lassen sich dabei zusätzlich Überlebensraten bestimmen. Überlebensraten geben an, bei wie vielen Patienten bis zu einem bestimmten Zeitpunkt noch kein Ereignis eingetreten ist. Der letzte für die Auswertung herangezogene Zeitpunkt wurde neun Jahre nach Studienbeginn festgesetzt. Die Daten wurden selbstständig im Statistikprogramm XLSTAT© (Addinsoft SARL, rue Damrémont 40, 75018 Paris, Frankreich) arrangiert, ausgewertet und in Kaplan-Meier-Plots dargestellt.

3 Ergebnisse

Nach Beobachtungsende der Studie wurden die Untersuchungsdaten ausgewertet. Beide Varianten des Würzburger Stift-Systems wurden einander gegenübergestellt. Verglichen wurden die Überlebensraten und -wahrscheinlichkeiten sowie Lokalisation der inserierten Stifte gemäß FDI-Schema. Patienten, die weder auf Recallbriefe noch auf Anrufe antworteten und die ersten Nachuntersuchungstermine nicht einhielten, wurden aus der Studie ausgeschlossen, da keine Zeit unter Risiko zu bestimmen war. Demnach ergibt sich eine Dropout-quote („lost to follow-up-rate“) von 8,31 % (29 von 349 inserierten Würzburger Stiften). Somit konnten $n_{\text{GESAMT}} = 320$ Würzburger Stifte, bestehend aus $n_{\text{Konus}} = 24$ und $n_{\text{Kugel}} = 296$ in die Studienausswertung einfließen. Des Weiteren wurden Patientenfälle aus dieser Studie zur Untermalung der klinischen Relevanz zu kurzen Falldokumentationen zusammengestellt und klinische Ergebnisse beschrieben.

3.1 Patientenkollektiv

Zum Zeitpunkt der Stiftinsertion wurde eine fast ausgeglichene Geschlechterverteilung (49 % männlich und 51 % weiblich) beobachtet (Abbildung 20). Die Altersverteilung der Probanden bei der Stiftinsertion und bei Beobachtungsende der Studie zeigen Abbildung 22 und Abbildung 23. Dabei ergibt sich zum Zeitpunkt der Insertion ein errechneter Altersdurchschnitt von 70,0 Jahren bei Frauen (n = 163) und 70,7 bei Männern (n = 157). Die Altersverteilung bei Stiftinsertion zeigt ein Altersminimum bei 44 und ein Altersmaximum bei 92 Jahren. Das Altersintervall von 64 bis 77 Jahre repräsentiert die größte Gruppe der Probanden bei Stiftinsertion. Bei Beobachtungsende der Studie hat die Gruppe der 73- bis 78-Jährigen den größten Anteil.

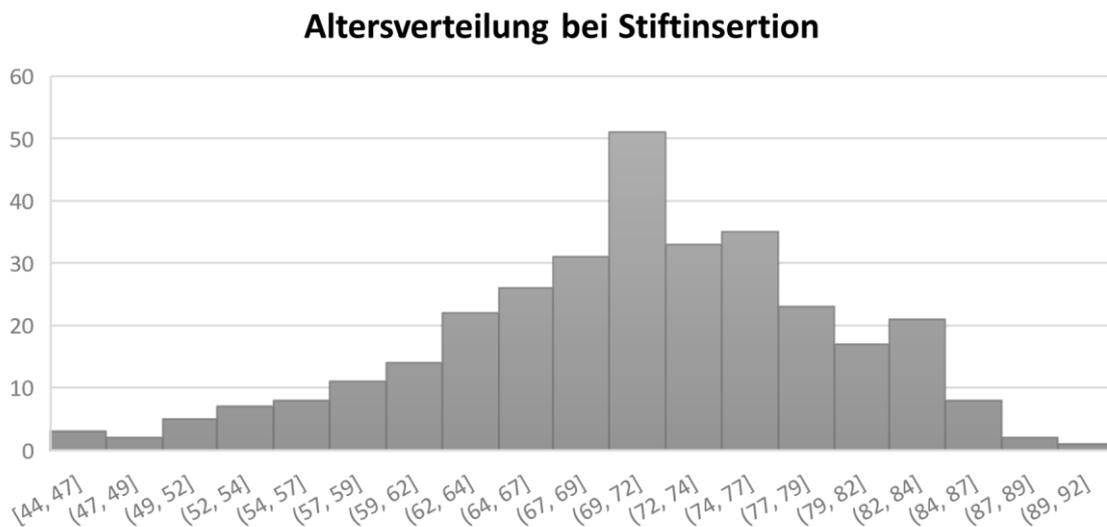


Abbildung 22 - Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Stiftinsertion

Altersverteilung bei Beobachtungsende

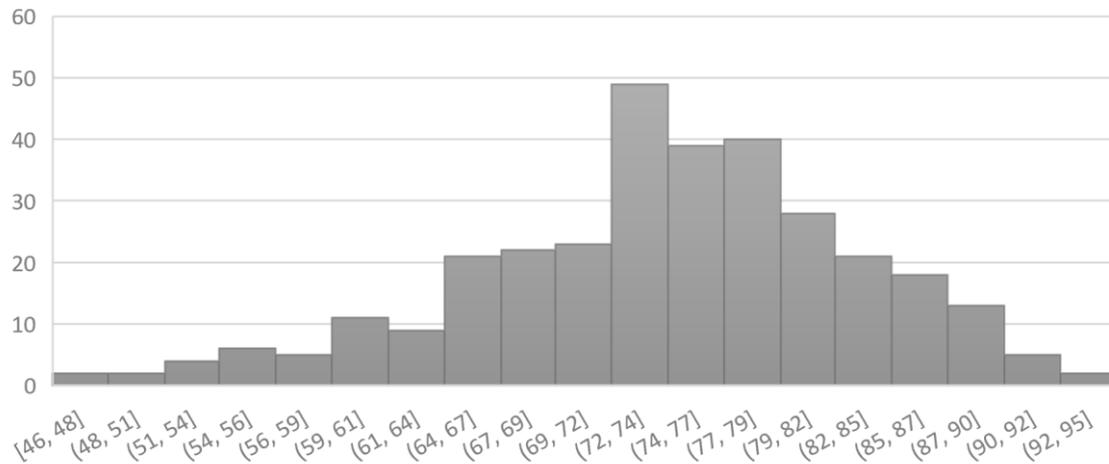


Abbildung 23 - Alter der Patienten zum Zeitpunkt des Beobachtungsendes 01.04.2015

Der Altersmittelwert stieg im Verlauf der Studie um 3,8 Jahre (Abbildung 23). Abbildung 24 zeigt den Altersmittelwert mit Darstellung der Standardabweichung. Der berechnete Standardfehler ($\alpha = 0,05$) und der Umfang der Stichprobe ($n_{\text{Frauen}} = 163$ und $n_{\text{Männer}} = 157$) wurden als Parameter bei der statistischen Auswertung der Altersverteilung einbezogen. Bei Betrachtung der Konusvariante zeigt sich eine deutliche Abweichung des Altersdurchschnittes bei weiblichen Probanden von 62,1 Jahren im Vergleich zum Altersmedian aller inserierten Stifte (Konus- und Kugelvariante) von 70,0 Jahren (Abbildung 24). Die Gruppe der männlichen Patienten, die mit Konusstiften versorgt wurden, lag mit 69,8 Jahren nur minimal unter dem Durchschnitt des gesamten männlichen Patientenkollektives (70,7 Jahre).

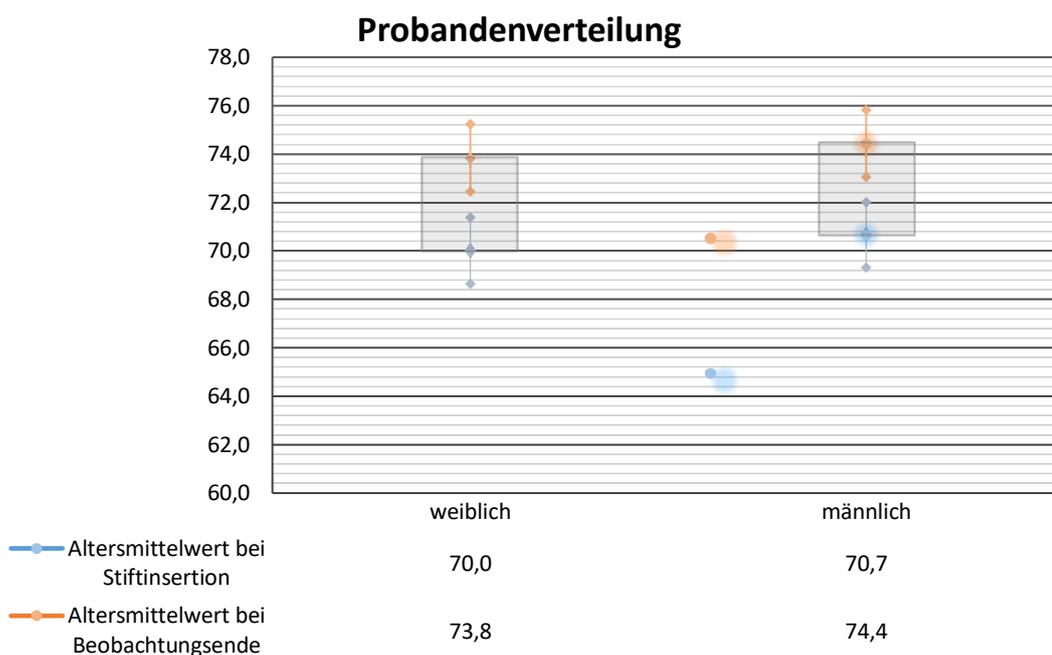


Abbildung 24 - Patientenverteilung mit Altersmittelwert bei Stifteinsetzung und bei Beobachtungsende
01.04.2015

Tabelle 6 - tabellarische Aufstellung Patientenkollektiv

	Frauen	Männer
Anzahl	163	157
Anteil (in %)	50,9	49,1
Durchschnittsalter bei Stifteinsetzung	70,0	70,7
Standardabweichung	8,92	8,63
Durchschnittsalter bei Beobachtungsende	73,8	74,4
Standardabweichung	9,09	8,85

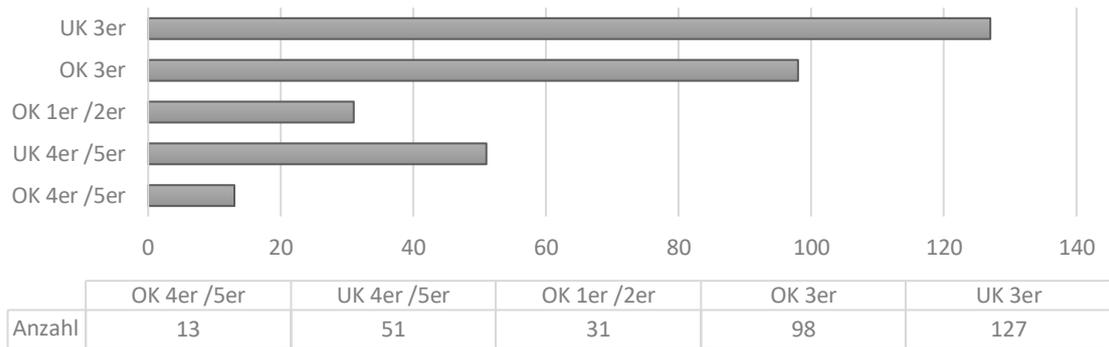


Abbildung 25 - Verteilung zum Zeitpunkt der Insertion

Abbildung 25 visualisiert die Verteilung der Würzbürger Stifte im Zahnbogen. Hierbei zeigt sich eine deutliche Dominanz der oberen und unteren Eckzähne: insgesamt wurden 98 obere Eckzähne und 127 untere Eckzähne mit Stiften versorgt (70,3 %). Unterkiefer Prämolaren (n = 51) bilden die drittgrößte Gruppe. Obere Schneidezähne wurden in 9,7 % (n = 31) der Fälle mit Stiften versorgt, obere Prämolaren in 4,1 % (n = 13).

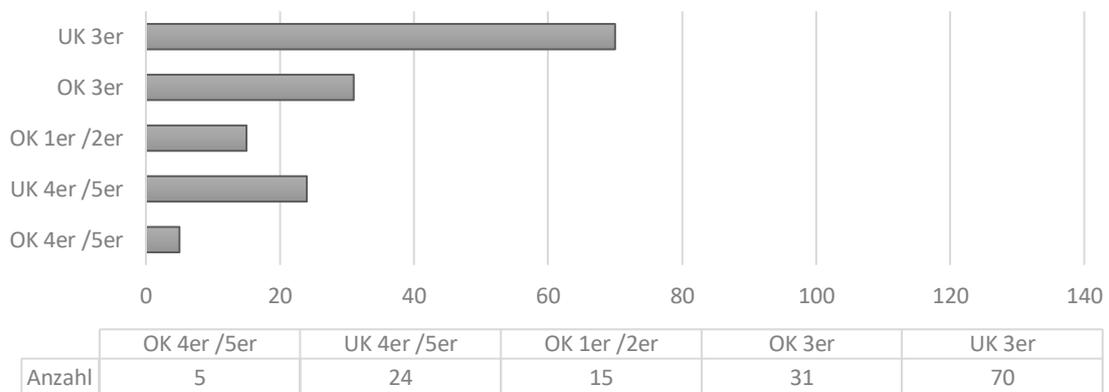


Abbildung 26 - Verteilung der Stifte in situ zum Beobachtungsende 01.04.2015

Die Verteilung der Zahngruppen zum Zeitpunkt des Beobachtungsendes ist in Abbildung 26 aufgeführt. Im direkten Vergleich zur Verteilung bei Stifteinsetzung (Abbildung 25) zeigt die Gruppe der oberen Eckzähne mit 68 % die höchste Verlustrate gefolgt von den oberen Prämolaren mit 61 %. Die unteren Eckzähne zeigen im Vergleich die geringsten Verlustraten mit 45 %.

3.2 Überlebenswahrscheinlichkeit des Würzburger Stiftes - die Survival Distribution Function (SDF) nach Kaplan Meier

Nach den allgemeinen Erläuterungen über das Patientenkollektiv konnten, nach Auswertung der Daten, Aussagen über die Überlebenswahrscheinlichkeit des Würzburger Stiftes gegeben werden.

Zunächst mussten die nötigen Parameter für die Funktion bestimmt und in Microsoft Excel so arrangiert werden, dass das Statistikprogramm XLSTAT® (Addinsoft SARL, rue Damrémont 40, 75018 Paris, Frankreich) die Berechnungen vornehmen konnte. Tabelle 7 zeigt das Datenarrangement.

Tabelle 7 - Datenarrangement für den Kaplan Meier Schätzer

Liegedauer in Tagen	Verlust (1 = ja, 0 = zensiert)
946	0
1350	0
877	1
2484	0
1946	0
973	1
421	0
530	1
...	...

Die Datenverarbeitung wurde für alle Würzburger Stifte ($n_{\text{gesamt}} = 320$), sowie für Konusstifte ($n_{\text{KONUS}} = 24$) und Kugelvariante ($n_{\text{KUGEL}} = 296$) separat vorgenommen. Daraus wurden Überlebenswahrscheinlichkeiten berechnet und in Diagrammen dargestellt. Für das Konfidenzintervall wurde ein Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ festgelegt. In der Folge ergeben sich die in Diagramm 1, Diagramm 2 und Diagramm 3 angegebenen Werte und Kurven. Aus den Berechnungen zum Kaplan Meier Schätzer ergibt sich eine mittlere Überlebenszeit von 6,2 Jahren ± 77 Tagen (Tabelle 8). Folglich tritt unter Beibehaltung des Zensierungsmusters für die Hälfte der Stifte nach 6,2 Jahren

ein Ereignis ein. Die zu erwartende mediane Überlebenszeit beträgt 7,6 Jahre.

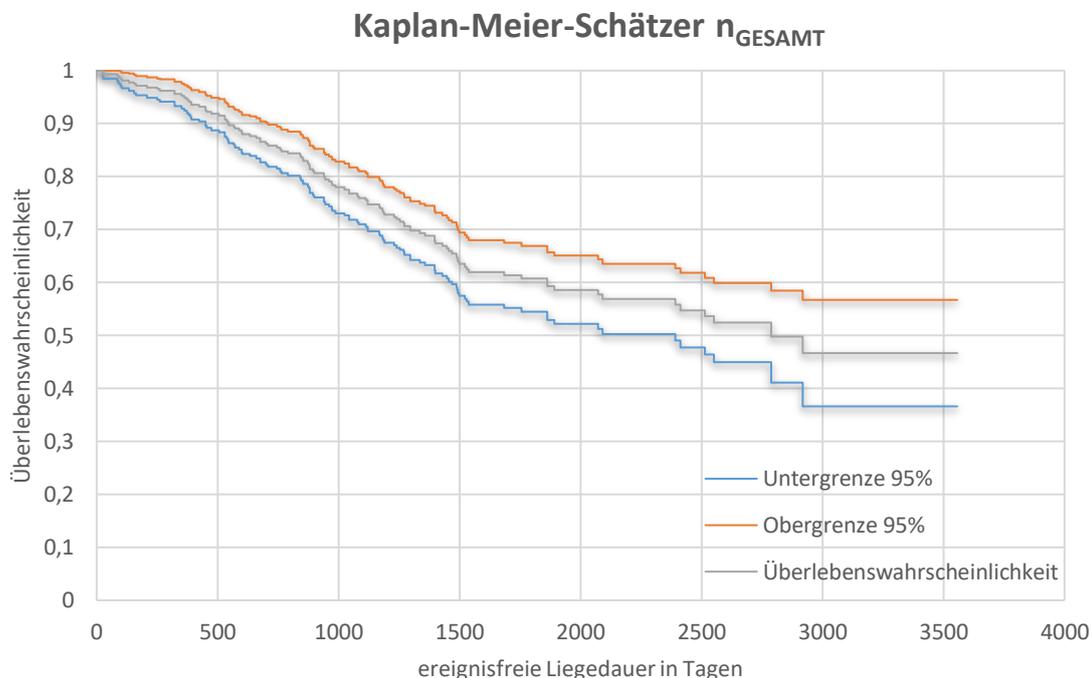


Diagramm 1 - Überlebenswahrscheinlichkeiten für n_{GESAMT} Stifte (Kaplan-Meier-Schätzer)

Tabelle 8 - Überlebenszeiten des Würzburger Stiftes (beide Varianten) in Tagen

mittelwertige Überlebenszeit	Standardabweichung	Untergrenze (95 %)	Obergrenze (95 %)	Mediane Überlebenszeit
2260,5	77,0	2109,5	2411,4	2787,0

Nach ca. einem Jahr Insertionszeit lag die statistische ÜW bei ca. $94,9 \pm 1,2$ % (Konfidenzintervall 92,4 % - 97,3 %). Nach 5 Jahren waren es ca. $60,7 \pm 3,2$ % (Konfidenzintervall 54,5 % - 66,9 %). Bei einer erneuten Berechnung nach fünf Jahren würde somit in 95 % der Fälle der wahre Wert innerhalb der Intervallgrenzen von 54,5 % und 66,9 % liegen.

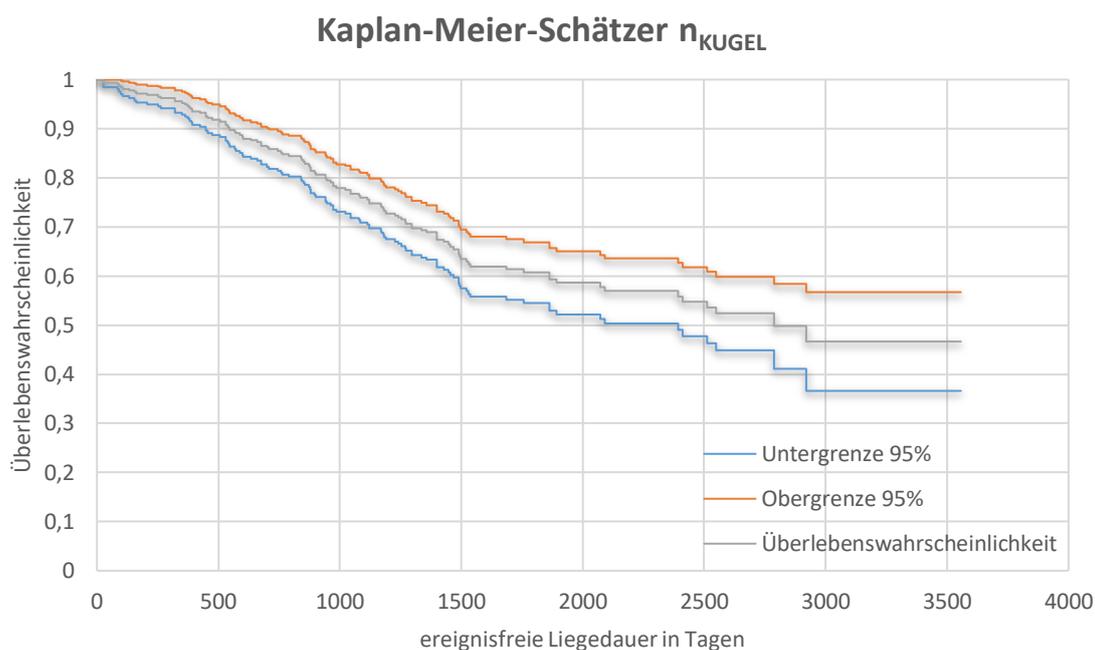


Diagramm 2 - Überlebenswahrscheinlichkeiten für n_{KUGEL} (Kaplan-Meier-Schätzer)

Tabelle 9 - Überlebenszeiten des Würzburger Stiftes als Kugelvariante in Tagen

mittelwertige Überlebenszeit	Standard- abweichung	Unter- grenze (95 %)	Ober- grenze (95 %)	Mediane Überlebenszeit
2269,6	88,5	2096,2	2443,1	2550,0

Berechnet man die ÜW nach Kaplan-Meier für n_{KUGEL} (Diagramm 1), zeigt sich ebenso wie bei n_{GESAMT} ein Wert von 6,2 Jahren. Die Kurvenverläufe von n_{GESAMT} und n_{KUGEL} korrelieren.

Die mediane Überlebenszeit wird mit 7,0 Jahren angegeben, und ist somit im Vergleich zu n_{GESAMT} geringer. In den letzten 1000 Tagen des Beobachtungszeitraumes wurden geringfügig niedrigere Werte erzielt.

Als Konsequenz ergibt sich nach neun Jahren eine ÜW von $42,9 \pm 5,5$ %, bei n_{GESAMT} sind es $46,7 \pm 5,1$ %.

Die zu erwartende mittlere Überlebenszeit (mÜZ) wird mit 6,6 Jahren angegeben. Eine mediane Überlebenszeit ist nicht bestimmbar, da im Beobachtungszeitraum für weniger als die Hälfte der inserierten Stifte ein Ereignis eintrat. Die ÜW stagniert ab 4 Jahren nach Insertion bis zum Ende des Beobachtungszeitraumes bei $76,2 \pm 9,3\%$ (Konfidenzintervall $58,0\% - 94,4\%$).

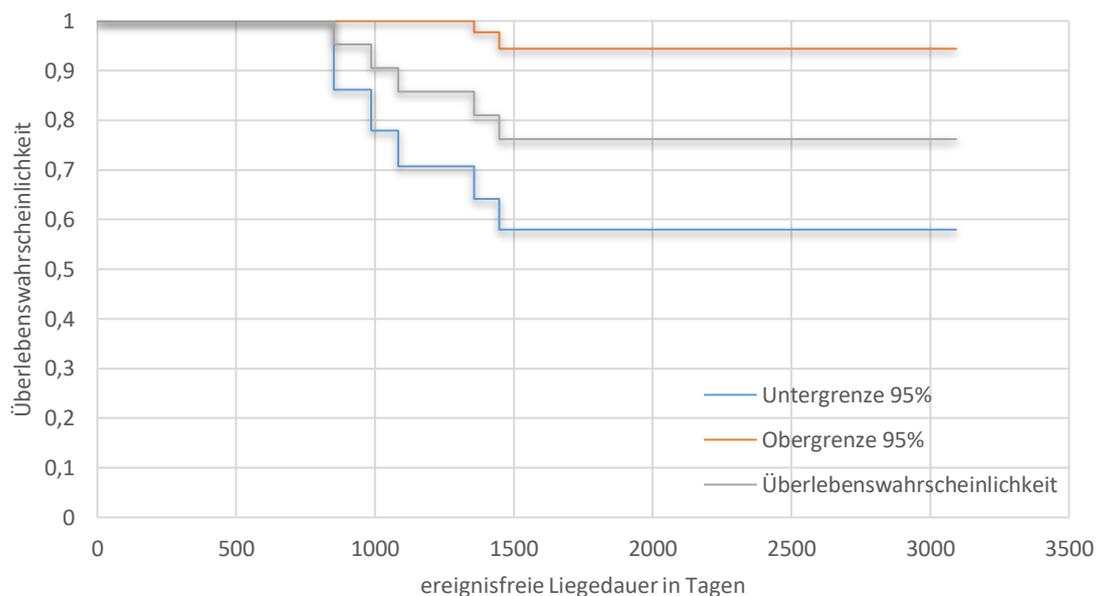


Diagramm 3 - Überlebenswahrscheinlichkeiten für n_{KONUS} (Kaplan-Meier-Schätzer)

Tabelle 10 - Überlebenszeiten des Würzburger Stiftes als Konusvariante (in Tagen)

Mittlere Überlebenszeit	Standardabweichung	Untergrenze (95 %)	Obergrenze (95 %)	Mediane Überlebenszeit
2404,5	173,8	2063,9	2745,1	n. b.

Im Vergleich zu den Kugelstiften (mÜZ = 6,2 Jahre) wird ersichtlich, dass der Würzburger Stift als Konusvariante eine höhere ÜW aufweist.

3.3 Das Beobachtungsende der Studie – Überleben oder Verlust – Zensurgründe

Die Evaluierung des Würzburger Stiftes erbrachte neben Auskünften über die Alters- und Geschlechterverteilung zusätzlich Aufschluss über die Verlustraten und Ausfallgründe. Zum Zeitpunkt des Beobachtungsendes 01.04.2015 waren noch 158 Stifte in situ. In Tabelle 11 sind Verlustereignisse vor dem Hintergrund der Kausalität und damit verbundenen möglichen Zensur dargestellt.

Tabelle 11 - Kausalität, mögliche Zensur und Komplikationsart von Kugel- und Konusvariante des Würzburger Stiftes

Kausalität/Zensur	technische (t), biologische (b) oder idiopathische (i) Komplikation	Anzahl Kugel/ Konus
Dentinfraaktur	b	41/3
Stiftverlust aufgrund von Sekundärkaries Dezementierung	b	54/2
Verlust ohne erkennbare Kausalität	i	11/0
Endo-/PA- Läsion <i>zensiert</i>	i	6/0
Extraktion durch Fremd- oder Nachbehandler <i>zensiert</i>	t	15/1
Anwendung außerhalb der für das Produkt festgelegten Spezifikationen/ Prothesenkinematik/andere Verarbeitungsfehler <i>zensiert</i>	t	4/1
schwere Erkrankung/Todesfall <i>zensiert</i>	i	10/3
hohe Kariesaktivität/offensichtliche Mundhygienemängel <i>zensiert</i>	b	22/0
Stifte noch in situ	t	12/1
Summe		145/13
		296/24

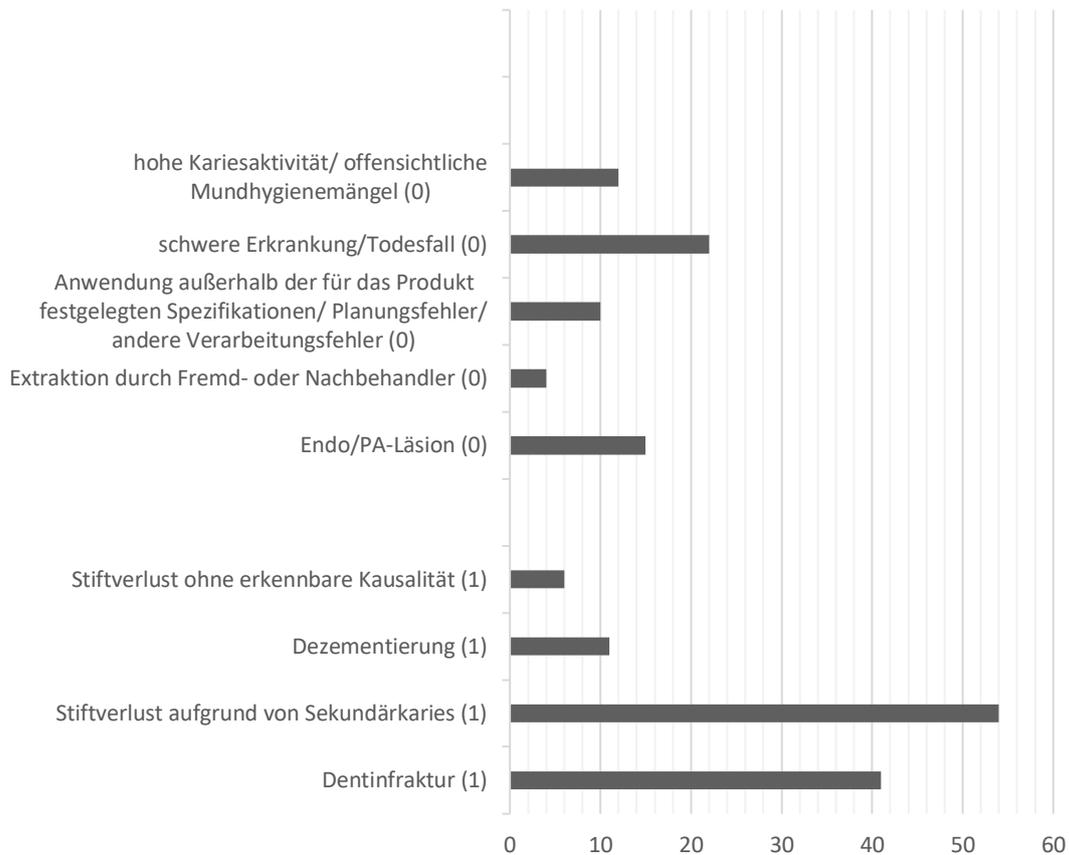


Diagramm 4 - Gründe des Stiftverlustes - nicht zensiert = (1) zensiert = (0)

Hauptursachen des Stiftverlustes sind Sekundärkaries ($n_{\text{Kugel}} = 54$, $n_{\text{Konus}} = 2$) und Dentinfrakturen ($n_{\text{Kugel}} = 41$, $n_{\text{Konus}} = 3$) (Tabelle 11, Diagramm 4). Zensiert wurde das Stiftversagen aufgrund von vor Studienbeginn festgelegten, nicht den Stift oder das System „Stift-Stumpf“ betreffenden Faktoren.

In der Kaplan Meier Auswertung haben zensierte Verluste nur einen indirekten Anteil als Anzahlen unter Risiko. Die Gruppe „schwere Erkrankung/Todesfall“ zeigt mit 22 Fällen als Kugelvariante die drittgrößte Gruppe, gefolgt von endodontischen bzw. parodontalen Erkrankungen ($n_{\text{Kugel}} = 15$, $n_{\text{Konus}} = 1$) und Karies aufgrund offensichtlicher Mundhygienemängel ($n_{\text{Kugel}} = 12$, $n_{\text{Konus}} = 1$).

3.4 Falldokumentationen – Der Würzburger Stift in situ

Zum Beobachtungsende wurden repräsentative Patientenfälle als Falldokumentationen zusammengestellt. Diese beinhalten Makroaufnahmen, Röntgen-Einzelbilder sowie Angaben über die prothetische Versorgung des Patienten sowie zusätzliche Erläuterungen über den Zustand des Würzburger Stiftes zum Zeitpunkt der Dokumentation.

3.4.1 Fall 1 - Der Würzburger Stift (Kugelvariante) als Ersatz eines frakturierten Teleskopes



Abbildung 27 - Würzburger Stift (Kugelvariante) in situ (Quelle: eigene Aufnahme)

In diesem Fall wurde der Reststumpf des frakturierten Teleskopes 43 durch einen Würzburger Stift neu versorgt. Der Zahn 44 war zum Zeitpunkt der Aufnahme zur baldigen Extraktion mit Sofortimplantation vorgesehen. Der Stift 43 war bereits 376 Tage inseriert. Die Patientin war zum Zeitpunkt der Insertion 72 Jahre alt und zeigte eine gute häusliche Mundhygiene. Die Stiftoberfläche und die Wurzeloberfläche sind frei von sichtbarem Biofilm.

Am Übergang vom Tellerrand zum Dentin sind kleinere Aussprengungen des Befestigungskomposites erkennbar, der Kugelkopf zeigt keine auffälligen Abrasionsspuren.



Abbildung 28 - Würzburger Stift in okklusaler Ansicht (Quelle: eigene Aufnahme)

Der Würzburger Stift ersetzt in diesem Fall als Einheit, mit der im Außenteleskop einpolymerisierten Matrize, die Aufgabe des vorherigen Teleskopes.



Abbildung 29 - Dalbo Plus® Matrize im Außenteleskop 43
(Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 30 - Teleskopprothese mit Matrize im Außenteleskop
(Quelle: eigene Aufnahme)

Die Dalbo Plus®-Matrize im Außenteleskop kann mit einem Spezialschraubendreher justiert werden. Durch Drehen im Uhrzeigersinn wird die Matrize bei Bedarf aktiviert. Vom Hersteller Cendres+Métaux SA werden zudem zwei weitere Lamelleneinsätze angeboten. Die Tuningmatrizen mit zwei unterschiedlichen Innendurchmessern (Tuning soft, Tuning) werden zur Wiederherstellung der Haltekraft bei abgenutzten Kugelankern verwendet.

3.4.2 Fall 2 – Der Würzburger Stift als alleiniges Halteelement einer Teleskopprothese



Abbildung 31 - Würzburger Stift als Halteelement 33, 43 nach Teleskopfraktur (UK Teleskopprothese)
(Quelle: eigene Aufnahme)

Durch Versorgung mit Würzburger Stiften als Kugelvariante bei den Zähnen 33 und 43 konnte die bestehende Teleskopprothese des Patienten weiter genutzt werden (Abbildung 31). Der Stift des Zahnes 33 wurde am 26.02.2010 inseriert und war somit zum Zeitpunkt der Aufnahme über 5 Jahre eingegliedert. Zahn 43 wurde am 10.07.2014 versorgt. Durch motorische Einschränkungen weist der Patient eine defizitäre häusliche Mundhygiene auf. Zahn 33 zeigt eine ausgeprägte Kariesläsion der bukkalen Zahnwand und Kompositabsprengungen. Bei beiden Stiften zeigte sich in der Untersuchung eine ausgeprägte Plaque.



Abbildung 32 - UK-Teleskopprothese in situ (Quelle: eigene Aufnahme)

Abbildung 32 zeigt die entstandene Kariesläsion an Zahn 33. Der Würzburger Stift zeigt keine Lockerung, Wurzeldentinareale liegen frei und retinieren Speisereste.



Abbildung 33 - Einzelzahnfilm als Beispiel für eine gute Passung (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 34 - Einzelzahnfilm Zahn 33 (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 35 - Einzelaufnahme Stift 33 - Sekundärkaries bukkal (Quelle: eigene Aufnahme)

Abbildung 34 zeigt einen Zahnfilm von Zahn 33 mit Würzburger Stift in situ. Der Stift zeigt im Einzelzahnfilm eine geringe Aufhellung am Übergang von Tellerrand zum Wurzelentin. In Abbildung 35 ist zu erkennen, dass sich ein Teil des Dentins samt Befestigungskomposit löste. Die kausalen Zusammenhänge, ob Sekundärkaries Ursache oder Folge war, konnten aus dem gewonnenen Datenmaterial nicht geklärt werden.

3.4.3 Fall 3 - Teleskopersatz und Wiederherstellung der Prothesenfunktion

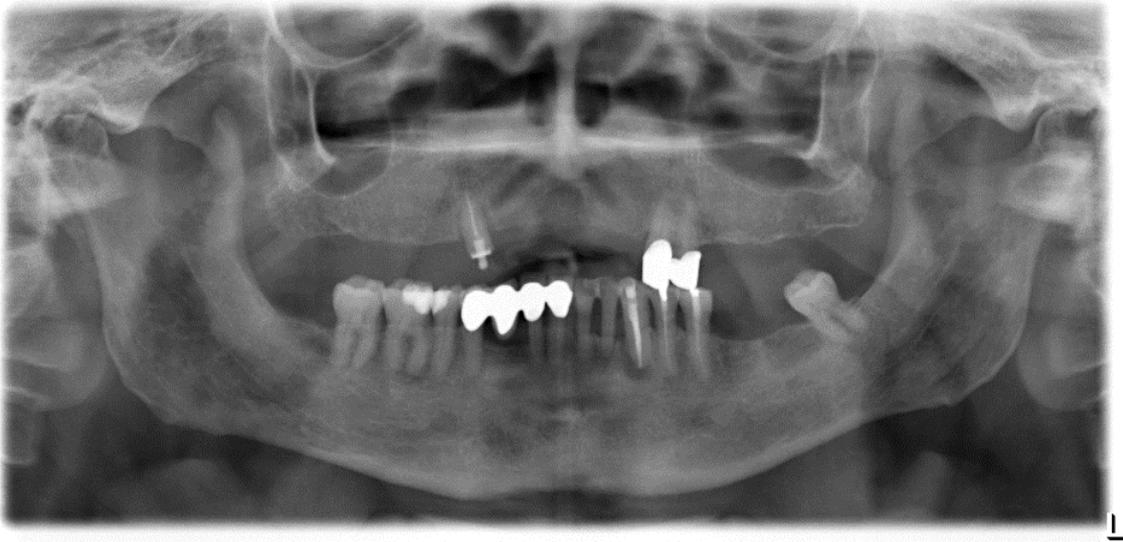


Abbildung 36 - OPG mit Stiftversorgung 13 (Quelle: eigene Aufnahme)

Im OPG (Abbildung 36) ist neben den verblockten Teleskopkronen im 2. Quadranten, als einziges Halteelement im 1. Quadranten, ein Würzburger Stift als Kugelvariante zu erkennen. Hier konnte nach Teleskopfraktur 13 am 07.09.2010 ein Stift mit Kugelkopf inseriert und somit die Funktion der Prothese wiederhergestellt werden. Das OPG wurde vor Sanierung des Unterkiefers angefertigt, apikale Transluzenzen der Zähne 33, 32 und 31 sind ersichtlich. Der Stift ist zum Ende der Beobachtungszeit der Studie etwa 4,5 Jahre eingegliedert und zeigt trotz verminderter häuslicher Mundhygiene nur geringe Alterungszeichen (Abbildung 38).



Abbildung 37 - Teleskopprothesenversorgung OK mit Dalbo Plus® - Matrize im ehemaligen Außenteleskop 13 (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 38 - Frontalaufnahme Würzburger Stift 13 und bestehende Teleskopversorgung 23/24 (Quelle: eigene Aufnahme)

Die Zahnwurzel ist im Zahnfilm sowie in der klinischen Untersuchung parodontal beeinträchtigt (Knochenabbau/pathologische Sondierungstiefen). Hier zeigt sich im OPG bei Zahn 13 (Abbildung 36) ein deutlicher, keilförmiger, mesialer Knocheneinbruch und klinisch leichte Pus-Sekretion aus dem Sulkus. Der Zahn mit Stiftversorgung zeigt keine pathologische Lockerung.



Abbildung 39 - Kugelvariante als alleiniges Halteelement im 1. Quadranten bei bestehender OK-Teleskopprothese (Quelle: eigene Aufnahme)

3.4.4 Fall 4 - Dezementierung eines Würzburger Stiftes aufgrund von Sekundärkaries nach 7 Jahren

Am 21.04.2008 wurde dieser Stift als Ersatz des Teleskopes 23 gesetzt. Bei einem vorzeitigen Kontrolltermin teilte der Patient mit, dass der Stift nur noch mit der Prothese befestigt sei. Klinisch zeigte sich dann, wie in Abbildung 41 ersichtlich, der kraterförmige, kariöse Defekt des Zahnstumpfes. Im Außenteleskop befand sich immer noch der Würzburger Stift als Kugelvariante fest verbunden mit der Dalbo Plus®- Matrize (Abbildung 40).



Abbildung 40 - Würzburger Stift verblieb bei Ausgliederung im Außenteleskop (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 41 - Kraterförmige Fraktur nach 2550 Tagen (Quelle: eigene Aufnahme)

In diesem klinischen Fall musste die verbliebene Zahnwurzel operativ entfernt werden. Auch im Zahnfilm in Abbildung 42 ist der große Defekt deutlich zu erkennen. Die Wiederversorgung eines Zahnes kann dann in Betracht gezogen werden, wenn zusätzliche Maßnahmen wie eine chirurgische Kronenverlängerung oder kieferorthopädische Extrusion als präprothetische Behandlung in Frage kommen.



Abbildung 42 - Einzelzahnfilm 23 - kraterförmigen Defekt
(Quelle: eigene Aufnahme)

3.5 Klinische Dokumentationen

In diesem Abschnitt sind weitere klinische und röntgenologische Fälle dokumentiert, die das Patientenkollektiv repräsentieren sollen.

In Abbildung 43 und Abbildung 44 sind Schleimhautwucherungen zu erkennen, die sich über den Teller des Würzburger Stiftes ausbreiten.



Abbildung 43 - Schleimhautwucherung über den Stiffteller
(Quelle: eigene Aufnahme)

Diese Beobachtung wurde bei einem kleinen Teil der Patienten festgestellt, vermehrt jedoch bei denen, die zu Hyperplasien der Gingiva neigten (medikamenteninduziert oder genotypisch). Eine Funktionsbeeinträchtigung des Würzburger Stiftes konnte in diesen Fällen nicht festgestellt werden.



Abbildung 44 - Hyperplastischer Schleimhauttyp (Quelle: eigene Aufnahme)



Abbildung 45 - Biofilm, Karies, Verlust der Zahnhartsubstanz bei ungenügender häuslicher Mundhygiene (Quelle: eigene Aufnahme)

Die häusliche Mundhygiene hat einen hohen Einfluss auf die Haltbarkeit von Zahnersatz. Auch im Fall des Würzburger Stiftes trifft diese Aussage zu. Wie Abbildung 45 zeigt, wurden die Mundhygieneinstruktionen nicht immer konsequent umgesetzt, folglich kam es zu Kariesläsionen. Sekundärkaries bedingte im Beobachtungszeitraum die meisten Verluste an Würzburger Stiftten (34,6%). In den folgenden Zahnfilmen sind die Dentindefekte, welche letztendlich zum Stiftverlust führten, deutlich zu erkennen (Abbildung 46).



Abbildung 46 - Analyse des Stiftverlustes - Dentindefekte aufgrund von Karies (Quelle: eigene Aufnahme)

Eine gewissenhafte Insertion des Stiftes gemäß adhäsivem Befestigungsmodus bietet die Grundlage einer langen Haltbarkeit. Neben der richtigen Achse ist ebenso der korrekte Tiefenanschlag ausschlaggebend für eine gute Passung (Abbildung 47).

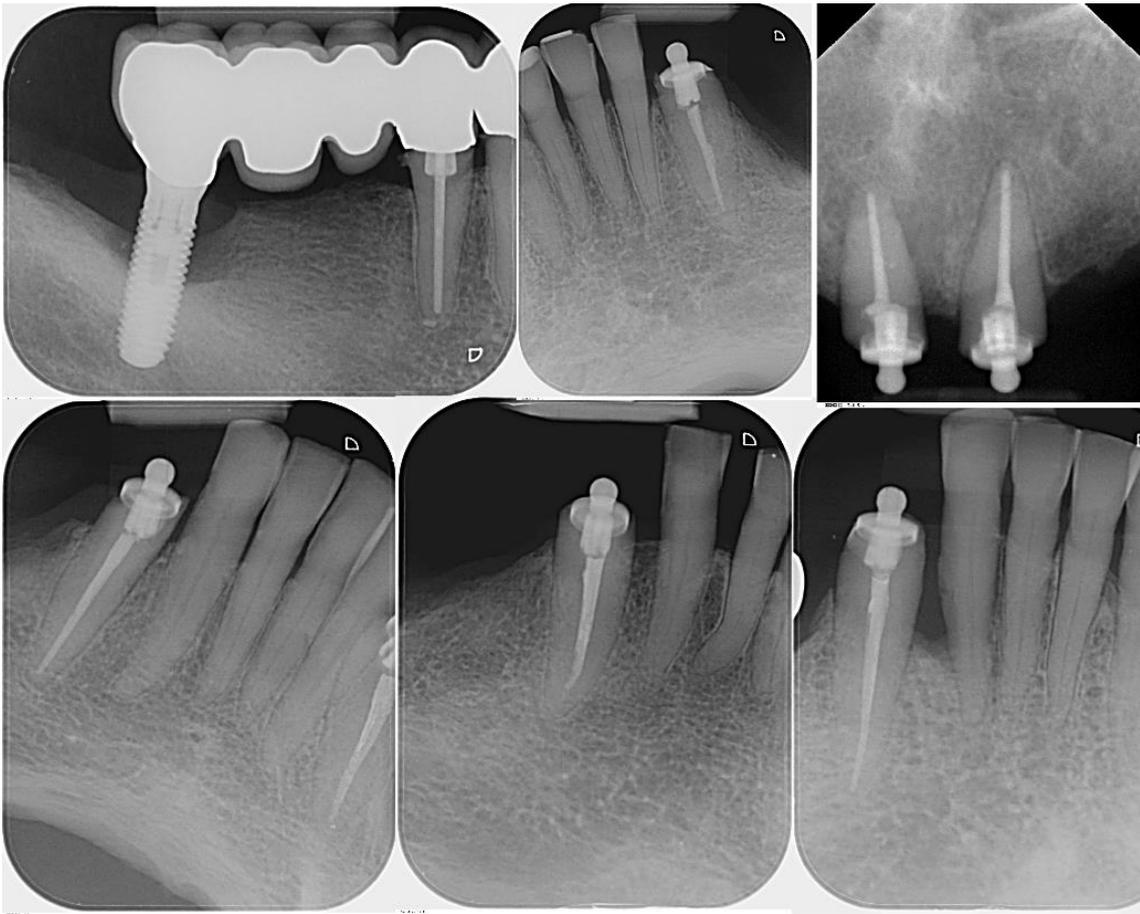


Abbildung 47 - Zahnfilme - lege artis Insertion (Quelle: eigene Aufnahme)

4 Diskussion

4.1 Zusammenfassung der Hauptergebnisse

Mit der Studie zum Würzburger Stiftstumpf-Aufbau wurde ein neuartiges Stiftdesign über einen Beobachtungszeitraum von neun Jahren unter klinischen Bedingungen geprüft. Das Studiendesign verzichtete bewusst auf viele Ein- und Ausschlusskriterien, damit durch große Fallzahl und einem Selektionsbias des Patientengutes die Ergebnisse möglichst repräsentativ sind. Während des Erfassungszeitraumes wurden 349 Würzburger Stifte inseriert. 29 Stifte („Dropouts“) wurden von der weiteren Auswertung ausgeschlossen. 24 Stifte wurden als Variante mit Konus und 296 als Variante mit Kugel inseriert und ausgewertet. Es wurde nach den Ergebnissen des Kaplan-Meier-Schätzers eine mediane Überlebenszeit von 7,6 Jahren beobachtet (Tabelle 8). Die ÜW liegt nach einem Jahr bei $94,9 \pm 1,2$ %, nach fünf Jahren bei $60,7 \pm 3,2$ % und nach neun Jahren bei $46,7 \pm 5,1$ %.

Im Vergleich beider Varianten zeigt der Konus eine höhere ÜW von $76,2 \pm 9,3$ % nach 9 Jahren als die Kugelköpfe ($42,9 \pm 5,5$ %). Die mittlere Überlebenszeit von 6,6 Jahren ist zur Kugelvariante (6,2 Jahre) gleichermaßen erhöht. Die größten Verluste der Konstruktionseinheit aus Stift und Zahn konnte auf Sekundärkaries (34,6 %) und Dentinfrakturen (27,2 %) zurückgeführt werden.

Eine erwartungskonforme Korrelation von Haltbarkeit und offensichtlich defizitärer Mundhygiene der Patienten konnte beobachtet werden, wurde jedoch nicht numerisch erfasst. Ebenso scheint die Eingliederung eines neuen Halteelementes in einen bestehenden Zahnersatz einen Einfluss auf die Haltbarkeit zu besitzen. Es wurde eine annähernd ausgewogene Geschlechterverteilung erreicht, die aus 51 % weiblichen und 49 % männlichen Patienten bestand. Der Altersdurchschnitt aller inserierten Stiftstumpf-Aufbauten ($\bar{X}_{\text{weiblich}} = 70,0$ Jahre; $\bar{X}_{\text{männlich}} = 70,7$ Jahre) spiegelt sich in der großen Gruppe der prothetisch vorbehandelten Patienten mit herausnehmbarem Zahnersatz wider, die eine wiederum große Gruppe an Stiftstumpf-Aufbauten mit Kugelkopf ($n = 296$) generierten. Der Altersdurchschnitt der Patienten, die

mit dem Würzburger Stift als Konus versorgt wurden, sowie der Anteil am untersuchten Gesamtkollektiv war bedeutend niedriger ($\bar{X}_{\text{weiblich}} = 62,1$ Jahre bei $n_{\text{weiblich}} = 13$; $\bar{X}_{\text{männlich}} = 69,8$ Jahre bei $n_{\text{männlich}} = 11$). Das durchschnittliche Alter bei Stiftinsertion der Variante Konus ($\bar{X}_{\text{Konus}} = 65,7$ Jahre) liegt 5 Jahre unter dem des Gesamtdurchschnittes.

4.2 Diskussion der Methoden

Während des Beobachtungszeitraumes wurden neben statistikrelevanten Daten zur Auswertung von Überlebenswahrscheinlichkeiten auch Versagensursachen tabellarisch erfasst, wobei sich rekurrente Muster zeigten. Unterschiedliche Gründe eines Stiftversagens wurden notiert und fallweise zensiert. Wenn die Konstruktionseinheit aus Stift und Zahn in ihrer Stabilität keine Verlustkausalität aufwies, wurde zensiert (Tabelle 5). Darunter zählten: jedes Stiftversagen, dem eine auftretende parodontologische oder endodontische Läsion zugrunde lag, bei Extraktion des mit Stift versorgten Zahnes durch Fremd- oder Nachbehandler, durch Fehler bei der Insertion, bei Auftreten einer schweren Erkrankung oder Todesfall des Patienten und bei Stiftverlust aufgrund offensichtlicher Mundhygienemängel oder auffällig hoher Kariesaktivität. Die Zensur gab jedoch die Möglichkeit, alle für die Konstruktionseinheit aus Stift und Zahn und für die Studienergebnisse irrelevanten Kausalitäten indirekt in die Auswertung einfließen zu lassen. In diesen Fällen trat innerhalb des gesamten Beobachtungszeitpunktes kein Ereignis ein, sie zählten somit in ihrer Gesamtanzahl unter Risiko. Zusätzlich zur Kausalität und der dazugehörigen möglichen Zensur wurde die Komplikationsart (technisch/biologisch/idiopathisch) von beiden Varianten des Würzburger Stiftes dokumentiert (Tabelle 11). Im Zuge der Auswertung wurde deutlich, dass die Verlustursachen: „Stiftverluste aufgrund von Sekundärkaries“ und „hohe Kariesaktivität/offensichtliche Mundhygienemängel“ in Tabelle 11 nicht eindeutig zu unterscheiden waren. Obwohl keine Indices oder Scores zur Beurteilung der Mundhygiene in dieser Studie dokumentiert wurden, war es in den Nachuntersuchungen auffällig, dass bei Sekundärkaries am Stiftstumpfsystem

gleichermaßen eine sehr hohe Prävalenz für Karies in der gesamten Mundhöhle des Patienten bestand. Ein oder mehrere standardisierte Kontrollparameter (z. B. DMFT, OHIP-A, PSI, Kariesaktivitätsmessungen) hätten dabei zusätzliche Daten für die Studie geliefert und wären retrospektiv als Feedback sowie Motivation für die Patienten nützlich gewesen. Die Lokalisation der inserierten Stifte im Zahnbogen (Abbildung 25, Abbildung 26), die Auswertung des Stiftverlustes (Tabelle 11) und die Ergebnisse der Kaplan Meier Berechnungen zur ÜW (Diagramm 1, Diagramm 2, Diagramm 3) wurden in diversen Diagrammen und Tabellen veranschaulicht und in vier Patientendokumentationen zur Konsolidierung der klinischen Relevanz dargestellt. Die klinische Untersuchung zeigt den Zustand des Stiftsystems in situ einige Jahre nach Insertion und ermöglicht eine konstruktive Auseinandersetzung mit dem Stiftdesign und dem Indikationsbereich. Die Kaplan-Meier Auswertung wurde genutzt, um mit retrospektiven Daten ein Modell zu generieren, das korrekte Vorhersagen zu Überlebenswahrscheinlichkeiten einer solchen Restauration oder eine Bestätigung seiner selbst bei Wiederholung der Studie liefern könnte. Im Vergleich zu anderen Studien ist kritisch zu betrachten, dass die Anzahl der evaluierten Würzburger Stifte vom Konus- und Kugeltyp ($n_{\text{Konus}} = 24$, $n_{\text{Kugel}} = 296$) ungleich verteilt sind [63][12]. Ohne Vorselektion der Patientenklientel ist eine gleichmäßige Verteilung von Stiftsystemen, die andere Indikationsbereiche repräsentieren (Konus = nicht herausnehmbarer Zahnersatz, Kugel = herausnehmbarer Zahnersatz), nicht zu realisieren. Die Kugelstifte besitzen somit ein größeres statistisches Gewicht als die der Konusstifte. Korrelierende Kaplan-Meier-Kurven von n_{Kugel} und n_{gesamt} bestätigen dies.

4.3 Diskussion der Ergebnisse

Zielsetzung der Studie war es, den Würzburger Stift als neues Stiftaufbaukonzept über einen Beobachtungszeitraum von neun Jahren unter klinischen Bedingungen zu evaluieren. Zum Zeitpunkt der Stifteinsetzung befanden sich die Patienten im Alter zwischen 45 bis 92 Jahren. Infolge des hohen Altersdurchschnittes (70,7 Jahre) wurde eine vergleichsweise hohe Anzahl von Stiftverlusten aufgrund schwerer Erkrankungen oder Todesfällen dokumentiert (n = 22). Bei einigen Patienten hatte die Versorgung mit dem Würzburger Stift jedoch einen palliativen Charakter. Kariesaktivität und Stabilität spielten dabei nur eine untergeordnete Rolle. Auffällig ist, dass NAUMANN et al. in ihrer Elf-Jahres-Studie 2017 über FRC-Stifte und in einer früheren Zehn-Jahres Studie 2012 keinen Stiftverlust aufgrund dieser Kausalität dokumentierten [63][12]. Traditionelle Stiftstumpf-Aufbaukonzepte sind einerseits grundsätzlich nicht vergleichbar, können aber als Näherungswerte für Überlebenswahrscheinlichkeiten herangezogen werden. Die ÜW des Würzburger Stiftes von $46,7 \pm 5,1$ % nach neun Jahren wird in aktuellen Langzeitstudien über konfektionierte Stiftsysteme übertroffen. Die Arbeitsgruppe NAUMANN et al. erreichten in ihrer klinischen Studie 2012 eine ÜW von 58,7 % (FRC-Post) bzw. 74,2 % (Titan-Post) nach neun Jahren [63]. Die im Vergleich geringere Stichprobenanzahl ähnlicher Studien (n = 149 [12], n = 64 [13], n = 100 [15], n = 91 [63], n = 195 [72]) und die höhere „lost to follow-up“-Quote (22,8 % [12], 49,4 % [13]) geben jedoch möglicherweise Anlass, die Ergebnisse der Überlebenswahrscheinlichkeiten zu relativieren und das verwendete Studiendesign kritisch zu betrachten.

Verglichen mit Überlebenswahrscheinlichkeiten anderer konfektionierter Stifte, schneidet das Würzburger Stiftsystem prozentual schlechter ab ($46,7 \pm 5,1$ %), faktisch spricht jedoch die Stichprobenanzahl von n = 320 und die geringe Drop-out-Quote von 8,31 % für das vereinfachte Studiendesign. In Tabelle 12 sind Überlebenswahrscheinlichkeiten bzw. -raten, Stiftgeometrie/-typ, Beobachtungszeitraum und die Stichprobenanzahl n von vergleichbaren

Studien gegenübergestellt. Dem Studiendesign entsprechend werden entweder Überlebensraten oder Überlebenswahrscheinlichkeiten angegeben.

Tabelle 12 - Vergleich von Überlebensraten konfektionierter Stiftsysteme

Studie	Beobachtungs- zeit (Jahre)	Stiftmaterial/-geometrie	n	Überlebensrate (%)
[12]	10	FRC/konfektioniert	149	63,0
[13]	10	Zirkon/konfektioniert	64	81,3
[15]	5	FRC/konfektioniert	50	71,8
[15]	5	MetalScrewPost/konfektioniert	50	50,0
[63]	11	Titan/konfektioniert	46	74,2
[63]	11	FRC/konfektioniert	45	58,7
[72]	6	keine Vorgabe	195	83,0
	9	Würzburger Stiftsystem	320	46,7

Die Arbeitsgruppe CERNY et al. konnte eine ÜW von 96 % nach neun Jahren vorweisen [73]. Die FRC-Stifte wurden dabei ausnahmslos in oberen und unteren Frontzähnen mit mindestens 1mm Ferrule inseriert. Die Vorselektion scheint hierbei einen Einfluss auf die große Differenz der Überlebenswahrscheinlichkeiten zu verursachen. Bei der Art der zu versorgenden Zähne zeigen sich grundsätzliche Unterschiede: zum einen die Beschaffenheit des Zahnes/Zahnstumpfes (Trauma/Karies/Überbelastung) und zum anderen die spätere Eingliederung in die vorhandene Zahnreihe oder einen vorhandenen Zahnersatz. Eine Herangehensweise zur Entscheidungsfindung und die Ermittlung möglicher Therapieoptionen zeigt Abbildung 48.

Dabei werden die limitierten Versorgungsmöglichkeiten bei einem Zahn ohne bestehende Reststumpfhöhe verdeutlicht. Einerseits kann man die Zahnwurzel entfernen und gegebenenfalls in einer Therapiesitzung simultan implantieren, andererseits entstehen dadurch hohe Behandlungskosten und der bestehende Zahnersatz wird obsolet.

Ferrule vs. Non-Ferrule

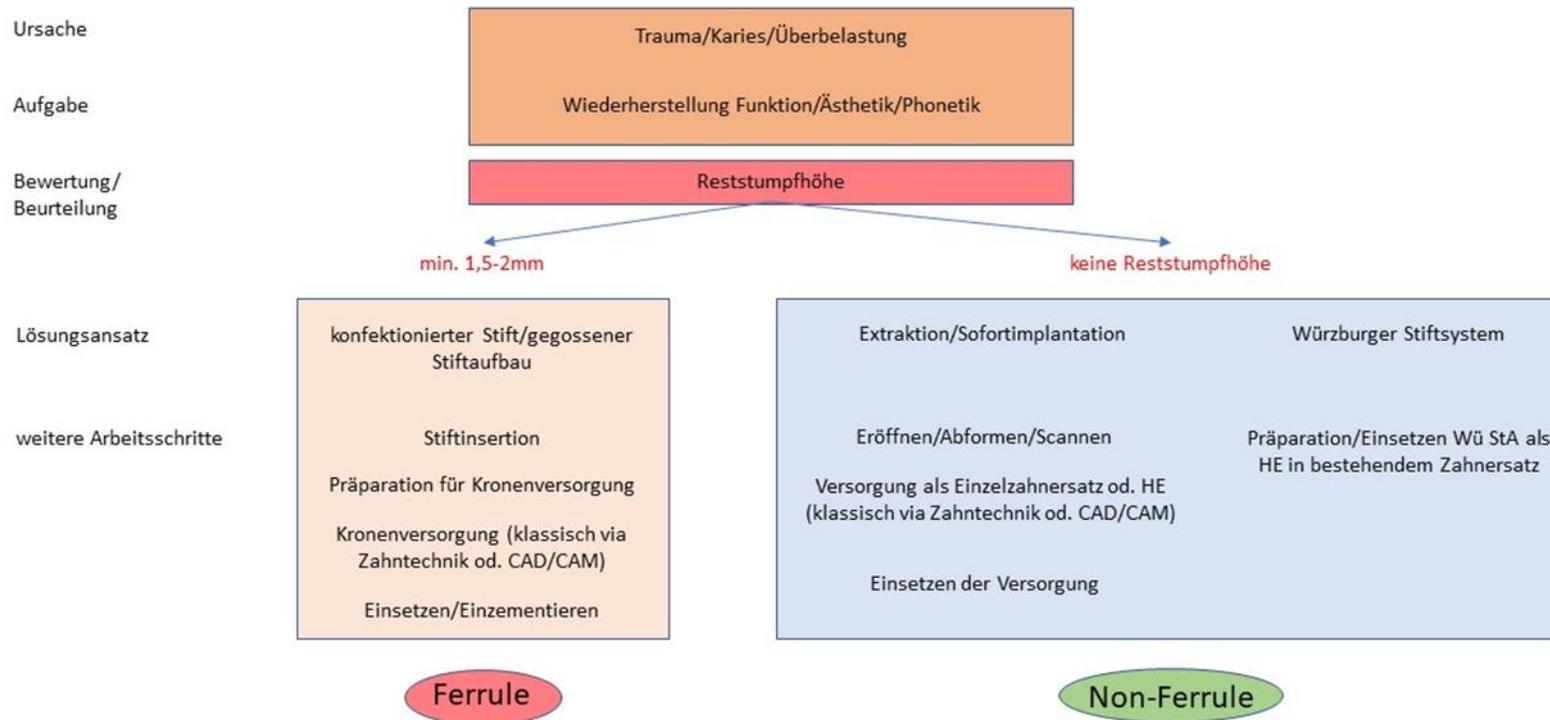


Abbildung 48 - Ferrule versus Non-Ferrule - Versorgungsmöglichkeiten von Zähnen mit unterschiedlichen Reststumpfhöhen

Das Würzburger Stift-Design erlaubt es, auf die Forderung nach einer Reststumpfhöhe von 1,5-2mm, im Gegensatz zu anderen Systemen zu verzichten. In der Vergangenheit wurde dem Ferrule einerseits eine größere Wichtigkeit zugeschrieben als der Versorgung mit einem Stift [9][59][57][54], 2020 ergab eine Literaturübersicht und Meta-Analyse der Arbeitsgruppe BATISTA et al. andererseits, dass das Vorhandensein eines Ferrule bei Stiftversorgung keine statistisch signifikante Reduktion von Verlusten erzeugt [74]. Da bei der Versorgung mit dem Würzburger Stiftsystem nur wenige Anforderungen hinsichtlich Reststumpfbeschaffenheit und Lokalisation gestellt wurden, konnten auch Zähne ohne Aussicht auf einen Ferrule versorgt werden. Ein weit gefasster, praxisrelevanter Patientenquerschnitt wurde damit erreicht. Der vorhandene Zahnersatz konnte in vielen Fällen weiter genutzt werden und die Adaptation an eine Neuversorgung entfiel. Durch Erhalt eines ansonsten extraktionswürdigen Zahnes wurde insbesondere dem älteren Patienten zudem Eingriff und Rekonvaleszenz erspart. Die Option den Würzburger Stift als Halteelement bei späterer implantärer Erweiterung des Zahnersatzes weiter zu nutzen schafft einen zusätzlichen Mehrwert für den Patienten, kann Kosten reduzieren und ermöglicht die Bildung finanzieller Rücklagen. Insbesondere die häufige Komplikation der Teleskopfraktur soll hierbei angeführt werden. Das provisorische Unterfüttern/Auffüllen des Sekundärteils nach Extraktion der Zahnwurzel hat, ohne zusätzliches Halteelement, eine erhöhte Prothesenkinematik zur Folge. Eine Anschlussversorgung ist nur mit großem Aufwand möglich, wobei die noch vorhandenen Teleskope neu versorgt werden müssten. Die Einbringung eines Glasfaserstiftes in die frakturierte Zahnwurzel als Reparaturvariante führt möglicherweise zu unübersichtlichem Randschluss und nicht abschätzbarer Frakturanfälligkeit. Auch die gemeinsame prothetische Einschubrichtung der Teleskope scheint dabei nicht gewährleistet. Die Versorgung der Zahnwurzel mit einem Würzburger Stift als Kugel-Variante hingegen schafft in diesem Fall ein neues Halteelement, welches einfach in den vorhandenen Zahnersatz zu integrieren ist (Fall 1 - Der Würzburger Stift (Kugelvariante) als Ersatz eines frakturierten Teleskopes). Es stellt annähernd die ursprüngliche Abstützung und Retention in einem Termin wieder her.

Finanzielle Rücklagen können dank einer mittleren Überlebenszeit von 6,2 Jahren aufgebaut und mögliche Folgeversorgungen in dieser Zeit evaluiert werden. Im Gegensatz zur (Sofort-)Implantation nach Extraktion ist eine Versorgung selbst am Krankenbett möglich. Der vorhandene Zahnersatz kann nach einer Behandlungssitzung weiterverwendet werden.

Die Lokalisation, der zu versorgenden Zähne im Zahnbogen, scheint dabei mit der Haltbarkeit des Stiftstumpf-Systems zu korrelieren. Hierbei zeigte sich, dass neben den oberen Schneidezähnen und Eckzähnen auch die unteren Eckzähne geringere Versagensraten zeigen als die Oberkiefer und Unterkiefer Prämolaren. Eine bessere Erreichbarkeit bei häuslicher Zahnreinigung sowie die Morphologie des Zahnwurzelquerschnittes scheinen Einfluss auf die Haltbarkeit zu haben. CERNY et al. zeigten 2019 in einer retrospektiven klinischen Studie, dass eine Vorselektion auf Frontzähne und vergleichsweise junge Probanden (Altersdurchschnitt 47,5 Jahre) zu hohen Überlebenswahrscheinlichkeiten von Stiftstumpf-Systemen führen kann [73]. Für eine Vielzahl von geriatrischen Patienten ist es offensichtlich nicht möglich, weder Zahnoberflächen noch Zahnzwischenräume im Seitenzahnggebiet ausreichend von Biofilm zu befreien. In den Nachkontrollen war diese Vermutung oft zu beobachten und wurde von Patienten auch entsprechend berichtet. Einen weiteren Einfluss auf die Haltbarkeit der Würzburger Stifte könnte die Zahnwurzelmorphologie haben. Die mesialen und distalen intraradikulären Einziehungen von Prämolaren zeigen fallweise unterschiedliche Restdentinstärken. Die Studie zeigte, dass Inzisivi und Canini einen, zur Aufnahme des kreisrunden Tellers des Würzburger Stiftes, besser geeigneten Wurzelquerschnitt besitzen. Die Wurzeldentinoberfläche wird in vielen Fällen fast vollständig vom Teller abgedeckt. Die umlaufende Nut, die die negative Ferrulefräsung ausfüllt, ist zirkulär gleichmäßig gefasst. Fall 3 - Teleskopersatz und Wiederherstellung der Prothesenfunktion - beschreibt diese Optimalversion der Kugelvariante als Teleskopersatz. Ferner sollte untersucht werden, ob zirkulär unterschiedliche Restdentinstärken mit einem größeren Auftreten von Dentinfrakturen korrelieren. In weiterführenden Studien könnte deshalb eine Darstellung mit statistischer Signifikanz nützlich sein. Neben unterschiedlichen

Restdentinstärken sind Parafunktionen des Patienten, hauptsächlich in der Prothesenkinematik, weithin als kontraproduktives Element bekannt. Bruxismus-Patienten zeigen deutliche Abrasionsspuren an funktionalen Zahnflächen und lassen vermuten, dass deutlich erhöhte oder in höherer zeitlicher Frequenz auftretende Schubkräfte über die Verankerungselemente (Kugelkopf des Würzburger Stiftes) wirken. In den Nachuntersuchungen war auffällig, dass bei Prothesenversorgungen in denen der Würzburger Stift einzeln oder in mehrfacher Anzahl als alleiniger Halteelementtyp dient, Dentinfrakturen häufiger aufgetreten sind als bei Hybridprothesen (Fall 2 – Der Würzburger Stift als alleiniges Halteelement einer Teleskopprothese). Die Morphologie des Prothesenlagers schien dabei ebenso einen Einfluss auf die Haltbarkeit zu besitzen, wie die Neigung des zu versorgenden Stumpfes zur Einschubrichtung der prothetischen Versorgung. Je größer die Neigung des Zahnes, desto schwieriger war die Insertion und desto ungleichmäßigere Restdentinstärken wurden geschaffen (Abbildung 46 Mitte/oben). Diese Aspekte sind bei der Auswertung der Statistik und Falldokumentationen aufgefallen, wurden jedoch im Studiendesign nicht explizit erfasst.

Patienten, die mit dem Typ Konus versorgt wurden, waren im Durchschnitt jünger. Beim Typ Konus in Verbindung mit einer zementierten Krone traten keine dokumentierten Dezementierungen und nur drei Fälle einer Dentinfraktur innerhalb des Beobachtungszeitraumes auf. Zum einen scheint der Grundsatz der vollständigen Zahnreihe und die folglich geringeren extra-axialen Schubkräfte (bei optimaler Okklusion) ein Grund zu sein. Zum anderen wurde bei der Präparation des Stiftstumpf-Aufbaus teilweise ein Fassreifen (Ferrule) präpariert (Abbildung 14). Dieser zeigt im direkten Vergleich zur Stumpfoberfläche bei Versorgung mit Kugeltyp einen anderen Randabschluss. Er entspricht eher einer klassischen Präparation nach Retentions- und Widerstandsform von konfektionierten Stiftversorgungen. Der kritische Bereich (den Stiftteller zirkulär umgebendes Dentinareal) ist dabei unter der Krone verborgen und nicht direkt dem Mundmillieu ausgesetzt. Bei nicht-herausnehmbaren Zahnersatz wirken zudem geringere Abzugskräfte. Speisereste können sich, im Vergleich zur Kugelvariante, nicht festsetzen, da

bei ordnungsgemäßigem Verbund (Zementierung/adhäsiver Befestigungsmodus) kein relevanter Randspalt zwischen StA und Krone existiert. In den Nachuntersuchungen konnte beobachtet werden, dass die Biofilmadhäsion an mit Konusstiften versorgten Zähnen deutlich geringer ausgeprägt war.

4.3.1 Konus versus Kugel

Die Gegenüberstellung von Konus- und Kugelvariante schaffte die Voraussetzung zur Einschätzung der klinischen Relevanz und gab Aufschluss über die Haltbarkeit beider Stifftypen. Darüber hinaus zeigte die Auswertung der Patientenklientel eine binäre Verwendung von Kugel- und Konustyp. Ältere Patienten mit multiplen Zahnverlusten und bestehender Prothesenversorgung wurden dabei fast ausschließlich mit Würzburger Stiften zur Wiederherstellung der Prothesenfunktion therapiert. Hierbei galt der sozioökonomische Gedanke, einen kostengünstigen, schnellen Ersatz des Halteelements bei gleichzeitiger Nutzung der bestehenden Prothese zu realisieren. Auch die Verwendung als palliative Maßnahme wurde erwähnt. Diese Patientenklientel zeigte eine deutlich schlechtere Compliance und häusliche Mundhygiene. Kombiniert mit der komplizierteren Reinigung des Kugelankers, der supragingivalen Stumpfoberfläche sowie der Matrize im Sekundärteil, zeigt sich eine Korrelation zur Verlustrate aufgrund von Sekundärkaries. Altersbedingte und medikamenteninduzierte Xerostomie des geriatrischen Patienten wird als weiterer Faktor für eine erhöhte Kariesaktivität diskutiert [75][76][77]. Dabei führt die verminderte Speichelsekretion zu einem Ungleichgewicht der Mundflora, in weiterer Folge zum Kariesbefall freiliegender Dentinareale und letztendlich zum Verlust des Stiftstumpf-Aufbaus. Im Fall von Einzelzahnversorgungen mit dem Konustyp bei Patienten mit intakter Zahnreihe wurden nur sehr geringe kariesbedingte Verluste verzeichnet. Nur zwei von 24 Stiften gingen aufgrund von Sekundärkaries verloren. Die daraus resultierende Ausfallquote durch Sekundärkaries von 8,3 % ist im Vergleich zum Kugeltyp mit 17,2 % deutlich geringer. Gründe dafür könnten zum einen das geringere Durchschnittsalter der Patienten und zum anderen eine bessere Mitarbeit und das Verständnis für

die notwendigen häuslichen Mundhygienemaßnahmen sein. Darüber hinaus sind statistische Effekte aufgrund der vergleichsweise geringen Patientenzahl wahrscheinlich. Der Verlust durch Verarbeitungsfehler des Behandlers ist mit 12,5 % jedoch mehr als fünfmal so groß, ergo deutet dies auf eine schwierigere Verarbeitung und kompliziertere Insertion der Konusvariante innerhalb der geschlossenen Zahnreihe hin (Tabelle 11). Die Einhaltung der Zahnachse des zu versorgenden Zahnes sowie der angrenzenden Zähne scheint ein ebenso wichtiger Aspekt der Insertion zu sein, da bei Nichteinhaltung biomechanische Komplikationen auftreten können. Ein Vergleich beider Stifttypen hinsichtlich Biomechanik, Frakturanfälligkeit oder Mundbeständigkeit ist aufgrund der ungleichen Fallzahlen jedoch nur bedingt aussagekräftig.

In einer weiterführenden Studie sollte deshalb einerseits darauf geachtet werden, dass die Stichprobenanzahl annähernd gleich bemessen wird und andererseits die Planungs- und Verarbeitungsfehler des Behandlers minimiert werden. Wenn beispielsweise nur ein Behandler die Bewertung potenzieller Patientenfälle durchführt, prothetische Wertigkeit der zu versorgenden Zähne bestimmt, die Stiftinsertion vornimmt und Verlustkausalitäten sowie Kommentare in den Nachuntersuchungen notiert, könnte die Fehlersumme deutlich minimiert werden. Darüber hinaus ist eine Quantifizierung der Kariesaktivität mit Hilfe geeigneter Plaqueindices (API nach Lange, Quigley und Hein-Index, Plaqueindex nach Silness und Loe), eine Einschätzung der Compliance des Patienten sowie die Bereitschaft zur Durchführung von Nachuntersuchungen für zukünftige Studien unabdingbar. Eine Einbeziehung soziökonomischer Umstände, wie beispielsweise Palliativlösungen oder provisorische Versorgungen sollten unbedingt gekennzeichnet werden. Eine Modifikation des Stiftdesigns, welche ein einfacheres Einbringen ermöglicht, könnte zu einer Herabsetzung des Risikos von Anwendungsfehlern führen. Das Indikationsspektrum des Würzburger Stiftes könnte als Konsequenz der erzielten Erkenntnisse überdacht werden. Eine generelle Einschränkung würde jedoch die Idee und den unkomplizierten Charakter des Würzburger Stiftes entwerten. Die Verwendung des Würzburger Stiftes sollte auf die

Zahnmorphologien beschränkt werden, die die Anforderungen nach gleichmäßigen zirkulären Restdentinstärken und einer der Zahnachse entsprechenden Einschubrichtung erfüllen.

5 Zusammenfassung

In der vorliegenden Untersuchung wurde eine neuartige und fundamental andere Wurzelstiftkonstruktion („Würzburger Stift“) über den Verlauf von neun Jahren auf klinische Bewährung untersucht. Im Gegensatz zur konventionellen Ausführung unterscheidet sich dieser in allen zentralen Designfragen: anstelle des dünnen, aber langen Wurzelstiftes tritt ein dicker und verhältnismäßig kurzer Stift, der nicht kraftschlüssig, sondern formschlüssig in der Zahnwurzel verankert wird. Der Formschluss wird durch einen Hinterschnitt erreicht.

Im Untersuchungszeitraum wurden 349 Stifte im Rahmen einer klinischen Studie (Ethikkommission Würzburg, Bearbeitungsnummer 128/06) untersucht. Die rekrutierten Patienten waren mit mindestens einem Würzburger Stift versorgt. Nach Abzug der nicht evaluierbaren Stifte (Drop-out-Rate = 8,31 %) reduzierte sich die zu untersuchende Menge an Stiften auf 320, die in 229 Patienten inseriert wurden. Zu den erhobenen Größen zählen die Geschlechter- und Altersverteilung der Patienten wobei eine fast ausgeglichene Geschlechterverteilung ($n_{\text{Frauen}} = 163/n_{\text{Männer}} = 157$) erreicht wurde und das Altersintervall von 64 bis 77 Jahre (Altersdurchschnitt 70,7 Jahre) die Mehrzahl der Probanden repräsentiert. Der überwiegende Anteil der Patienten wurde mit dem Kugelkopf ($n = 296$) versorgt, eine Konusvariante konnte in 24 Fällen inseriert werden. Neben Überlebensraten und -wahrscheinlichkeiten wurden Komplikationsarten und Kausalitäten von Stiftverlusten notiert und ausgewertet. Eine mediane Überlebenszeit von 7,6 Jahren wurde ermittelt. Aus der Kaplan-Meier-Analyse lässt sich ableiten, dass unter den gegebenen Rahmenbedingungen eine solche Restauration mit großer Wahrscheinlichkeit eine 1-Jahres-ÜW von $94,9 \pm 1,2$ %, eine 5-Jahres-ÜW von $60,7 \pm 3,2$ % und eine 9-Jahres-ÜW von $46,7 \pm 5,1$ % erreicht. Hervorzuheben ist, dass überwiegend ältere Patienten mit vorbehandelten Zähnen sowie oftmals bestehendem Zahnersatz versorgt wurden und sich in diesen Fällen der Würzburger Stift als eine wirtschaftliche und potenziell langlebige Versorgung etablieren konnte.

6 Literaturverzeichnis

- [1] W. Suksaphar, D. Banomyong, T. Jirathanyanatt, and Y. Ngoenwiwatkul, "Survival Rates from Fracture of Endodontically Treated Premolars Restored with Full-coverage Crowns or Direct Resin Composite Restorations: A Retrospective Study," *Journal of Endodontics*, vol. 44, no. 2, pp. 233–238, 2018.
- [2] R. F. Rodrigues, C. M. Ramos, P. A. S. Francisconi, and A. F. S. Borges, "The shear bond strength of self-Adhesive resin cements to dentin and enamel: An in vitro study," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 113, no. 3, pp. 220–227, 2015.
- [3] C. J. Goodacre and K. J. Spolnik, "The Prosthodontic Management of Endodontically Treated Teeth: A Literature Review. Part I. Success and Failure Data, Treatment Concepts," *J. Prosthodont.*, vol. 3, no. 4, pp. 243–250, 1994.
- [4] J. A. Sorensen and M. J. Engelman, "Effect of post adaptation on fracture resistance of endodontically treated teeth," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 64, no. 4, pp. 419–424, 1990.
- [5] M. Raedel, C. Fiedler, S. Jacoby, and K. W. Boening, "Survival of teeth treated with cast post and cores: A retrospective analysis over an observation period of up to 19.5 years," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 114, no. 1, pp. 40–45, 2015.
- [6] G. Sterzenbach, A. Franke, and M. Naumann, "Rigid versus flexible dentine-like endodontic posts - Clinical testing of a biomechanical concept: Seven-year results of a randomized controlled clinical pilot trial on endodontically treated abutment teeth with severe hard tissue loss," *J. Endod.*, vol. 38, no. 12, pp. 1557–1563, 2012.
- [7] C. L. Pinto *et al.*, "The Influence of Post System Design and Material on the Biomechanical Behavior of Teeth with Little Remaining Coronal Structure," *Journal of Prosthodontics*, vol. 28, no. 1, pp. e350–e356, 2019.
- [8] P. Magne, J. Goldberg, D. Edelhoff, and J. F. Güth, "Composite resin core

- buildups with and without post for the restoration of endodontically treated molars without ferrule,” *Oper. Dent.*, vol. 41, no. 1, pp. 64–75, 2016.
- [9] M. Naumann, M. Schmitter, R. Frankenberger, and G. Krastl, “‘Ferrule Comes First. Post Is Second!’ Fake News and Alternative Facts? A Systematic Review,” *J. Endod.*, vol. 44, no. 2, pp. 212–219, 2018.
- [10] M. Rezaei Dastjerdi, K. Amirian Chaijan, and S. Tavanafar, “Fracture resistance of upper central incisors restored with different posts and cores,” *Restor. Dent. Endod.*, vol. 40, no. 3, p. 229, 2015.
- [11] M. Balkenhol, B. Wöstmann, C. Rein, and P. Feger, “Survival time of cast post and cores: A 10-year retrospective study,” *J. Dent.*, vol. 35, no. 1, pp. 50–58, 2007.
- [12] M. Naumann, M. Koelpin, F. Beuer, and H. Meyer-Lueckel, “10-year survival evaluation for glass-fiber-supported postendodontic restoration: A prospective observational clinical study,” *J. Endod.*, vol. 38, no. 4, pp. 432–435, 2012.
- [13] M. Bateli, M. Kern, M. Wolkewitz, J. R. Strub, and W. Att, “A retrospective evaluation of teeth restored with zirconia ceramic posts: 10-year results,” *Clin. Oral Investig.*, vol. 18, no. 4, pp. 1181–1187, 2014.
- [14] S. nan Zhang, Q. DU, L. Han, P. Liu, T. Li, and L. li Zhang, “Fiber post versus metal screw post for repair of residual crowns and roots: a systematic review,” *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*, vol. 23, no. 2, pp. 237–242, 2014.
- [15] M. Schmitter, K. Hamadi, and P. Rammelsberg, “Survival of two post systems--five-year results of a randomized clinical trial.,” *Quintessence Int.*, vol. 42, no. 10, pp. 843–50, 2011.
- [16] P. C. F. S. Filho, P. V. Soares, B. R. Reis, C. Veríssimo, and C. J. Soares, “Effects of threaded post placement on strain and stress distribution of endodontically treated teeth,” *Braz. Oral Res.*, vol. 27, no. 4, pp. 305–310, 2013.
- [17] M. Naumann, S. Kiessling, and R. Seemann, “Treatment concepts for restoration of endodontically treated teeth: A nationwide survey of dentists in Germany,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 96, no. 5, pp. 332–338, 2006.

- [18] P. Ottl, L. Hahn, H. C. Lauer, and M. Fay, "Fracture characteristics of carbon fibre, ceramic and non-palladium endodontic post systems at monotonously increasing loads," *J. Oral Rehabil.*, vol. 29, no. 2, pp. 175–183, 2002.
- [19] D. Edelhoff and H. Spiekermann, "Alles über moderne Stiftsysteme.," *Zahnarztl. Mitt.*, pp. 820–826, 2003.
- [20] W. A. Fokkinga, C. M. Kreulen, E. M. Bronkhorst, and N. H. J. Creugers, "Up to 17-year controlled clinical study on post-and-cores and covering crowns," *J. Dent.*, vol. 35, no. 10, pp. 778–786, 2007.
- [21] P. Edelhoff, D; Heidemann, D; Kern, M; Weigl, "Aufbau endodontisch behandelter Zähne," *Dtsch. Gesellschaft für Zahn- Mund- und Kieferheilkd.*, pp. 1–7, 2003.
- [22] A. Rajambigai, A. Kumar, Sabarinathan, and R. Raja, "Comparison of stress distribution in a maxillary central incisor restored with two prefabricated post systems with and without ferrule using finite element method," *J. Clin. Diagnostic Res.*, vol. 10, no. 9, pp. ZC52–ZC55, 2016.
- [23] M. Ferrari, A. Vichi, and F. García-Godoy, "Clinical evaluation of fiber-reinforced epoxy resin posts and cast post and cores," *Am. J. Dent.*, vol. 13, no. 2 SPEC. ISS., 2000.
- [24] C. J. Cormier, D. R. Burns, and P. Moon, "In vitro comparison of the fracture resistance and failure mode of fiber, ceramic, and conventional post systems at various stages of restoration," *J. Prosthodont.*, vol. 10, no. 1, pp. 26–36, 2001.
- [25] S. Toksavul, M. Toman, M. Sarikanat, I. Nergiz, and P. Schmage, "Effect of noble metal alloy post and core material on the fracture resistance of endodontically treated teeth.," *Eur. J. Prosthodont. Restor. Dent.*, vol. 18, no. 1, pp. 2–7, 2010.
- [26] M. Ona, N. Wakabayashi, T. Yamazaki, A. Takaichi, and Y. Igarashi, "The influence of elastic modulus mismatch between tooth and post and core restorations on root fracture," *Int. Endod. J.*, vol. 46, no. 1, pp. 47–52, 2013.
- [27] J. R. Strub, M. Kern, J. C. Türp, S. Witkowski, G. Heydecke, and S.

- Wolfart, *Curriculum Prothetik: Band 3*, vol. 3. 2019.
- [28] B. Duret, F. Duret, and M. Reynaud, "Long-life physical property preservation and postendodontic rehabilitation with the Composipost.," *Compend. Contin. Educ. Dent. Suppl.*, no. 20, pp. S50-6, 1996.
- [29] B. Duret, M. Reynaud, and F. Duret, "New concept of coronoradicular reconstruction: the Composipost (1)," *Chir. Dent. Fr.*, vol. 60, no. 540, pp. 131–141, 1990.
- [30] B. Duret, M. Reynaud, and F. Duret, "Un nouveau concept de reconstitution corono-radulaire, le Composipost (2).," *Chir. Dent. Fr.*, vol. 60, no. 542, pp. 69–77, 1990.
- [31] A. Pegoretti, L. Fambri, G. Zappini, and M. Bianchetti, "Finite element analysis of a glass fibre reinforced composite endodontic post," *Biomaterials*, vol. 23, no. 13, pp. 2667–2682, 2002.
- [32] C. Veríssimo, P. C. Simamoto Júnior, C. J. Soares, P. Y. Noritomi, and P. C. F. Santos-Filho, "Effect of the crown, post, and remaining coronal dentin on the biomechanical behavior of endodontically treated maxillary central incisors," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 111, no. 3, pp. 234–246, 2014.
- [33] V. Upadhyaya, A. Bhargava, H. Parkash, B. Chittaranjan, and V. Kumar, "A finite element study of teeth restored with post and core: Effect of design, material, and ferrule," *Dent. Res. J. (Isfahan)*, vol. 13, no. 3, pp. 233–238, 2016.
- [34] L. V. J. Lassila, J. Tanner, A. M. Le Bell, K. Narva, and P. K. Vallittu, "Flexural properties of fiber reinforced root canal posts," *Dent. Mater.*, vol. 20, no. 1, pp. 29–36, 2004.
- [35] M. Naumann, K. W. Neuhaus, M. Kölpin, and R. Seemann, "Why, when, and how general practitioners restore endodontically treated teeth: a representative survey in Germany," *Clin. Oral Investig.*, vol. 20, no. 2, pp. 253–259, 2016.
- [36] B. Al-Nawas *et al.*, *Das Dental Vademekum*, 10th ed. Deutscher Zahnärzte Verlag Köln, 2009.
- [37] A. Chen, X. Feng, Y. Zhang, R. Liu, and L. Shao, "Finite element analysis of stress distribution in four different endodontic post systems in a model

- canine," *Biomed. Mater. Eng.*, vol. 26, pp. S629–S635, 2015.
- [38] E. Asmussen, A. Peutzfeldt, and T. Heitmann, "Stiffness, elastic limit, and strength of newer types of endodontic posts," *J. Dent.*, vol. 27, no. 4, pp. 275–278, 1999.
- [39] A. Della Bona, O. E. Pecho, and R. Alessandretti, "Zirconia as a dental biomaterial," *Materials*, vol. 8, no. 8, pp. 4978–4991, 2015.
- [40] A. A. Madfa, F. A. Al-Sanabani, N. H. Al-Qudami, J. S. Al-Sanabani, and A. G. Amran, "Use of Zirconia in Dentistry: An Overview," *Open Biomater. J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–7, 2014.
- [41] A. J. Kurthukoti, J. Paul, K. Gandhi, and D. B. J. Rao, "Fracture resistance of endodontically treated permanent anterior teeth restored with three different esthetic post systems: An in vitro study," *J. Indian Soc. Pedod. Prev. Dent.*, vol. 33, no. 4, pp. 296–301, 2015.
- [42] S. Habibzadeh, H. R. Rajati, H. Hajmiragha, S. Esmailzadeh, and M. Kharazifard, "Fracture resistances of zirconia, cast Ni-Cr, and fiber-glass composite posts under all-ceramic crowns in endodontically treated premolars," *J. Adv. Prosthodont.*, vol. 9, no. 3, pp. 170–175, 2017.
- [43] G. Heydecke, F. Butz, and J. R. Strub, "Fracture strength and survival rate of endodontically treated maxillary incisors with approximal cavities after restoration with different post and core systems: An in-vitro study," *J. Dent.*, vol. 29, no. 6, pp. 427–433, 2001.
- [44] I. Vivadent, "Wissenschaftliche Dokumentation," *Ivoclar Vivadent*, pp. 1–37, 2012.
- [45] A. Fabianelli, C. Goracci, E. Bertelli, F. Monticelli, S. Grandini, and M. Ferrari, "In vitro evaluation of wall-to-wall adaptation of a self-adhesive resin cement used for luting gold and ceramic inlays," *J. Adhes. Dent.*, vol. 7, no. 1, pp. 33–40, 2005.
- [46] E. Asmussen, A. Peutzfeldt, and A. Sahafi, "Bonding of resin cements to post materials: influence of surface energy characteristics," *J. Adhes. Dent.*, vol. 7, no. 3, pp. 231–4, 2005.
- [47] Y. Asakawa, H. Takahashi, M. Kobayashi, and N. Iwasaki, "Effect of components and surface treatments of fiber-reinforced composite posts

- on bond strength to composite resin,” *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.*, vol. 26, pp. 23–33, 2013.
- [48] H. Arslan, L. B. Ayranci, D. Kurklu, H. S. Topçuoğlu, and C. Barutçigil, “Influence of different surface treatments on push-out bond strengths of fiber-reinforced posts luted with dual-cure resin cement,” *Niger. J. Clin. Pract.*, vol. 19, no. 2, pp. 218–222, 2016.
- [49] L. F. Valandro *et al.*, “Microtensile bond strength between a quartz fiber post and a resin cement: Effect of post surface conditioning,” *Journal of Adhesive Dentistry*, vol. 8, no. 2, pp. 105–111, 2006.
- [50] H. D. Kim, J. H. Lee, K. M. Ahn, H. S. Kim, and H. S. Cha, “Effect of silane activation on shear bond strength of fiber-reinforced composite post to resin cement,” *J. Adv. Prosthodont.*, vol. 5, no. 2, pp. 104–109, 2013.
- [51] R. Koodaryan, A. Hafezeqoran, and S. Poursoltan, “Effect of dentin surface roughness on the shear bond strength of resin bonded restorations,” *J. Adv. Prosthodont.*, vol. 8, no. 3, pp. 224–228, 2016.
- [52] J. A. Sorensen and M. J. Engelman, “Ferrule design and fracture resistance of endodontically treated teeth,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 63, no. 5, pp. 529–536, 1990.
- [53] A. Yang, A. Lamichhane, and C. Xu, “Remaining Coronal Dentin and Risk of Fiber-Reinforced Composite Post-Core Restoration Failure: A Meta-analysis,” *Int. J. Prosthodont.*, vol. 28, no. 3, pp. 258–264, 2016.
- [54] J. Juloski, I. Radovic, C. Goracci, Z. R. Vulicevic, and M. Ferrari, “Ferrule effect: A literature review,” *Journal of Endodontics*, vol. 38, no. 1, pp. 11–19, 2012.
- [55] P. Magne, P. C. Lazari, M. A. Carvalho, T. Johnson, and A. A. Del Bel Cury, “Ferrule-effect dominates over use of a fiber post when restoring endodontically treated incisors: An in vitro study,” *Oper. Dent.*, vol. 42, no. 4, pp. 397–406, 2017.
- [56] Y. Y. Zhang, M. D. Peng, Y. N. Wang, and Q. Li, “The effects of ferrule configuration on the anti-fracture ability of fiber post-restored teeth,” *J. Dent.*, vol. 43, no. 1, pp. 117–125, 2015.

- [57] S. Singh and P. Thareja, "Fracture resistance of endodontically treated maxillary central incisors with varying ferrule heights and configurations: In vitro study," *J. Conserv. Dent.*, vol. 17, no. 2, pp. 115–118, 2014.
- [58] P. C. F. Santos-Filho, C. Veríssimo, P. V. Soares, R. C. Saltarelo, C. J. Soares, and L. R. Marcondes Martins, "Influence of ferrule, post system, and length on biomechanical behavior of endodontically treated anterior teeth," *J. Endod.*, vol. 40, no. 1, pp. 119–123, 2014.
- [59] P. L. B. Tan *et al.*, "In vitro fracture resistance of endodontically treated central incisors with varying ferrule heights and configurations," *J. Prosthet. Dent.*, vol. 93, no. 4, pp. 331–336, 2005.
- [60] B. M. Kaya and G. Ergun, "The effect of post length and core material on root fracture with respect to different post materials," *Acta Odontol. Scand.*, vol. 71, no. 5, pp. 1063–1070, 2013.
- [61] Y. Tomozawa, "The lepton mixing matrix in a composite model," *Phys. Lett. B*, vol. 104, no. 2, pp. 136–140, 1981.
- [62] Z. Özkurt, U. Işeri, and E. Kazazoğlu, "Zirconia ceramic post systems: A literature review and a case report," *Dent. Mater. J.*, vol. 29, no. 3, pp. 233–245, 2010.
- [63] M. Naumann, G. Sterzenbach, T. Dietrich, K. Bitter, R. Frankenberger, and M. von Stein-Lausnitz, "Dentin-like versus Rigid Endodontic Post: 11-year Randomized Controlled Pilot Trial on No-wall to 2-wall Defects," *J. Endod.*, vol. 43, no. 11, pp. 1770–1775, 2017.
- [64] J. B. C. Meira *et al.*, "Elastic modulus of posts and the risk of root fracture," *Dent. Traumatol.*, vol. 25, no. 4, pp. 394–398, 2009.
- [65] E. Al-Madi, S. Al-Saleh, R. Al-Khudairy, and T. Aba-Hussein, "Influence of Iatrogenic Gaps, Cement Type, and Time on Microleakage of Cast Posts Using Spectrophotometer and Glucose Filtration Measurements," *Int. J. Prosthodont.*, vol. 31, no. 6, pp. 627–633, 2018.
- [66] K. T. Ceyhanli, H. Orucoglu, N. Erdilek, M. Turkun, and M. S. Akdağ, "Microleakage of 4 post-luting cements evaluated by the computerized fluid filtration method," *Int. J. Artif. Organs*, vol. 38, no. 12, pp. 646–650, 2015.

- [67] X. J. Li *et al.*, “Effect of luting cement and thermomechanical loading on retention of glass fibre posts in root canals,” *J. Dent.*, vol. 42, no. 1, pp. 75–83, 2014.
- [68] E. G. Başaran, E. Ayna, and M. Halifeoğlu, “Microleakage of endodontically treated teeth restored with 3 different adhesive systems and 4 different fiber-reinforced posts,” *J. Prosthet. Dent.*, vol. 107, no. 4, pp. 239–251, 2012.
- [69] R. Sarkis-Onofre, J. A. Skupien, M. S. Cenci, R. R. Moraes, and T. Pereira-Cenci, “The role of resin cement on bond strength of glass-fiber posts luted into root canals: A systematic review and metaanalysis of in vitro studies,” *Oper. Dent.*, vol. 39, no. 1, 2014.
- [70] E. J. Richter, J. Boldt, S. Groth, P. Proff, T. Gredes, and K. Rottner, “A new design for post and core restorations implementing positive locking,” *Biomed. Tech.*, vol. 53, no. 5, pp. 234–241, 2008.
- [71] M. Schumacher and G. Schulgen/Kristiansen, *Methodik klinischer Studien*, no. Oktober 1998. 2002.
- [72] E. J. Kramer, H. Meyer-Lueckel, T. G. Wolf, F. Schwendicke, M. Naumann, and R. J. Wierichs, “Success and survival of post-restorations: six-year results of a prospective observational practice-based clinical study,” *Int. Endod. J.*, vol. 52, no. 5, pp. 569–578, 2019.
- [73] D. Cerny, S. Eckert, and R. Mounajjed, “Retrospective 9-Year Clinical Outcome Report on Adhesive Post-endodontic Treatment of Anterior Teeth Using Prefabricated Fiber Posts,” *Int. J. Prosthodont.*, vol. 32, no. 1, pp. 14–16, 2018.
- [74] V. E. de S. Batista, S. B. Bitencourt, N. A. Bastos, E. P. Pellizzer, M. C. Goiato, and D. M. dos Santos, “Influence of the ferrule effect on the failure of fiber-reinforced composite post-and-core restorations: A systematic review and meta-analysis,” *Journal of Prosthetic Dentistry*, vol. 123, no. 2, pp. 239–245, 2020.
- [75] A. G. Barbe, “Medication-Induced Xerostomia and Hyposalivation in the Elderly: Culprits, Complications, and Management,” *Drugs and Aging*, vol. 35, no. 10, pp. 877–885, 2018.

- [76] P. A. Moore and J. Guggenheimer, "Medication-induced hyposalivation: etiology, diagnosis, and treatment.," *Compendium of continuing education in dentistry (Jamesburg, N.J. : 1995)*. 2008.
- [77] E. Mayer, H. U. Klapper, I. Nitschke, and S. Hahnel, "Observations, knowledge, and attitude towards treatment options in patients with dry mouth: a survey among German dentists," *Clin. Oral Investig.*, vol. 23, no. 12, pp. 4189–4194, 2019.

Appendix

I. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung
F	
FEA	Finite Element Analysis
FRC	Fibre-reinforced composite
M	
mÜZ	Mittlere Überlebenszeit
S	
SDF	Survival distribution function
StA	Stiftstumpf-Aufbau
Ü	
ÜW	Überlebenswahrscheinlichkeit

II. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 - Abbinde- und Reaktionsweisen verschiedener Befestigungsmaterialien (Quelle: Ivoclar Vivadent/ „Wissenschaftliche Dokumentation Multilink® Automix“ 2013).....	10
Abbildung 2 - Druckfestigkeit verschiedener Befestigungsmaterialien (Quelle: Ivoclar Vivadent/ „Wissenschaftliche Dokumentation Multilink® Automix“ 2013)	11
Abbildung 3 - Würzburger Stift als KONUS- und KUGEL-Variante (Quelle: Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	17
Abbildung 4 - Endgültige Bemaßung des Stiftes (Quelle: Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	18
Abbildung 5 - Ausgangssituation: Der avitale Zahn 44 war vor Fraktur mit einer Einzelzahnkrone versehen (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)	20
Abbildung 6 - Mit einer diamantierten Kugel wird der zukünftige Mittelpunkt der Stiftbohrung festgelegt (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)	20
Abbildung 7 - Pilotschleifer des Würzburger Systems: mit diesem Werkzeug werden das zylindrische Basisloch und die umlaufende Nut geschaffen (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	21
Abbildung 8 - Pilotbohrung: Mit dem Pilotbohrer werden in einem Arbeitsgang das zentrische Sackloch, die Stirnfläche und eine umlaufende Nut erzeugt (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)	21
Abbildung 9 - Bohrkrone bei Insertion des Mitnehmers (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	22
Abbildung 10 - Eingeführte Bohrkrone in die Kavität der Pilotbohrung (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	22
Abbildung 11 - Insertion des Mitnehmers und Umformen des Sacklochs zur invers konischen Kavität mit darauffolgender Entnahme in umgekehrter Reihenfolge (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)	22
Abbildung 12 - Die fertige Kavität (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	23
Abbildung 13 - Einsetzen des Stiftes mit einem dualhärtenden Adhäsivsystem (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)	23

Abbildung 14 - Situation nach Entfernung von Kompositüberschüssen und Präparation (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	24
Abbildung 15 - Kugelvariante nach dem Inserieren und vor Verschleifen und Polieren des Spreizdorns (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)	24
Abbildung 16 - Würzburger Stift in situ ein Jahr nach Insertion (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)	24
Abbildung 17 - Dalbo Plus® – Matrize im Außenteleskop 33 einpolimerisiert (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg)	25
Abbildung 18 - FEA Spannungs- Dehnungsdiagramm Würzburger Stift (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	26
Abbildung 19 - Spannung und Dehnung im Dentin unter 90° Belastung bei zunehmendem Dentinquerschnitt (Quelle: Dr. Julian Boldt/ Universität Würzburg).....	27
Abbildung 20 - Geschlechterverteilung inserierter Würzburger Stifte	31
Abbildung 21 - Insertionen und evaluierte Würzburger Stifte als Kugel- und Konusvariante	32
Abbildung 22 - Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Stiftinsertion.....	36
Abbildung 23 - Alter der Patienten zum Zeitpunkt des Beobachtungsendes 01.04.2015	37
Abbildung 24 - Patientenverteilung mit Altersmittelwert bei Stiftinsertion und bei Beobachtungsende 01.04.2015.....	38
Abbildung 25 - Verteilung zum Zeitpunkt der Insertion	39
Abbildung 26 - Verteilung der Stifte in situ zum Beobachtungsende 01.04.2015	39
Abbildung 27 - Würzburger Stift (Kugelvariante) in situ (Quelle: eigene Aufnahme).....	47
Abbildung 28 - Würzburger Stift in okklusaler Ansicht (Quelle: eigene Aufnahme).....	48
Abbildung 29 - Dalbo Plus® Matrize im Außenteleskop 43 (Quelle: eigene Aufnahme).....	49
Abbildung 30 - Teleskopprothese mit Matrize im Außenteleskop (Quelle: eigene Aufnahme).....	49

Abbildung 31 - Würzburger Stift als Halteelement 33, 43 nach Teleskopfraktur (UK Teleskopprothese) (Quelle: eigene Aufnahme).....	50
Abbildung 32 - UK-Teleskopprothese in situ (Quelle: eigene Aufnahme)	51
Abbildung 33 - Einzelzahnfilm als Beispiel für eine gute Passung (Quelle: eigene Aufnahme)	51
Abbildung 34 - Einzelzahnfilm Zahn 33 (Quelle: eigene Aufnahme).....	51
Abbildung 35 - Einzelaufnahme Stift 33 - Sekundärkaries bukkal (Quelle: eigene Aufnahme).....	52
Abbildung 36 - OPG mit Stiftversorgung 13 (Quelle: eigene Aufnahme)	53
Abbildung 37 - Teleskopprothesenversorgung OK mit Dalbo Plus® - Matrize im ehemaligen Außenteleskop 13 (Quelle: eigene Aufnahme).....	54
Abbildung 38 - Frontalaufnahme Würzburger Stift 13 und bestehende Teleskopversorgung 23/24 (Quelle: eigene Aufnahme).....	54
Abbildung 39 - Kugelvariante als alleiniges Halteelement im 1. Quadranten bei bestehender OK-Teleskopprothese (Quelle: eigene Aufnahme).....	55
Abbildung 40 - Würzburger Stift verblieb bei Ausgliederung im Außenteleskop (Quelle: eigene Aufnahme).....	56
Abbildung 41 - Kraterförmige Fraktur nach 2550 Tagen (Quelle: eigene Aufnahme)	56
Abbildung 42 - Einzelzahnfilm 23 - kraterförmigen Defekt (Quelle: eigene Aufnahme).....	57
Abbildung 43 - Schleimhautwucherung über den Stiftteller (Quelle: eigene Aufnahme).....	57
Abbildung 44 - Hyperplastischer Schleimhauttyp (Quelle: eigene Aufnahme)..	58
Abbildung 45 - Biofilm, Karies, Verlust der Zahnhartsubstanz bei ungenügender häuslicher Mundhygiene (Quelle: eigene Aufnahme)	58
Abbildung 46 - Analyse des Stiftverlustes - Dentindefekte aufgrund von Karies (Quelle: eigene Aufnahme).....	59
Abbildung 47 - Zahnfilme - lege artis Insertion (Quelle: eigene Aufnahme).....	60
Abbildung 48 - Ferrule versus Non-Ferrule - Versorgungsmöglichkeiten von Zähnen mit unterschiedlichen Reststumpfhöhen.....	66

III. Diagrammverzeichnis

Diagramm 1 - Überlebenswahrscheinlichkeiten für n_{GESAMT} Stifte (Kaplan-Meier-Schätzer).....	41
Diagramm 2 - Überlebenswahrscheinlichkeiten für n_{KUGEL} (Kaplan-Meier-Schätzer).....	42
Diagramm 3 - Überlebenswahrscheinlichkeiten für n_{KONUS} (Kaplan-Meier-Schätzer).....	43
Diagramm 4 - Gründe des Stiftverlustes - nicht zensiert = (1) zensiert = (0)....	46

IV. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 – Klassifizierung bekannter Wurzelstiftsysteme	3
Tabelle 2 - Vor- und Nachteile verschiedener Stiftgeometrien	6
Tabelle 3 - Elastizitätsmoduln von Werkstoffen verschiedener StA-Systeme	7
Tabelle 4 - Rekurrente Versagensmodi und adäquate Lösungsansätze	16
Tabelle 5 - Stiftversagen	33
Tabelle 6 - tabellarische Aufstellung Patientenkollektiv	38
Tabelle 7 - Datenarrangement für den Kaplan Meier Schätzer	40
Tabelle 8 - Überlebenszeiten des Würzburger Stiftes (beide Varianten) in Tagen	41
Tabelle 9 - Überlebenszeiten des Würzburger Stiftes als Kugelvariante in Tagen	42
Tabelle 10 - Überlebenszeiten des Würzburger Stiftes als Konusvariante (in Tagen)	43
Tabelle 11 - Kausalität, mögliche Zensur und Komplikationsart von Kugel- und Konusvariante des Würzburger Stiftes	45
Tabelle 12 - Vergleich von Überlebensraten konfektionierter Stiftsysteme	65