

Aus der Poliklinik für Parodontologie und Zahnerhaltung
der Universitätsmedizin der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Restaurationskonzepte der zweiten wurzelkanalbehandelten Prämolaren ambulanter
Patienten in der Zahnklinik Mainz

Inauguraldissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der
Zahnmedizin
der Universitätsmedizin
der Johannes Gutenberg-Universität Mainz

Vorgelegt von

Rabea Sauer
aus Mainz

Mainz, 2022

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion:

06. Dezember 2022

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	II
1 Einleitung	1
2 Literaturdiskussion	3
2.1 Anatomie und Morphologie.....	3
2.2 Aufbereitungstechnik und Zemente	7
2.3 Sealer	9
2.4 Instrumente.....	12
2.5 Ultraschall.....	14
2.6 Spüllösung.....	14
2.7 Postendodontische Restauration.....	18
2.8 Endo-Paro-Läsionen.....	20
2.9 Erfolgsrate Wurzelkanalbehandlung.....	21
3 Material & Methode	24
3.1 Datenerhebung.....	24
3.2 Dokumentation / Datenverarbeitung	24
3.3 Variablenvorauswahl	24
3.4 Überarbeitung des Datensatzes	24
3.5 Umgang mit fehlenden Werten	25
3.6 Statische Auswertung.....	25
4 Ergebnisse	27
4.1 Allgemeine Daten	27
4.2 Restaurative Versorgung vor Wurzelkanalbehandlung.....	29
4.3 Restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung.....	30
4.4 Apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung.....	37
4.5 Stiftversorgung nach Wurzelkanalbehandlung	40
4.6 Frakturen	45
4.7 Revisionen.....	50
4.8 Apicaler Zustand nach Wurzelkanalbehandlung.....	53
4.9 Extraktion.....	58
5 Diskussion.....	62
6 Zusammenfassung.....	65
Literaturverzeichnis.....	67
Danksagung	79

Abbildungsverzeichnis

Abbildungen

Abbildung 1: OPG 06.06.2013 Zahn 35 vor Wurzelkanalbehandlung	33
Abbildung 2: Einzelaufnahme 20.06.2013 Zahn 35 Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung.....	33
Abbildung 3: OPG 04.02.2016 Zahn 35 nach Wurzelfüllung und Füllung.....	33
Abbildung 4: Einzelaufnahme 02.07.2012 Zahn 15 vor Wurzelkanalbehandlung.....	34
Abbildung 5: Einzelaufnahme 09.08.2012 Zahn 15 Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung...	34
Abbildung 6: Einzelaufnahme 21.12.2017 Zahn 15 Füllung nach Wurzelkanalbehandlung ..	34
Abbildung 7: Einzelaufnahme 10.08.2010 Zahn 35 vor Wurzelkanalbehandlung	35
Abbildung 8: Einzelaufnahme 29.10.2013 Zahn 35 nach Wurzelfüllung.....	35
Abbildung 9: OPG 02.02.2016 Zahn 35 prothetische Versorgung mit Krone	35
Abbildung 10: OPG 27.09.2011 Zahn 25 vor Wurzelkanalbehandlung	36
Abbildung 11: Einzelaufnahme 26.01.2012 Zahn 25 Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung ..	36
Abbildung 12: Einzelaufnahme 08.08.2017 Zahn 25 nach restaurativer Versorgung mit Krone	36
Abbildung 13: OPG 04.08.2014 Zahn 35 vor Wurzelkanalbehandlung	38
Abbildung 14: Einzelaufnahme 12.11.2014 Zahn 35 Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung ..	39
Abbildung 15: OPG 12.04.2017 Zahn 35 nach Wurzelkanalbehandlung.....	39
Abbildung 16: OPG 05.03.2012 Zahn 45 vor Wurzelkanalbehandlung	39
Abbildung 17: Einzelaufnahme 21.03.2012 Zahn 45 Messaufnahme	40
Abbildung 18: Einzelaufnahme 05.10.2017 Zahn 45 nach Wurzelkanalbehandlung und Füllung.....	40
Abbildung 19: Einzelaufnahme 02.02.2017 Zahn 45 vor Wurzelkanalbehandlung	42
Abbildung 20: Einzelaufnahme 02.03.2017 Zahn 45 nach Wurzelfüllung.....	42
Abbildung 21: Einzelaufnahme 15.12.2017 Zahn 45 Stiftversorgung	43
Abbildung 22: Einzelaufnahme 20.06.2012 Zahn 35 vor Wurzelkanalbehandlung	43
Abbildung 23: Einzelaufnahme 07.08.2012 Zahn 35 nach Wurzelfüllung.....	43
Abbildung 24: Einzelaufnahme 23.01.2013 Zahn 35 Stift setzen	44
Abbildung 25: OPG 06.02.2016 Zahn 35 nach Stiftversorgung.....	44
Abbildung 26: OPG 29.02.2008 Zahn 25 vorhandene Wurzelkanalbehandlung.....	46
Abbildung 27: Einzelaufnahme 06.05.2009 Zahn 25 nach Revision	46
Abbildung 28: Einzelaufnahme 18.12.2013 Zahn 25 Längsfraktur	47
Abbildung 29: halbseitiges OPG links Zahn 25 extrahiert, Kugelmessaufnahme für Implantat	47
Abbildung 30: Einzelaufnahme 20.12.2019 Zahn 25 Implantat	47
Abbildung 31: Einzelaufnahme 11.12.2009 Zahn 45 nach Wurzelkanalbehandlung	48
Abbildung 32: Einzelaufnahme 19.04.2010 Zahn 45 Messaufnahme Revision	48
Abbildung 33: Einzelaufnahme 02.08.2010 Zahn 45 Nach Revision und Füllung	48
Abbildung 34: OPG 02.08.2012 Zahn 45 nach prothetischer Versorgung mit Stift und Krone	49
Abbildung 35: Einzelaufnahme 05.05.2015 Zahn 45 Längsfraktur nach prothetischer Versorgung mit Stift und Krone	49
Abbildung 36: halbseitiges OPG Rechts 02.11.2015 Zahn 45 Implantat	49
Abbildung 37: Einzelaufnahme 08.09.2009 Zahn 15 nach Wurzelkanalbehandlung	51

Abbildung 38: Einzelaufnahme 08.09.2009 Zahn 15 Revision	51
Abbildung 39: Einzelaufnahme 28.02.2011 Zahn 15 nach Revision	51
Abbildung 40: Einzelaufnahme 05.05.2011 Zahn 15 nach 2. Revision	52
Abbildung 41: Einzelaufnahme 08.11.2022 Zahn 15 nach 2. Revision	52
Abbildung 42: Einzelaufnahme 28.10.2015 Zahn 45 nach Wurzelkanalbehandlung	52
Abbildung 43: Einzelaufnahme 09.11.2015 Zahn 45 Revision Messaufnahme	52
Abbildung 44: Einzelaufnahme 28.03.2017 Zahn 45 nach Revision und Füllung	53
Abbildung 45: OPG 12.02.2019 Zahn 45 apicale Aufhellung nach Revision	53
Abbildung 46: Einzelaufnahme 04.11.2015 Zahn 35 Messaufnahme	55
Abbildung 47: Einzelaufnahme 01.04.2016 Zahn 35 nach Wurzelkanalbehandlung	56
Abbildung 48: Einzelaufnahme 17.06.2016 Zahn 35 apicale Aufhellung nach Wurzelkanalbehandlung	56
Abbildung 49: Einzelaufnahme 19.04.2017 Zahn 15 vor Wurzelkanalbehandlung	56
Abbildung 50: Einzelaufnahme 06.10.2011 Zahn 15 nach Wurzelkanalbehandlung, Stiftversorgung und Krone (Teleskopkrone); LPO	57
Abbildung 51: OPG 06.05.2016 Zahn 15 erweiterter Parodontalspalt.....	57
Abbildung 52: Einzelaufnahme 11.01.2012 Zahn 45 Messaufnahme	59
Abbildung 53: Einzelaufnahme 03.02.2016 Zahn 45 Nach Wurzelkanalbehandlung und prothetische Versorgung mit Krone.....	59
Abbildung 54: Einzelaufnahme 14.11.2016 Zahn 45 horizontale Fraktur	59
Abbildung 55: Einzelaufnahme 22.11.2017 Zahn 45 Implantat	59
Abbildung 56: OPG 24.07.2013 Zahn 45 vor Wurzelkanalbehandlung apicale Aufhellung ...	60
Abbildung 57: Einzelaufnahme 08.08.2013 Zahn 45 Messaufnahme	60
Abbildung 58: halbseitiges OPG rechts 20.08.2013 Zahn 45 via falsa	60
Abbildung 59: OPG 10.06.2014 Zahn 45 bereits extrahiert.....	61

Graphen

Graph 1: Balkendiagramm Häufigkeit der Zähne 15, 25, 35, 45	27
Graph 2: Überlebenszeitanalyse Zähne 15, 25, 35, 45	28
Graph 3: Überlebenszeitanalyse restaurative Versorgung vor Wurzelkanalbehandlung: Krone, Füllung, keine restaurative Versorgung	29
Graph 4: Überlebenszeitanalyse restaurative Versorgung vor Wurzelkanalbehandlung Füllung, Krone	30
Graph 5: Überlebenszeitanalyse Restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung Keine, Füllung, Krone	31
Graph 6: Überlebenszeitanalyse Restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung Füllung und Krone	32
Graph 7: Überlebenszeitanalyse apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung	38
Graph 8: Überlebenszeitanalyse Kein Stift, Glasfaserstift, Metallstift	41
Graph 9: Balkendiagramm Fraktur nach Wurzelkanalbehandlung bei Stiftversorgung	45
Graph 10: Boxplot Revision nach Wurzelkanalbehandlung.....	50
Graph 11: Überlebenszeitanalyse keine apicale Beherdung nach Wurzelkanalbehandlung: 0= apicale Beherdung 1= keine apicale Beherdung	54
Graph 12: Balkendiagramm Häufigkeit keine apicale Beherdung 0=apicale Beherdung, 1= keine apicale Beherdung	54
Graph 13: Balkendiagramm relative Häufigkeit Extraktion	58
Graph 14: Histogramm Zeitpunkt Extraktion	61

Tabellen

Tabelle 1: Häufigkeit Geschlechter	28
Tabelle 2: Anzahl restaurativer Versorgungen nach Wurzelkanalbehandlung Anzahl der Ergebnisse = Extrahiert, Zensiert = keine Extraktion	31
Tabelle 3: Kreuztabelle apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung und Extraktion	37
Tabelle 4: Häufigkeit Stiftversrogung der Materialien Glasfaser und Metall; Anzahl der Ergebnisse Extraktion	41
Tabelle 5: Anzahl Frakturen nach Stiftversorgung	45

1 Einleitung

Eines der wichtigsten Ziele der Zahnheilkunde ist die langfristige Erhaltung der Mundgesundheit der Patienten. Genauso wichtig ist die frühestmögliche Heilung eingetretener Schäden. Trotz aller Präventivmaßnahmen und Prophylaxeprogramme können mangelnde Mundhygiene und schlechte Ernährung zu Karies und größeren Schäden der Zahnhartsubstanz führen. Wenn dies nicht schnell genug therapiert wird, da der Patient häufig erst den Zahnarzt aufsucht, wenn klinische Beschwerden auftreten, kann das pulpaie Gewebe in die Läsion einbezogen sein und eine irreversible Schädigung der Pulpa vorliegen. Folglich bleibt die Wurzelkanalbehandlung als letzte Möglichkeit, den kranken Zahn zu erhalten. Die Wurzelkanalbehandlung umfasst die mechanische und chemische Aufbereitung des Wurzelkanals mit anschließender Füllung des Wurzelkanals.

Häufige Probleme der Wurzelkanalbehandlung lassen auf nicht ausreichende Kenntnis der Wurzelkanalmorphologie schließen. Wurzelkanalsysteme sind sehr komplex. Sie können unterschiedliche Konfigurationen haben, die sich teilen und wiedervereinen (1, 2). Wurzeln und Wurzelkanäle sind meistens gekrümmt, auch wenn sie auf Röntgenbildern gerade erscheinen. Der Wurzelkanaldurchmesser verkleinert sich immer weiter zum Foramen apicale, welcher den kleinsten Durchmesser hat (3). Blutgefäße der Seitenkanäle sind mit dem vaskulären System der Pulpa verbunden, wodurch entzündliche Produkte zwischen Pulpa und periapikalem Gewebe ausgetauscht werden. Jeder Zahn hat eine andere Wurzelkanalmorphologie. Es gibt Zähne mit einer zwei oder drei Wurzeln. Das besondere bei der Morphologie der zweiten Prämolaren ist, dass sie sehr grazile Wurzeln haben. Der zweite obere Prämolare kann drei Kanalsysteme mit drei Wurzeln oder drei Kanalsysteme mit zwei beziehungsweise mit einer Wurzel aufweisen(4). Dies macht die Wurzelkanalaufbereitung in manchen Fällen sehr komplex und schwierig.

Die Wurzelkanalbehandlung ist ein sehr entscheidender Aspekt in der Zahnmedizin. Dies zeigt auch die steigende Tendenz an Wurzelkanalbehandlungen der letzten Jahre in Deutschland (5-7). Diese Tendenz kann darauf zurückzuführen sein, dass es große Fortschritte und Arbeitserleichterungen in diesem Gebiet gab. Vor allem Verbesserungen in der Diagnostik und der Wurzelkanalzemente sind zu nennen. Aber auch die Möglichkeit der maschinellen Aufbereitung hat diese Behandlungsform sehr erleichtert (5).

Ein weiterer Aspekt, warum die Anzahl an Wurzelkanalbehandlungen tendenziell gestiegen ist, liegt im Gesundheitsbewusstsein der Bevölkerung sowie der präventiven Prophylaxe begründet (8).

Aufgrund der zunehmend erfolgreichen Wurzelkanalbehandlungen in den vergangenen Jahren, wird häufiger zu diesem Therapieschritt gegriffen (9-12). Somit kommt es immer häufiger vor, dass Patienten durch eine Wurzelkanalbehandlung die Extraktion ihrer Zähne umgehen können.

Aufgrund des gestiegenen Bedarfs in Folge der vermehrt und erfolgreicher durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen erlangt das Thema der restaurativen Versorgung eines endodontisch behandelten Zahns zunehmend an Bedeutung. Die Weiterentwicklung dentaler Werkstoffe wurde forciert, sodass heutzutage eine Variationsbreite therapeutischer Möglichkeiten zur Verfügung stehen. Diese Versorgungsmöglichkeiten und die Zeitspanne, in der die restaurative Versorgung stattfinden soll, werden zurzeit kontrovers diskutiert (9, 13-16). Insbesondere findet man unterschiedliche Lehrmeinungen zur Qualität der Zahnhartsubstanz devitaler Zähne (17-19).

Die Adhäsivtechnik hat neue Möglichkeiten geschaffen, Zähne restaurativ zu versorgen. Durch die Adhäsivtechnik bei Wurzelstiften und Aufbauwerkstoffen können Zähne mit minimalinvasiven und maximal zahnhartsubstanzschonenden Füllungen versorgt werden.

Gerade Glasfaserstifte, die adhäsiv eingesetzt werden, haben im Gegensatz zu Metallstiften ein dentinähnliches Elastizitätsmodul. Sie können mit einer drucklosen Applikation und einem adhäsiven stabilisierenden Verbund zur Dentinfläche eingesetzt werden. Somit bilden sie eine gute Alternative zu klassischen Metallstiften (20, 21).

Diese Dissertation beschäftigt sich mit der wichtigen Frage der restaurativen Versorgung wurzelkanalbehandelter zweiter Prämolaren.

Ziel der vorliegenden retrospektiven Studie ist, den Einfluss der restaurativen Versorgung wurzelkanalbehandelter zweiter Prämolaren zu untersuchen. Hierbei wird anhand von Einträgen in die Patientenakte der Zahnerhaltung der Uniklinik Mainz sowie anhand von Röntgenbildern die Situation der Zähne vor und nach Wurzelkanalbehandlung verfolgt. Es wird die Frage erörtert, ob die indirekte und direkte restaurative Versorgung einen Einfluss auf die Überlebensrate der endodontisch behandelten Zähne hat. Weiterhin wird in dieser Arbeit untersucht, wie der apicale Verlauf der wurzelkanalbehandelten Zähne nach Wurzelkanalbehandlung ist und welche Versorgung nach Extraktion vorliegt.

2 Literaturdiskussion

2.1 Anatomie und Morphologie

Anatomie des Zahns

Der Zahn ist in eine Zahnkrone und Zahnwurzel unterteilt. Die äußere Schicht der Zahnkrone ist der Zahnschmelz und der innere Teil das Dentin. Das Dentin lässt sich in das Manteldentin, das zirkumpulpa Dentin, das Zwischendentin und das Prädentin unterteilen. Der Zement bedeckt die Wurzeloberfläche der Zähne und Teilbereiche der apicalen Wurzelkanalwände (22).

Der Weichgewebskern eines Zahns wird als Zahnpulpa bezeichnet. Die Pulpakammer ist der Raum, den das Pulpagewebe ausfüllt. Im Kronenkavum befindet sich der Anteil der Kronenpulpa und in den Wurzelkanälen die Wurzelpulpa. Die inzisalen beziehungsweise okklusalen Einziehungen werden als Pulpahörner bezeichnet. Über Seitenkanäle, akzessorische Kanäle, Pulpaperiodontalkanäle und Foramen apicale kann die Pulpa mit dem Parodontium kommunizieren (23).

In der Pulpa befinden sich dentinbildende Odontoblasten, Fibroblasten, undifferenzierte Mesenchymzellen und Abwehrzellen wie Makrophagen, dendritische Zellen, Granulozyten und T- sowie B-Lymphozyten. Die Pulpa zeigt vor allem im Bereich der Kronenpulpa einen schichtartigen Aufbau. Es folgen nacheinander Prädentin, Odontoblasten, Weilzone, bipolare Zone und Raschkow-Nervenplexus. Im Raschkow-Plexus befinden sich Verzweigungen des zentralen Nervenbündels. Die Pulpa hat eine formative Funktion durch die Bildung von Dentin durch Odontoblasten. Die nutritive Funktion wird von dem Gefäßsystem und seiner Innervation gewährleistet. Durch die afferenten Nerven ist die sensorische Funktion der Pulpa gegeben. Es kommen A-Beta-Fasern, A-Delta Fasern und C-Fasern vor. Die defensive Funktion ist durch die Bildung von Tertiärdentin gegeben (23).

Morphologie Wurzelkanäle

Ein entscheidender Punkt in der Endodontie ist die Morphologie der Zähne. Jeder Zahn ist unterschiedlich aufgebaut und hat eine andere Form und Funktion. So ist auch die Anzahl an Wurzelkanälen der Zähne unterschiedlich.

Der mittlere und seitliche obere Schneidezahn hat in der Regel eine Wurzel und einen rundlich ovalen Wurzelkanal.

Willershausen et al. ermittelten in einer röntgenologischen Studie, dass Unterschiede zwischen mittleren und seitlichen Oberkieferschneidezähnen hinsichtlich der Lage der Kanalkrümmung und Winkelwerte zu beobachten sind. Der mittlere Abstand zwischen Schmelz-Zement Grenze und erster Krümmung ist bei mittleren oberen Schneidezähnen geringer als bei seitlichen Schneidezähnen (24)

Der mittlere und seitliche untere Schneidezahn hat eine Wurzel. Der Wurzelkanal ist oval bis hantelförmig. Bei besonders stark abgeplatteten Wurzeln kann es zwei Wurzelkanäle geben.

Der obere Eckzahn hat eine Wurzel und einen meist ovalen Wurzelkanal.

Der untere Eckzahn hat meist eine Wurzel und einen Wurzelkanal. Selten kann dieser Zahn eine Wurzel mit zwei Kanälen haben oder zwei eigenständige Wurzeln.

Der erste und zweite obere Molar besitzen in der Regel drei Wurzeln. Diese sind mesio-bukkal, disto-bukkal und palatinal angeordnet. Der zweite Molar hat zu 20 % zwei Wurzeln. Die disto-bukkale und palatinale Wurzel haben fast immer einen Kanal, wohingegen die mesio-bukkale Wurzel zu 40-90 % zwei Kanäle haben kann. Diese weisen häufig den Konfigurationstyp II auf. Bei der Aufbereitung dieser Kanäle kann es zu einer Vereinigung der beiden Kanäle kommen, da die Dentinschicht dazwischen sehr gering ist (3).

Der erste und zweite untere Molar haben in der Regel zwei Wurzeln. Diese sind mesial und distal anatomisch angeordnet. Die mesiale Wurzel enthält zu 85 % zwei Wurzelkanäle, die häufig dem Konfigurationstyp III entsprechen. Die distale Wurzel hat meistens einen Kanal. Einen Wurzelkanal in der mesialen Wurzel findet man häufiger bei zweiten im Vergleich zu ersten Molaren (3).

In einer Studie konnte ermittelt werden, dass die am häufigsten beobachteten Wurzelkanalkonfigurationen der oberen Molaren in der mesiobukkale Wurzel 2-2-2/2 (19,5 %), 2-2-1/1 (14,6 %) und 2-1-1/1 (13,0 %) auftreten. Eine 1-1-1/1-Konfiguration ist im distobukkale und palatinalen Kanal am häufigsten zu beobachten (25).

Der erste obere Prämolare hat zu ca. 40 % eine Wurzel und zu ca. 60 % zwei Wurzeln, die bukkal und palatinal angeordnet sind. In sehr seltenen Fällen können es sogar drei Wurzeln sein. Einwurzelige Zähne haben meist Wurzelkanäle mit variabler Konfiguration. Bei mehrwurzeligen Zähnen können die Wurzelspitzen sehr zierlich sein. Die Perforation ist dadurch erhöht, dass die bukkale Wurzel häufig sehr konkav ist (3).

Bei oberen ersten Prämolaren wird sehr häufig in der bukkalen Wurzel eine Einziehung im palatinalen Wurzeldentin beobachtet, an den dünnsten Stellen konnte eine durchschnittliche Dentindicke von 0,81 mm gemessen werden (26). Bei der Aufbereitung der Restaurierung des Zahns kann diese Einziehung eine übermäßige Schwächung nach sich ziehen (27). Deshalb sollte für einen Wurzelstift die palatinale Wurzel gewählt werden.

Der zweite obere Prämolare hat zu 90 % eine Wurzel. Diese wiederum hat in 30 % der Fälle zwei Kanäle mit variabler Konfiguration. Wenn es sich um zweiwurzelige Zähne handelt, trennen sich die Wurzeln meistens erst im unteren Drittel (3).

Eine röntgenologische Studie fand heraus, dass die erste Krümmung des Wurzelkanals bei Prämolaren häufig bei etwa 8 mm apical der Schmelz-Zementgrenze liegt (28).

Wie bereits beschrieben, hat der obere erste Prämolare meistens zwei Wurzeln und der obere zweite Prämolare eine Wurzel. Hierbei besteht in der Literatur jedoch eine gewisse Uneinigkeit: Zum einen wurden verschiedene Populationen untersucht, zum anderen wurden fusionierte Wurzeln teilweise unterschiedlich bewertet, das heißt in manchen Studien als ein- und in anderen als zweiwurzlig eingestuft (29-31).

Teilweise konnte beobachtet werden, dass sich die Kanäle in zwei apikal separat verlaufende Kanalanteile aufgliedern. In der Literatur wird die Häufigkeit des Vorkommens dieser apikalen Aufteilung mit bis zu 10 Prozent beziffert (2).

Der erste und zweite obere Prämolare kann drei Kanalsysteme mit drei Wurzeln oder drei Kanalsysteme mit zwei beziehungsweise mit einer Wurzel aufweisen. Dies kommt laut Literatur bei ein bis zwei Prozent der Fälle vor (4).

Der erste und zweite untere Prämolare hat fast immer eine Wurzel. In einem Viertel der Fälle weist der erste Prämolare mehr als einen Wurzelkanal auf, während dies bei zweiten Prämolaren nur sehr selten der Fall ist. Bei zwei Kanälen ist die Anordnung bukkal und lingual, der linguale Kanal zweigt meist erst im unteren Wurzeldrittel ab (3).

Der zweite untere Prämolare hat in ca. 99,6 Prozent der Fälle nur eine Wurzel und somit noch häufiger als bei ersten unteren Prämolaren (32).

In der Übersichtsarbeit, die acht Studien über die Anatomie von zweiten Unterkiefer-Prämolaren zusammenfasst, ergab sich eine Prävalenz von mehr als einem Kanal in 9 Prozent aller Fälle (32).

Unterkiefer-Prämolaren haben eine zunehmende Krümmung nach 9 bis 12 mm apical der Schmelz-Zement-Grenze (33). Die Wurzeln weisen verschiedene Krümmungen auf und haben verschiedene Querschnitte. Es gibt einen Hauptkanal und mehrere Seitenkanäle. Wenn diese Seitenkanäle senkrecht oder schräg zum Hauptkanal stehen, werden diese laterale oder sekundäre Kanäle genannt. Im Bereich des Apex werden sie akzessorische Kanäle genannt. Ein apikales Delta liegt vor, wenn viele akzessorische Kanäle vorliegen.

Es lässt sich zwischen physiologischem Apex, anatomischem Apex und röntgenologischem Apex unterscheiden. Der physiologische Apex ist die engste Stelle des Wurzelkanals und stellt meist die Zement-Dentin-Grenze dar. Er weist anatomisch große Vielfalt auf. Er kann punktförmig, streckenförmig, parallel und multipel gestaltet sein. Durch eine chronische apicale Parodontitis kann die Konstruktion durch Resorption ganz verloren gehen.

Der anatomische Apex ist die anatomische Wurzelspitze. Der radiologische Apex ist die Stelle, die sich auf dem Röntgenbild als Wurzelspitze darstellt. Der Abstand zwischen Foramen apicale und Foramen physiologicum beträgt gewöhnlich 0,5-1,0 mm (3).

Eine Studie besagt, dass zwischen physiologischem und anatomischem Apex ein Abstand von 0,81 mm bis 1,02 mm beim ersten oberen Molar vorliegt. Der zweite obere Molar weist einen Abstand zwischen 0,43 mm und 0,63 mm auf. Es wurde ein mittlerer Abstand von 0,95 mm der mesialen Wurzel und 1,05 mm der distalen Wurzel bei den ersten Molaren ermittelt. Bei den zweiten Molaren beträgt der Abstand der beiden Foramen der mesialen Wurzel 0,78 mm und der Abstand der distalen Wurzel 0,81 mm (34).

Der Abstand zwischen Foramen physiologicum und röntgenologischem Apex beträgt 0,5 mm bis 2 mm (3).

1969 stellte Weine eine Klassifizierung der Kanalkonfigurationen vor (1):

Typ I: ein Wurzelkanal, ein Foramen

Typ II: zwei Wurzelkanäle, die sich vor dem Apex vereinigen und ein gemeinsames Foramen aufweisen

Typ III: zwei Wurzelkanäle, zwei getrennte Foramina

Typ IV: ein Wurzelkanal, der sich vor dem Apex in zwei Wurzelkanäle verzweigt

Vertucci hat im Jahr 1984 ebenfalls eine Kanalkonfiguration erarbeitet (2):

Typ I: Ein Einzelkanal verläuft vom Pulpakavum bis zum Apex (1:1)

Typ II: Zwei separate Kanäle verlassen das Pulpakavum und vereinigen sich kurz vor dem Apex (2:1)

Typ III: Ein Kanal entspringt dem Pulpakavum und teilt sich innerhalb der Wurzel in zwei Kanäle, die konfluieren und als ein Kanal die Wurzel verlassen (1:2:1)

Typ IV: Zwei separate Kanäle erstrecken sich vom Pulpakavum bis zum Apex (2:2)

Typ V: Ein Kanal verlässt das Pulpakavum und verzweigt sich kurz vor dem Apex in zwei separate Kanäle mit separaten Foramina (1:2)

In Folge des Alterungsprozesses wird mehr Sekundärdentin gebildet. Hierdurch nimmt das Lumen der Pulpenhöhle kontinuierlich ab, wodurch Kanäle teilweise oder vollständig obliterieren können (3).

Es konnte gezeigt werden, dass bei restaurierten Zähnen im Vergleich mit einem entsprechenden kontralateralen und restaurationsfreien Zahn eine erhebliche Einengung der Wurzelkanäle stattgefunden hat (35).

2.2 Aufbereitungstechnik und Zemente

Ein wichtiger Bestandteil der Wurzelkanalbehandlung ist die mechanische Aufbereitung des Kanals. Hierdurch kann infiziertes Wurzelkanalentin abgetragen werden und eine Vergrößerung des Wurzelkanallumens geschaffen werden, damit die Spülkanüle zum apical gelegenen Wurzelkanalabschnitt gelangen kann. Dies ist die Voraussetzung für das Einbringen der medikamentösen Einlage sowie für das Legen einer Wurzelkanalfüllung in voller Arbeitslänge.

Es können grundsätzlich zwei mechanische Aufbereitungstechniken in der Endodontie unterschieden werden. Zum einen die maschinelle Aufbereitung und zum anderen die Aufbereitung durch Handinstrumente.

Es wird zunächst eine primäre Zugangskavität angelegt, die einen geradlinigen Zugang zur Pulpenkammer schaffen soll. Die Zugangskavität ist leicht konisch und es werden alle Überhänge für eine bessere Übersicht abgetragen. Die Zugangskavität wird mit rotierenden Instrumenten angelegt.

Der zweite Schritt ist die sekundäre Zugangskavität, bei der die initiale Kanalkrümmung beseitigt wird und der koronale und mittlere Teil des Wurzelkanals aufbereitet wird.

Danach wird die Arbeitslänge bestimmt und der gesamte Wurzelkanal bis zum Apex aufbereitet. Die Arbeitslängenbestimmung ist dabei entscheidend: Ist diese zu kurz, wird der apicale Teil des Wurzelkanals nicht vollständig aufbereitet und es können infizierte Wurzelkanalanteile bleiben. Wird die Arbeitslänge zu lang gewählt, besteht die Möglichkeit infiziertes Material ins periapicale Gewebe zu transportieren und das Foramen zu verlagern.

Die Arbeitslängenbestimmung kann entweder röntgenologisch oder endometrisch mit Hilfe einer Impedanzmessung erfolgen. Die Impedanzmessung ist dabei genauer als die röntgenologische Messung (36). Das genaueste Ergebnis liefert derzeit allerdings die Kombination aus röntgenologischer und endometrischer Längenbestimmung (37).

Das Patency Konzept verfolgt die Idee, dass das apicale Foramen offengehalten werden soll und nicht durch abgelagertes Debris verschlossen wird. Hierfür wird eine K-Feile mit maximal ISO Größe 10 wiederholt minimal über das Foramen minor hinausgeschoben (38).

Die mechanische Bearbeitung lässt jedoch mindestens 35 % der Kanaloberfläche unverändert. Aus diesem Grund ist eine Desinfektion mit Spüllösung entscheidend bei der Aufbereitung der Wurzelkanäle (39).

Die manuelle und die maschinelle Aufbereitung lässt sich wie folgt unterscheiden.

Für die manuelle Aufbereitung stehen K-Feilen, Headstrom-Feilen und Bohrer zur Verfügung. Die K-Feilen aus einer Nickel-Titan-Legierung werden in der „Balanced-force-Technik“ in den Kanal eingebracht, bis die Arbeitslänge erreicht ist. Weitere Feilen werden in den nächsthöheren ISO Größen unter der Step-Back Technik verwendet, damit der Wurzelkanal konisch aufbereitet wird.

Die maschinellen Aufbereitungssysteme arbeiten entweder mit vollrotierenden (360°) oder mit reziprok rotierenden Instrumenten. Die reziproken Feilen bestehen aus einer sehr flexiblen Nickel-Titan-Legierung. Dieses Material besitzt ein sehr geringes Elastizitätsmodul und dadurch eine drei- bis viermal höhere elastische Flexibilität im Vergleich zur Stahlfeile (40). Durch ein spezielles Wärmebehandlungsverfahren erhält die Legierung eine besondere Martensit-Mikrostruktur, wodurch die Feile einen höheren Widerstand gegen Feilenbruch bekommt und eine bessere Flexibilität bei gleichbleibender Schneideleistung. Diese verbesserten Eigenschaften resultieren aus einer modifizierten Phasenzusammensetzung, welche unterschiedliche Mengen an R-Phase und Martensit enthält (41). Plotino et al. fanden in ihrer Studie im Jahr 2021 heraus, dass es keinen Unterschied bei der klinischen Frakturhäufigkeit von Nickel-Titan-Instrumenten zwischen reziproken und rotierenden Bewegungen gibt (42).

Das reziproke Aufbereitungssystem basiert auf dem „Balanced-force“-Konzept. Oft ist die Aufarbeitung mit nur einem Instrument möglich, da die maschinellen Feilen sowohl sehr belastbar als auch effizient sind.

Neuere Untersuchungen ergeben jedoch, dass Dentinwände dadurch einem höheren Stress ausgesetzt werden und es somit zu einer vermehrten Ausbildung von Rissen kommen kann. Deshalb sollte im Vorhinein ein Gleitpfad mit Hilfe von manuellen Instrumenten gebildet werden (43).

Nachdem der Kanal aufbereitet und desinfiziert ist, wird er schließlich mit Guttapercha und Sealer gefüllt. Auch hierfür haben sich mehrere Techniken in den letzten Jahren entwickelt.

Es lassen sich kalte Obturationstechniken mit Guttaperchastiften von warmen Obturationstechniken unterscheiden. Zu den Kalttechniken zählen die laterale Kompaktion und die Zentralstifttechnik, zu den Warmtechniken zählen Trägerstiftsysteme, die Schilder-Technik sowie die Continuous-Wave-Technik.

Kalte Obturationstechniken

Bei der lateralen Kompaktion werden Guttaperchastifte in der Regel mit einer 2-prozentigen Konizität verwendet. Ein Masterpoint wird mit Sealer auf Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingebracht. Daraufhin werden weitere Guttaperchastifte mit geringerer ISO Größe in den Kanal eingefüllt und mithilfe von Spreadern an die Kanalwand gepresst und verdichtet. Es gilt zu beachten, dass bei der Verwendung des Spreaders einzelne Guttaperchastifte nicht wieder entfernt werden. Außerdem ist das Risiko einer Fraktur bei dieser Technik durch den lateralen Druck erhöht.

Die Zentralstifttechnik, auch Einstifttechnik genannt, stellt eine schnelle Methode nach maschineller Aufbereitung des Wurzelkanals mit formkongruenten Stiften dar. Weite oder ovale Kanäle können durch einen Sealer aufgefüllt werden, wenn es zu unausgefülltem Volumen kommen sollte.

Warme Obturationstechniken

Für die Trägerstiftsysteme muss zunächst die Länge und Form der Präparation geprüft werden, wonach die Stifte erwärmt werden und in den mit Sealer versehenen Wurzelkanal bis auf Arbeitslänge eingebracht werden.

Die Schilder-Technik beschreibt eine millimeterweise Kürzung des Masterpoints bis auf 4 mm vor dem Apex im leicht mit Sealer benetzten Kanal. Es wird ein Heat-Carrier verwendet, dessen Wärme ca. 4 mm in die Tiefe fortgeleitet wird. Dadurch entsteht ein apicaler Verschluss (Downpack), der möglichst alle Ramifikationen und Seitenkanäle mit Guttapercha füllt. Dies sollte röntgenologisch kontrolliert werden, damit sichergestellt ist, dass kein Material über den Apex hinaus ins periapicale Gewebe geflossen ist. Eine vorherige Klemmung des Masterpoints ist sehr wichtig. Daraufhin wird beim Backfill der Kontakt zum Downback erwärmt und plastiziertes alpha-Guttapercha (160°C bis 200°C) in den Kanal eingebracht und aufgefüllt.

Bei der Continuous-Wave-Technik handelt es sich um eine modifizierte Form der Schilder-Technik. Es wird der Downback in einem Schritt statt millimeterweise auf seine Länge gekürzt. Durch den ständig aktiven Heat-Carrier wird die geplante Tiefe erreicht, danach kühlt der Heat-Carrier 10 Sekunden unter leichtem Druck nach apical aus. Das weitere Vorgehen gleicht der Schilder-Technik.

Bhandi et al. zeigten 2021 in einer Studie, dass sowohl die kalte laterale Kondensation als auch warme Guttapercha-Techniken Hohlräume in der Obturation erzeugen (44).

2.3 Sealer

Ein Sealer sollte kleine Unebenheiten entlang der Kanalwand ausgleichen, laterale und akzessorische Kanäle verschließen, offene Tubuli verschließen sowie eine dichte Verbindung zwischen Guttaperchastift und Kanalwand herstellen. Abbindezeit, Löslichkeit, Versiegelungsfähigkeit, antimikrobielle Eigenschaften, Biokompatibilität und Zytotoxizität sind Schlüsselaspekte für die Leistung endodontischer Versiegelungen (45).

Sie sollten dimensionsstabil und unlöslich, revidierbar und röntgenopak sein.

Man kann zwischen Sealern auf Zinkoxid-Eugenol-Basis, Kunstharz-Basis, Kalziumhydroxid-Basis und Kalziumsilikat-Basis sowie Glasionomermertement unterscheiden. Um einen Röntgenkontrast herzustellen, enthalten alle Sealer Metallsulfate.

Zinkoxid-Eugenol-Präparat

Dieses Präparat wird in der Zahnmedizin schon sehr lange verwendet und zeigt klinisch gute Resultate. Es hat jedoch einige Nachteile wie die Zytotoxizität, Löslichkeit und Reizung periapikaler Gewebe.

Bei Zinkoxid-Eugenol-Sealern neigt der Inhaltsstoff Eugenol dazu, in die periapikale Region zu diffundieren, was zu Entzündungen führt.

Die Zugabe von Petasin-Extrakt zu Zinkoxid-Eugenol (ZnOE) reduziert das Entzündungspotential von ZnOE-Sealern. ZnOE-Sealern, denen Petasin im selben Verhältnis wie Eugenol zugesetzt wurden zeigten eine maximale Reduktion der Entzündung (46).

Kunstharzpräparat

Beispiele für diese Klasse der Sealer sind das Epoxidharz AH 26 und AH Plus, eine Modifikation des AH 26. Das Zwei-Pasten-System des endodontischen Versiegelungszementes AH Plus hatte die geringste Menge an Formaldehydfreisetzung. Eine etwas größere Menge weist AH 26 vor. AH 26 basiert auf einer Pulver-Flüssigkeits-Mischung. Die relativ geringen Mengen an Formaldehyd, die AH Plus freisetzt, rechtfertigen die Verwendung als endodontischer Versiegelungszement (47). Die zytotoxische Wirkung von AH Plus auf Zellkulturen wurde in neueren Studien für Zeiträume von 24 und 72 Stunden untersucht. Diese zeigen, dass die Zytotoxizität von AH Plus mit der Zeit zunimmt (48, 49).

Diese Sealer weisen ein sehr gutes Abdichtungsvermögen und eine gute Volumenbeständigkeit auf (50). AH Plus als Beispiel für einen Sealer auf Kunstharzbasis bringt vorteilhafte Eigenschaft bezüglich Härte, Abdichtung und einfacher Handhabung bei der Applikation mit sich (51).

Kalziumhydroxidpräparat

Sealapex und Apexit sind zwei Beispiele für Kalziumhydroxidpräparate auf Basis von polymeren Methylsilicaten. Vorteilhaft sind die gute Biokompatibilität, Dichtigkeit und Volumenbeständigkeit. Die Löslichkeit in flüssigem Gewebe soll vergleichbar gering sein. Allerdings ist noch nicht erwiesen, ob eine längerfristige Exposition gegenüber Gewebeflüssigkeiten nicht zu Auflösungserscheinungen oder Desintegration führen (50).

Kalziumhydroxid hat ein breites Spektrum an antimikrobieller Aktivität gegen gängige endodontische Pathogene, ist jedoch weniger wirksam gegen *Enterococcus faecalis* und *Candida albicans* (52).

Kalziumsilikat (KKS)

Dieser Zementart ist indiziert bei einer Perforationsdeckung, einem retrograden Verschluss bei Wurzelspitzenresektion oder einer Therapie anderer Defekte an der Zahnwurzel. Diese Indikation beruht auf der guten Biokompatibilität und Bioaktivität sowie

der dentinversiegelnden Eigenschaften von Kalziumsilikatsealern (53). Sealer auf Kalziumsilikat-Basis haben die Fähigkeit in feuchten und blutkontaminierten Umgebungen auszuhärten und abzudichten. Ihre Hauptbeschränkungen sind die lange Aushärtezeit, die geringe Strahlenundurchlässigkeit und die schwierige Handhabung (54). Hauptkomponente dieser Sealer sind Di- und /oder Trikalziumsilikate.

Man kann in dieser Gruppe unter zwei Darreichungsformen unterscheiden. Der Ein-Komponenten-Kalziumsilikatsealer wird gebrauchsfertig in Spritzen geliefert und härtet unter Zugabe von Wasser aus. Zwei-Komponenten-Kalziumsilikatsealer bestehen aus Pulver und Wasser oder aus zwei Pasten, die vor Gebrauch angemischt werden müssen.

Die Kalziumsilikatsealer lassen sich von zwei Materialgruppen ableiten. Zum einen aus dem Mineraltrioxidaggregat (MTA), wie z.B. EndoSeal MTA und Endo C.P.M. Sealer sowie aus den biokeramischen Sealern, wie z.B. iRootSP, TotalFill BC Sealer. Weitere Beispiele sind BC und Sealer Plus BC, die biokompatibel sind und ein bioaktives Potenzial zeigen (55).

Als Biokeramiken bezeichnet man Materialien, die anorganisch, nichtmetallisch und inerte sind. Sie besitzen ähnliche mechanische Eigenschaften wie Hartgewebe, sind biokompatibel und interagieren mit organischem Gewebe.

Eine weitere Gruppe der Kalziumsilikatsealer nennt sich Bio-Root RCS. Sie setzen sich aus einem Pulver und einer Flüssigkeit zusammen. Hauptbestandteil sind Trikalziumsilikate. Das zugesetzte Povidron soll für einen besseren Verbund mit dem Gut-tapercha dienen. Weitere Inhaltsstoffe sind Zirkondioxid für die Röntgenopazität, eine wässrige Kalziumchloridlösung als Abbindebeschleuniger und ein Zusatz von Polyacryboxalat als Fließmittel (56).

Dabei muss bedacht werden, dass hydraulische kalziumsilikatbasierte Sealer wie Bio-Root RCS oft nur für kalte Wurzelfülltechniken gedacht sind, da sie Hitze kaum tolerieren (57).

Kalziumsilikatsealer benötigen Wasser um abzubinden, weshalb ein möglichst trockener Wurzelkanal nicht notwendig ist. Bei Ein-Komponenten Kalziumsilikatsealern wurde sogar gezeigt, dass sich bei zu trockenen Kanälen die Abbindezeit verlängert und der Sealer unter Umständen nicht komplett abbindet (56).

Kalziumsilikatsealer werden auch als hydraulische Sealer bezeichnet, da sie unter feuchten Bedingungen und mit Kontakt zu Wasser stabil bleiben (56).

Glasionomerzement

Ketac-Endo ist ein Beispiel für ein Glasionomerzement. Es weist eine verlängerte Abbindezeit auf und hat eine höhere Haftung, wenn die Schmierschicht des Dentins vorher entfernt wird. Die Biokompatibilität sowie die physikalischen Eigenschaften werden bisher positiv beurteilt (50).

Adhäsive Materialien

Diese Materialien sollen mit einem adhäsiven Verfahren am Dentin haften und somit eine Versiegelung des Wurzelkanals erreichen. Ein Beispiel ist Resilon, hierbei handelt es sich um ein thermoplastisches Verfahren auf Polyesterbasis. Hierbei wird auf einen niedrig viskösen Sealer zurückgegriffen, der den Resilonstift mit dem Dentin verbinden soll. Hierbei entsteht ein Monoblock, welcher besonders das Frakturrisiko eines wurzelkanalbehandelten Zahns verringern soll. Allerdings kann es bei diesem Verfahren zu enzymatischer Degradation kommen. Darüber hinaus sind die Schrumpfungsgefahr des Materials und die eher niedrigen Haftungswerte ungünstige Eigenschaften (50).

2.4 Instrumente

Die Legierungen sind heutzutage üblicherweise aus Chrom-Nickel-Edelstahl, Titan oder Nickel-Titan. Einen besonderen Unterschied haben diese Legierungen hinsichtlich ihrer Elastizität. Instrumente aus Nickel-Titan-Legierung (NiTi) bestehen aus ca. 55 % Nickel und 45 % Titan. Diese Instrumente haben ein pseudoelastisches Verhalten. Das bedeutet, dass sie nach einer Verbiegung wieder ihre Ausgangsgestalt annehmen. Diesen Effekt nennt man Memory Effect. Die Eigenschaften sind ein bis zu ein Fünftel geringeres Elastizitätsmodul gegenüber Chrom-Nickel-Stahl, das Biegemoment ist geringer und die Torsionsfestigkeit erhöht (58).

NiTi-Legierungen, die für endodontische Instrumente verwendet werden, können in Instrumente unterteilt werden, die hauptsächlich die Austenitphase enthalten (austenitisch: herkömmliches NiTi, M-Draht, R-Phase) und solche, die hauptsächlich die Martensitphase enthalten (martensitisch: CM-Draht, gold und blue wärmebehandelt NiTi).

Endodontische Instrumente aus austenitischen Legierungen besitzen aufgrund spannungsinduzierter Martensitumwandlung superelastische Eigenschaften und neigen infolgedessen dazu, nach Verformung wieder ihre ursprüngliche Form anzunehmen.

Die martensitischen Instrumente hingegen lassen sich durch die Umorientierung der martensitischen Varianten leicht verformen und zeigen bei Erwärmung einen Formgedächtniseffekt (59).

Mikrotitaninstrumente bestehen zu 95 % aus Titan und zu 5 % aus Aluminium. Sie besitzen eine höhere Flexibilität als Edelstahlinstrumente bei einer vergleichbaren Schneideleistung sowie Frakturresistenz (58).

Die Instrumente lassen sich in maschinelle und manuelle Instrumente unterscheiden. Zu den Handinstrumenten gehören Extirpationsnadeln, Reamer, K-Feilen und Hedström-Feilen. Die Konizität nach ISO Norm beträgt immer zwei Prozent, es sind aber auch Handinstrumente mit Konizitäten von vier und sechs Prozent erhältlich.

Extirpationsnadeln besitzen kleine Häkchen, um den Nerv aus dem Nervkanal zu ziehen, wobei der Nerv abgerissen wird. Bei gekrümmten Kanälen kann sie diese Aufgabe jedoch nicht erfüllen. Die Extirpationsnadel kann ebenfalls zur Entfernung von Papierspitzen und Fremdkörpern aus dem Wurzelkanal verwendet werden (58).

Reamer haben einen dreieckigen oder viereckigen Querschnitt. Sie unterscheiden sich von K-Feilen durch die Anzahl der Windungen pro Längeneinheit. Hierdurch haben sie einen unterschiedlichen Schneidekantenwinkel. Der Schneidekantenwinkel eines Reamers beträgt etwa $10-30^\circ$ und hat acht bis 16 Schneiden. Die Verwindung liegt zwischen einer halben und einer Verwindung pro Millimeter. Je größer der Durchmesser, desto weniger Windungen besitzt das Instrument. Aufgrund der Stabilität sind Rohlinge für einen Reamer aus einem dreieckigen Querschnitt K-Feilen aus einem quadratischen Querschnitt hergestellt. K-Feilen haben je nach Durchmesser 24 bis 36 Schneiden. Der Schneidekantenwinkel liegt etwa zwischen 25° und 40° (58).

Hedström-Feilen haben einen runden Querschnitt. Die Schneideanzahl der Hedström-Feilen liegt bei 14 bis 31. Der Schneidekantenwinkel liegt bei $60-65^\circ$ (58).

Bei der maschinellen Aufbereitung kann grundsätzlich zwischen Endodontologiewinkelstücken, Schallvibrationssystemen und Ultraschallsystemen unterschieden werden.

Nach Hülsmann (2002) sollten maschinelle NiTi-Systeme die folgenden Konstruktionsmerkmale aufweisen.

Die Instrumente sollten eine zentrierte und nicht schneidende Spitze haben. Hierdurch soll die Perforationsgefahr verringert werden und die Häufigkeit und das Ausmaß einer Kanalbegradigung verringert werden.

Es gibt variierende Konizitäten bei maschinellen Instrumenten zwischen zwei, vier, sechs und zwölf Prozent. Konizitäten über sechs Prozent sollten nicht in stark gekrümmten Kanälen eingesetzt werden. Eine optimale Flexibilität besteht bei einer Konizität von zwei Prozent.

Ein weiterer Punkt ist die variierende Arbeitslänge. Um den koronalen Anteil des Kanals aufzubereiten sind Feilen mit hoher Konizität vorteilhaft. Hierbei haben die Instrumente eine kurze Arbeitslänge, um einwirkende Kräfte zu verringern.

Eine besondere Schneidegeometrie ist bei den maschinellen Instrumenten zu beachten. Nicht schneidende Instrumente haben seitliche Führungsflächen für eine gute Zentrierung, um eine Begradigung des Wurzelkanals zu verhindern. Schneidende Instrumente haben keine seitliche Führungsflächen. Der Querschnitt ähnelt einem Dreikant mit konvexen Außenflächen oder ist ein- bis mehrfach S-förmig (60).

Bei allen NiTi-Instrumenten ist es wichtig auf die systemspezifische Umdrehungszahl zu achten, da ansonsten ein erhöhtes Frakturrisiko entsteht.

Die maschinelle Aufbereitung unterscheidet sich zwischen den rotierenden und reziproken Aufbereitungen.

Es hat sich gezeigt, dass Instrumente, die einer Hin- und Herbewegung ausgesetzt sind, eine erhöhte Widerstandsfähigkeit gegen Ermüdung und eine längere übliche Lebensdauer aufweisen, wenn sie mit Instrumenten kombiniert werden, die in einer kontinuierlichen Rotationsbewegung verwendet werden.

Das reziproke System verwendet eine Single-File-Instrumentierungstechnik, die den Kanal in kürzerer Zeit formen kann. Es werden weniger antimikrobielle Mittel für die Reinigung benötigt (61). Bedingt durch die Komplexität des Wurzelkanalsystems können auch mit rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten nur etwa 50 % der Kanalwandoberflächen mechanisch bearbeitet werden (62).

2.5 Ultraschall

Ultraschallgeräte helfen dabei, den Wurzelkanal mit der Spüllösung besser reinigen zu können. Sie erzeugen Schwingungen im Bereich zwischen 25000 und 40000 Hz. Der Effekt soll hierbei auf mechanischer Bewegung, physikalischer Kavitation und chemischer Spülmittelwirkung beruhen (60).

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Ultraschall effektiver im Vergleich zu Handinstrumenten ist. Bereiche wie Divertikel, Kanalerweiterungen oder Seitenkanäle erwiesen sich als äußerst sauber (63, 64).

2.6 Spüllösung

Die Spülung des Wurzelkanals ist einer der wichtigsten Aufbereitungen in der Endodontie. Neben der chemischen Aufbereitung mit Spüllösungen gibt es noch die maschinelle Aufbereitung des Kanals. Für die chemische Aufbereitung stehen neben Natriumhypochlorit (NaOCl) auch Chelatoren wie zum Beispiel Ethylentetraessigsäure (EDTA) zur Verfügung. Chlorhexidin (CHX) wird vor allem im Bereich der Revision kontrovers diskutiert. Eine hohe Effizienz haben Spüllösungen gegenüber Anaerobiern und fakultativen Mikroorganismen in deren planktonischer Phasen und Biofilme. Sie können außerdem Endotoxine inaktivieren und sind gegenüber vitalem Gewebe nicht toxisch (65).

Die drei Anforderungen an Spüllösungen umfassen erstens die antimikrobielle Effizienz, zweitens die Auflösung nekrotischen Gewebes und drittens die Dekontamination von Endotoxinen. Die verwendeten Medikamente und Spüllösungen sollten, wie überall in der Medizin, möglichst wenig unerwünschte Nebenwirkungen aufweisen (66). Es besteht nur ein geringes Risiko einer anaphylaktischen Reaktion durch Spüllösungen (67).

Die Hauptaufgaben einer chemischen Spüllösung sind neben der Auflösung anorganischer und organischer Bestandteile, das Herausspülen des Debris und die Benetzung des Wurzelkanals (65).

Iodkaliumiodidlösung wird in der Studie von Orstravik und Haapasalo 1990 die beste Tiefenwirkung zugeschrieben, gefolgt von Natriumhypochlorit (NaOCl) und Chlorhexidin (68). Gegenüber dieser beiden Spüllösungen weist Wasserstoffperoxid signifikant schwächere Wirkung auf (69). Ethylendiamintetraacetat (EDTA) hat gar keine Tiefenwirkung im Dentin, was wahrscheinlich daran liegt, dass es direkt ans Hartgewebe bindet (68, 69). Eine klinische Studie zeigte, dass EDTA das Wurzelkanalsystem signifikant besser desinfiziert als Kochsalzlösung, dies spricht für eine antibakterielle Wirkung von EDTA zumindest im nekrotischen Pulpagewebe (70). Abwechselndes Spülen mit EDTA und Natriumhypochlorit reduziert die Keime im Wurzelkanal besser als eine Spülung durch Hypochlorit alleine (71). Nach vollständiger maschineller und intensiver chemischer Aufbereitung mit NaOCl können klinisch zwischen 50 % und 75 % der infizierten Kanäle von kultivierbaren Bakterien befreit werden (72, 73).

Willershausen et al. fanden heraus, dass Zahnärzte mit mehr Berufserfahrung häufiger H₂O₂ als Spüllösung verwenden als Zahnärzte mit weniger Berufserfahrung. Jüngere Kollegen verwenden als Spüllösung fast immer NaOCl. Erfahrenere Zahnärzte verwenden NaOCl zu 14,6 % nie (74).

Natriumhypochlorit

NaOCl ist antimikrobiell, gewebsauflösend und hat eine schnelle Wirksamkeit. Dem gegenübergestellt steht die Toxizität bei Spülzwischenfällen, Korrosionswahrscheinlichkeit und die beschränkte Entfernung des Smear-Layers auf organischen Bestandteilen (65).

Wenn NaOCl in Kontakt mit Gewebe kommt, setzt eine Proteolyse ein. Hierbei werden in kürzester Zeit Stickstoff, Formaldehyd und Acetaldehyd gebildet, wodurch die Peptide des Gewebes aufgebrochen werden. Innerhalb der Aminogruppe kommt es zum Austausch von Wasserstoff (-NH-) und Chlor (-NCl-). Hierbei entsteht Chloramin, was eine wichtige Rolle bei der antimikrobiellen Effektivität hat (75). Zum einen könnte die Chlorverbindung hierfür verantwortlich sein, zum anderen der hohe pH-Wert von NaOCl (pH>11) Die starke Base stört über eine irreversible enzymatische Hemmung biosynthetische Veränderungen des Zellmetabolismus und den Abbau von Phospholipiden sowie die Integrität der Zytoplasmamembran (67, 76).

Das Elastizitätsmodul und die Biegefestigkeit des Dentins kann bei langer Einwirkzeit signifikant reduziert werden (77).

Sehr entscheidend für die Wirkung ist die Konzentrationsdosis von NaOCl zum einen auf die mechanischen Eigenschaften, die aus einem Zerfall der organischen Dentinmatrix resultieren (57), und zum anderen auf die antimikrobielle Wirkung auf den Biofilm. Die antimikrobielle Wirkung ist umso größer, je größer die Konzentration von NaOCl ist.

Durch die Auflösung von organischem Gewebe wird das bakterielle Attachement zum Dentin zerstört (78).

Besonders ausgeprägt ist die Antibiofilmaktivität im frühen Stadium des Biofilms, da hier die Viskoelastizität verändert wird (79).

Dabei werden dreiprozentige Spüllösungen bevorzugt, allerdings gibt es bislang keine definitive Empfehlung für die einzusetzende Konzentrationsstärke (65).

Phasenweise wurde empfohlen NaOCl auf 60°C zu erhitzen, um die Reaktionsaktivität zu steigern. Diese Empfehlung wird kontrovers diskutiert, da unter klinischen Bedingungen die Temperatur innerhalb weniger Sekunden wieder auf Körpertemperatur abfällt. Hierdurch kann der angestrebte Effekt vermutlich nicht erzielt werden (80).

Die Spülkanüle sollte bis auf zwei Millimeter vor den Apex appliziert werden, damit eine ausreichende Desinfektionswirkung bis in den apicalen Bereich erzielt werden kann (81, 82).

Chlorhexidin

Chlorhexidin (CHX) weist einige positive Eigenschaften auf, da es antiseptisch, antimikrobiell, bakteriostatisch und antimykotisch ist. Demgegenüber steht die mögliche Toxizität, die Nicht-Entfernung des Smear-Layers, die Nicht-Auflösung von nekrotischem Gewebe und eine niedrigere Effektivität gegenüber gramnegativen als grampositiven Bakterien (65).

Eine besonders hohe Effektivität hat CHX gegenüber grampositiven und -negativen Bakterien sowie Hefe. Durch die kationische Struktur kann es an den negativ geladenen Oberflächen der Bakterien haften. Hierdurch wird die äußere Schicht zerstört und die Zellwand des Bakteriums wird durchlässig (83).

Die Wirkung ist wie bei NaOCl von der Konzentration abhängig. In hohen Konzentrationen wirkt CHX bakterizid, wobei es als Detergenz wirkt und die Zellmembran schädigt, wodurch das Zytoplasma präzipitiert. In niedrigeren Konzentrationen hat es eine bakteriostatische Eigenschaft. Hierbei können ohne irreversible Zell-Schädigungen Substanzen mit niedrigem Molekulargewicht ausgespült werden (Kalium, Phosphor etc.). Außerdem kann durch die Hemmung der Säureproduktion und des Phosphattransfersystems der bakterielle Stoffwechsel beeinflusst werden (84).

CHX hat eine schützende Wirkung auf die Kollagenmatrix des Dentins. Durch den hemmenden Effekt auf Matrix-Metallproteasen (MMP) soll der adhäsive Verbund signifikant verbessert werden, aber auch das Risiko des Versagens der Hybridschicht verringert und Haftwerte stabil gehalten werden (85).

Eine Reduktion des Biofilms durch CHX wird kontrovers diskutiert. In Studien konnte eine prolongierte Desinfektionswirkung im Wurzelkanal durch CHX gezeigt werden (86-88). In einer weiteren Studie wurde nach Anwendung von CHX eine Neuorganisation des Biofilms nachgewiesen (79).

Durch stressinduzierte Scherkräfte erfolgt eine Biofilmentfernung. Bei der Verwendung von CHX wurde eine Kontraktion bzw. Versteifung des Biofilms beobachtet, wodurch die Entfernung vermindert werden könnte (89, 90). Die Kontraktion kann zu einem internen Kollaps der Polysaccharidpolymerstränge durch die Wechselwirkung der positiv geladenen Kationen des CHX und der negativ geladenen extrazellulären Polysaccharidmatrix führen (91).

Als alleiniges Desinfektionsmittel ist CHX deshalb in der Endodontie nicht empfehlenswert. Da CHX Smear-Layer und nekrotisches Gewebe nicht zersetzen kann und die Effektivität gramnegativer Bakterien geringer ist als die von grampositiven Bakterien, eignet sich diese Spüllösung vor allem bei der primären endodontischen Behandlungen weniger gut. Das liegt darin begründet, dass bei diesen Entzündungen vor allem gramnegative Bakterien dominieren (65).

Da CHX eine hohe Wirksamkeit gegen *Enterococcus faecalis* zeigt (92), wird CHX vor allem als Spüllösung von Revisionen empfohlen, was jedoch kritisch hinterfragt wird (93). Klinische Studien zeigen, dass NaOCl in der Reduktion intrakanalärer Mikrobiotika signifikant effektiver ist als CHX. Allerdings konnten einige Studien diesen Unterschied zwischen der antibakteriellen Effektivität von NaOCl und CHX nicht feststellen (92, 94).

Ng et al. konnte in einer groß angelegten Studie sogar nachweisen, dass sich die Verwendung von CHX nachteilig auf die Erfolgsprognose der Wurzelkanalbehandlung ausübt (95).

Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)

Der pH-Wert von EDTA ist neutral bis leicht alkalisch. EDTA ist ein Chelatkomplexbildner und wirkt entkalkend. Die verwendete Konzentration liegt im Bereich von zehn bis 17 % (65).

Wenn EDTA über einen längeren Zeitraum auf eine Bakterienzelle einwirkt, kann dies zum Zelltod des Bakteriums führen. Dies geschieht, da EDTA Oberflächenproteine extrahiert, indem es sich mit Metallionen der Zellmembran verbindet (67).

Kalzium hat eine entscheidende Rolle bei der Organisation des Biofilms. Durch die bis zu 17-prozentige EDTA kann der Smear-Layer entfernt werden. Durch Desintegration der strukturellen Kohäsion der Kalziumverbindungen kann die Biomatrix geschwächt werden. Es wird zusätzlich Kalzium aus der extrazellulären Matrix entfernt und damit die Kohärenz gestört (67, 91).

Durch eine nachfolgende Spülung mit NaOCl kann die Desinfektionswirkung sowie die Adaptation der Wurzelkanalfüllung erhöht werden (65). Zitronensäure hat einen ähnlichen Effekt wie EDTA, jedoch weisen Studien nach, dass EDTA einen größeren Effekt auf Lipopolisaccharide haben (96).

EDTA sollte am Ende der Wurzelkanalbehandlung und vor der Wurzelfüllung verwendet werden, um den Smear-Layer zu entfernen und Dentintubuli der Seitenkanäle zu

öffnen. Danach sollte der Kanal trockengelegt werden und noch einmal mit NaOCl nachgespült werden. Eine Vermischung von EDTA und NaOCl sollte vermieden werden, da dies zu nachteiligen Interaktionen führen könnte (65).

Interaktionen

Bei der Interaktion zwischen NaOCl und CHX entsteht ein orange-braunes Präzipitat (97). Ein Baustein hiervon ist Parachloranilin (PCA) (97-99), was in Tierversuchen toxische, kanzerogene Wirkungen zeigte (100).

Eine Studie von Nocca G et al. zielte darauf ab, die Stabilität von PCA in Gegenwart von NaOCl und in vitro den zytotoxischen Effekt von CHX und NaOCl zu untersuchen. Diese Studie kam zu dem Ergebnis, dass ein Hochleistungsflüssigkeitschromatograph kein PCA-Signal zeigt, wenn NaOCl und CHX gemischt werden. Außerdem verringert sich die Intensität von PCA, wenn NaOCl zugeführt wird. Die Mortalität der Gemische ist geringer als die vorheriger Substanzen. Es ist zu überlegen, ob die Diskrepanz zu anderen Literaturen durch die Instabilität des Parachloranilins in Gegenwart von NaOCl verursacht wird. Das CHX/NaOCl-Reaktionsgemisch weist eine breite Palette an zytotoxischen Wirkungen auf (101).

Bei einer Kombination von CHX und NaOCl konnte außerdem keine Verbesserung der Debrisentfernung nachgewiesen werden, die Anzahl der durchgängigen Dentintubuli sind signifikant reduziert und es kommt zu negativen Auswirkungen der Dentinpermeabilität, besonders im apicalen Drittel (102).

Bei einer Vermischung von Chelatoren wie EDTA und NaOCl wird eine exotherme Reaktion freigesetzt. Diese Reaktion reduziert das freie Chlor um bis zu 80 %, wodurch die antimikrobielle und gewebssauflösende Eigenschaft des NaOCl stark geschwächt wird (103-105). Eine pH-Wert Änderung des NaOCl ist zeitabhängig möglich (65).

2.7 Postendodontische Restauration

Stiftversorgung

Die postendodontische Versorgung mit Stiften wird kontrovers diskutiert. Dabei gibt es verschiedene Meinungen zu den unterschiedlichen metallbasierten Stiften sowie den dentinähnlichen glasfaserverstärkten Stiften. Ein weiterer Diskussionspunkt ist die für den Stift notwendige zusätzliche Präparation des bereits geschwächten Zahns.

In der Literatur ist die Meinung zu finden, dass ein Stift indiziert ist, wenn zu wenig Hartsubstanz vorliegt, um ausreichend Retention für eine abschließende koronale Restauration zu gewährleisten (106). Allerdings ist dies in der Zahnmedizin nicht

abschließend geklärt, ob und in welchen Fällen eine Stiftversorgung notwendig ist (107-109).

Heutzutage werden vermehrt glasfaserverstärkte Stiftsysteme verwendet. Dies ist auf Probleme und Misserfolge konventioneller Stiftversorgungen aufgrund des zusätzlichen Substanzverlustes und das Perforationsrisikos zurückzuführen. Glasfaserverstärkte Stifte können minimalinvasiv eingesetzt werden und es wird ihnen ein geringeres Versagensmuster zugeschrieben. Rigide Stiftsysteme haben dabei den Nachteil, dass es neben Wurzel- und Stiftfrakturen auch zu einem Retentionsverlust kommen kann (110, 111).

Eine darauffolgende Präparation im „Ferrule-Design“ ist notwendig, da diese Präparation nach dem Aufbau den größten Anteil an der Erhöhung der Frakturresistenz hat (110).

Die Zugfestigkeit und das dentinähnliche Elastizitätsmodul sind günstige Eigenschaften der glasfaserverstärkten Stifte. Durch den Ausgleich der Elastizitätsmodule soll das biomechanische Verhaken von Dentin und Stift ausgeglichen werden. Diese Stifte werden adhäsiv eingesetzt und mit Kompositmaterialien für den Stumpfaufbau kombiniert. Die Verwendung der Glasfaserstifte kann zum Rückgang von Wurzelfrakturen aufgrund gescheiterter Stift-Stumpf-Aufbauten führen (112).

Jedoch zeigen neueste Untersuchungen eine nicht unwesentliche jährliche Versagensrate von 4,6 % (113). Dies ist vor allem auf das Lösen des Haftverbundes zwischen Dentin und Stift, das Lösen zwischen Stumpfaufbau und Zahnhartsubstanz oder auf Stiftfrakturen zurückzuführen (111).

Glasfaserstifte haben zudem den Vorteil der Ästhetik. Metallstifte beeinflussen die Lichttransmission und somit den optischen Einfluss. Dennoch muss auch für den glasfaserverstärkten Stift der Zahn durch eine Stiftpräparation vorbereitet werden. Auch dies kann den Zahn schwächen (106).

Es sind auch glasfaserverstärkte Wurzelstiftsysteme entwickelt worden, die keine Präparation benötigen, da sie aus mehreren Einzelstiften bestehen. Vorteile sind die Schonung der Hartsubstanz, der korrekte und langfristige Halt des „Gesamtstifts“ nach Ablösen der Manschette sowie die Ausschaltung des Perforationsrisikos. Laut Hersteller ist dieser Stift für alle Kanalkonfigurationen einsetzbar. Negative Punkte sind die Möglichkeit für Lufteinschlüsse durch das manuelle Adaptieren, was eine Instabilität oder sogar Auflösung des Verbunds zur Folge haben kann. Dies kann zu einer Reinfektion mit Bakterien führen. Relativierend muss erwähnt werden, dass es aktuell noch keine wissenschaftlichen Belege oder Studien hinsichtlich der Verwendung und Überlebensrate vorliegen (114).

2.8 Endo-Paro-Läsionen

Papanou et al. definieren eine Endo-Paro-Läsion als pathologische Kommunikation zwischen Pulpa und parodontalem Gewebe an einem gegebenen Zahn, die akut oder chronisch auftreten kann (115).

Man unterscheidet zwischen Endo-Paro-Läsionen mit Beschädigung der Wurzel und ohne Beschädigung. Zu Läsionen mit Beschädigung der Wurzel zählen Wurzelfrakturen oder -risse, Perforationen des Wurzelkanals und externe Wurzelresorptionen (116).

Endodontal-parodontale Läsionen ohne Beschädigung der Wurzel sind laut Klassifikation des World Workshop 2017 in die Gruppen der Parodontal-Patienten und der Patienten ohne Parodontose (PA) zu unterteilen. Hierunter unterteilt man jeweils in drei Grade. Grad eins zeigt eine enge und tiefe Tasche an einer Seite des Zahns. Grad zwei weist eine weite und tiefe parodontale Tasche an einer Seite des Zahns auf. Bei Grad drei befindet sich eine tiefe parodontale Tasche an mehr als einer Seite des Zahns. Endo-Paro-Läsionen ohne Beschädigung der Zahnwurzel können sowohl bei PA-Patienten und Patienten ohne PA vorkommen (94).

Wurzelfraktur oder -riss

Besonders wurzelkanalbehandelte Zähne mit einer direkten Versorgung oder prothetisch versorgte Zähne mit Stiftaufbau weisen vermehrt Wurzelfrakturen- und risse auf.

Durch einen Riss oder Frakturspalt wird der Speichel mit den Bakterien durch Kapillareffekte bis ins Parodont transportiert. Die Prognose dieser Zähne ist ungünstig und sie müssen extrahiert werden (116).

Perforation des Wurzelkanals

Bei einer Perforation während einer Wurzelkanalbehandlung kommt es vor allem auf die Lage der Perforation an. Wenn sie gut zugänglich ist, kann diese Stelle mit biokompatiblen hydraulischem Kalziumsilikatzement verschlossen werden, sodass der Zahn erhalten bleiben kann (116, 117).

Wenn die Perforation unbemerkt bleibt und der Wurzelkanal konventionell mit Wurzelfüllmaterial verschlossen wird bzw. wenn die Perforation bei der Präparation eines Wurzelstiftes erfolgt, kommt es meist zu einer parodontalen Infektion. Der Erhalt dieser Zähne ist sehr herausfordernd und benötigt meist eine umfassende Behandlung durch Spezialisten (95).

Externe Wurzelresorption

Es kann zwischen fünf externen Wurzelresorptionen unterschieden werden. Man unterscheidet zwischen transienter Resorption, Ersatzresorption, externer Wurzelresorption bedingt durch eine Infektion bzw. durch eine systemische Erkrankungen und externer zervikaler Resorption (116).

Endo-Paro-Läsionen ohne Wurzelbeschädigung

Eine Endo-Paro-Läsion ohne Wurzelbeschädigung liefert eine sehr gute Prognose, wenn die Läsion frühzeitig erkannt wird. Bei primär endodontalen Läsionen handelt es sich um einen Fistelgang entlang des Parodontalspalts, wobei der Fistelgang bis an die apicale Stelle der Wurzel geht (118).

Bei akutem, kürzlichen Auftreten liegen außer diesem Fistelgang keine weiteren pathologisch vertieften Sondierungstiefen vor. Dies ist für die Regeneration vorteilhaft, da davon auszugehen ist, dass das parodontale Ligament noch vital ist. Deshalb sollte man in diesem Fall die Bearbeitung der Wurzeloberfläche vermeiden, da hierbei das noch intakte parodontale Ligament zerstört werden könnte (116).

Es kommt zur chronischen Entzündung, wenn bei nicht rechtzeitiger Erkennung parodontopathogener Keime in die Läsion von marginal gelangen. Die Zellen des parodontalen Ligaments sterben ab, wodurch eine Regeneration ausbleibt, da diese nur bei intakten Zellen erfolgen kann (119). Aufgrund der chronischen Entzündung sind neben dem Fistelgang tiefe pathologische Taschen sondierbar.

Deshalb muss bei der Endo-Paro-Läsion zwischen PA-Patienten und Patienten ohne PA unterschieden werden. Es ist entscheidend, wie lange der Defekt besteht und wie tief die Bakterien vordringen konnten (115).

2.9 Erfolgsrate Wurzelkanalbehandlung

Ein positives Therapieergebnis liegt vor, wenn eine Verkleinerung der radiologisch nachgewiesenen Läsion des betroffenen Zahns bei Abwesenheit klinischer Symptome erreicht ist (65).

Ein Beobachtungszeitraum von einem Jahr ist für die Beurteilung des Erfolgs einer Wurzelkanalbehandlung obligat (120).

Obere Prämolaren gehören zu den Zähnen, die aufgrund von Wurzellängsfrakturen mit am meisten extrahiert werden müssen (121).

Mikro-CT-Untersuchungen zeigten, dass Wurzelkanalsysteme nach maschineller Aufbereitung bis zu 35 % unaufbereitet bleiben (122).

Hauptgrund der Misserfolge sind Mikroorganismen, die im Kanalsystem verblieben sind oder Neubesiedlungen nach abgeschlossener Wurzelfüllung (123, 124).

Studien zeigen, dass Hartgewebetrümmer nach mechanischer Aufbereitung in den Kanälen verbleiben, da ein vollständiges mechanisches Entfernen oder eine chemische Desinfektion der Isthmen sowie der akzessorischen und lateralen Kanäle nicht möglich ist. Vor allem in Kanälen mit unregelmäßigem Querschnitt kann das Instrument nicht alle Vertiefungen erreichen (125, 126).

Einige Mikroorganismen haben sich als resistent gegen endodontische antimikrobielle Mittel erwiesen (127, 128).

Die Tennessee-Studie beschäftigt sich mit den Einflussfaktoren für den Langzeiterfolg und die Ausheilung der apicalen Aufhellungen. Dies wurde in einem Zeitraum von zwei Jahren untersucht. Die mittlere Zeit zur periapicalen Ausheilung beträgt hier 11,8 Monate. Bei Patienten, die älter als 40 Jahre sind, verlängert sich die Ausheilungsdauer. Gleiches gilt für Aufbereitungen, die kleiner ISO 35 sind, sowie für Aufbereitungen mit überpresstem Wurzelfüllmaterial (129).

Eine schwedische Studie aus dem Jahr 2016 beschäftigt sich ebenfalls mit dem Erfolg wurzelkanalbehandelter Zähne. Diese Studie umfasst ca. 250.000 endodontisch behandelte Zähne, das mittlere Patientenalter liegt bei 55 Jahren und der Beobachtungszeitraum beträgt bis zu sechs Jahre. Das Ergebnis ist, dass 10,2 % der behandelten Zähne extrahiert werden mussten. Dementsprechend wurde eine Überlebensrate von 89,8 % ermittelt. Behandlungen bei jüngeren Patienten erzielten eine höhere Überlebensrate (93,2 %). Zähne die innerhalb der ersten sechs Monate mit einer indirekten Restauration (93,1 %) versorgt wurden konnten eine höhere Überlebensrate als Zähne mit einer direkten Versorgung (89,6 %) vorweisen (89,6 %) (130).

Die Durchführung einer Studie mittels DVT-Untersuchung ergab einen Einfluss der Wurzelkanalfüllung und koronalen Restauration auf die Ausheilung der periapicalen Läsion. Die Studie zeigte auf, dass hinsichtlich des Auftretens apicaler Läsionen nur 48,8 % der Zähne als gesund eingestuft werden konnten. 55,1 % zeigten eine adäquate Wurzelkanalbehandlung. Es wird beschrieben, dass die Qualität der endodontischen Behandlung und der koronalen Restauration sowie die apicale Ausdehnung der Wurzelfüllung bis zur richtigen Arbeitslänge einen erheblichen Einfluss auf die Gesundheit des periapicalen Gewebes haben (131).

Eine weitere Untersuchung zeigte, dass die endodontische Behandlung einen signifikant höheren Einfluss als die postendodontische koronale Restauration hat (132).

Studien zum Langzeiterfolg postendodontischer Stiftversorgungen mit Nachbehandlungszeiten von mehr als 5 Jahren sind rar und meist unter universitären Bedingungen erhoben. Die Erfolgswahrscheinlichkeit beim Rezementieren von (Teleskop-) Kronen nach dem Einsetzen eines neuen Stiftes ist gering. Das Stiftmaterial hat keinen Einfluss auf die Langlebigkeit von Stiftversorgungen. Allerdings hat der behandelnde Arzt einen hohen Einfluss auf die Zeit bis zur Extraktion. Hier ist die individuelle Einschätzung des Risikos durch den Behandler sehr unterschiedlich, wann nach einer nicht erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung der Zahn endgültig extrahiert wird (133).

In einer aktuellen Untersuchung konnte eine stark erhöhte Prävalenz von Wurzelfrakturen bei wurzelbehandelten Zähnen mit Stiftverankerung gezeigt werden. (134)

Ferrari et al. haben herausgefunden, dass die klinische Ausgangssituation, also wie groß der koronale Defekt ist, eine Auswirkung auf den Langzeiterfolg hat (135). Es ist entscheidend, wie bereits angesprochen, dass das „Ferrule Design“ eingehalten werden kann (136). Außerdem sind Faktoren wie der Zahntyp, die Zahnposition im Zahnbogen und die Zahnfunktion entscheidend (137-140).

Opdam et al. konnten nachweisen, dass sich Risikomuster nach der Zeit verändern und manche Risikofaktoren erst nach einer gewissen Zeit zum Tragen kommen (141). Schwendicke et al. fanden heraus, dass die jährliche Versagensrate umso höher ist, je länger die Nachbeobachtungszeit andauert (142).

Bei sofortversorgten endodontisch behandelten Zähnen wird eine jährliche Versagensrate von 4,6 % (113) und 4,2 % (143) ermittelt. Ferrari et al. und Sterzenbach et al. beschreiben hierfür eine kumulative Versagensrate von 8,0 % (137, 144).

Santos et al. zeigten in ihrer Studie auf, dass höhere „kurzfristige“ Versagensraten bei Restaurationen mit Glasfaserstiften im Vergleich zu Titan-Gewindestiften aufgetreten sind. Dies wird damit begründet, dass das Elastizitätsmodul von Glasfaserstiften geringer ausfällt und näher an dem Elastizitätsmodul von Dentin liegt, wobei jedoch die Spannungsverteilung in der Wurzel nicht verbessert wird (145).

In einer US-amerikanischen Studie wurde herausgefunden, dass die mittlere Überlebenszeit der Zähne nach einer Wurzelkanalbehandlung ca. 11 Jahre beträgt (146).

3 Material & Methode

3.1 Datenerhebung

Für diese Dissertationsschrift, eine retrospektive Studie, wurden alle Patienten, die zwischen 2005 und 2017 eine Wurzelkanalbehandlung eines zweiten Prämolarens in der Zahnklinik Mainz erhielten, ausgewertet. Die Liste mit 1963 Fällen wurde durch den statistisch Beauftragten der Zahnklinik Mainz erstellt. Die Daten dieser Fälle wurden retrospektiv anhand von Röntgenbildern (Programm Sidexis) und Daten der digitalen Akte in dem Programm Visident der Konservierenden Abteilung der Zahnklinik Mainz aufgenommen.

3.2 Dokumentation / Datenverarbeitung

Zur Erzeugung des Datenpools wurde das Programm Microsoft Excel (Microsoft, USA) verwendet. Die Daten wurden anschließend exportiert, um mit IBM-SPSS (IBM SPSS Statistics 23.0, Deutschland) eine statistische Analyse durchzuführen. SPSS ist das an deutschsprachigen Hochschulen am häufigsten genutzte Statistikprogramm (147).

3.3 Variablenvorauswahl

Ziel dieser Studie ist es, den Zusammenhang zwischen der restaurativen Versorgung wurzelkanalbehandelter zweiter Prämolaren und der Überlebenswahrscheinlichkeit herauszufinden. Hierfür wurden im Vorfeld Parameter aufgestellt, die diesen Zusammenhang darstellen sollen. Es wurden Parameter wie Geschlecht, Zahn, Zeitspanne der Beobachtung, restaurative Versorgung vor Wurzelkanalbehandlung, apicale Aufhellung vor Wurzelkanalbehandlung und Revision aufgenommen. Entscheidend für die Auswertung sind auch der apicale Zustand nach Wurzelkanalbehandlung, die restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung und ob eine Versorgung durch einen Wurzelstift vorliegt. Des Weiteren wurden Daten darüber erhoben, ob der Zahn extrahiert wurde und welche Versorgung nach der Extraktion stattgefunden hat. Die Versorgungsformen lassen sich in Implantate, Brücken und Prothesen unterteilen. Weitere aufgenommene und entscheidende Faktoren, sind auch die Angaben über das Vorliegen einer Fraktur und die Zeitspanne zwischen Beobachtungsbeginn und Extraktion.

3.4 Überarbeitung des Datensatzes

Für die Überarbeitung der Daten wurde die Version SPSS Statistics 23 V5R verwendet. Für die Exportierung wurden die Datensätze in Zahlencodierungen umgewandelt. Mit dem Programm SPSS konnte die Zeitspanne der Beobachtung berechnet werden, indem der Zeitpunkt des Beobachtungsendes mit dem des Anfangs verglichen wurde. Das gleiche Vorgehen wurde für den Wert der Zeitspanne bis zur Extraktion oder Zensierung verwendet. „Time to Event“ beinhaltet die Zeitspanne bis zur Zensierung oder Extraktion des Zahns. Als Startzeitpunkt der Untersuchung wurde der Zeitpunkt der

Wurzelfüllung genommen. Das Ende der Beobachtung ist entweder der letzte Eintrag in der Akte, die in Visident ersichtlich ist oder das letzte Röntgenbild, auf dem der Zustand des Zahns dokumentiert wurde. Wenn der Extraktionszeitpunkt nicht exakt feststellbar war, wurde der Mittelwert genommen von dem Datum, als der Zahn registriert wurde und dem Zeitpunkt, an dem das erste Mal das Fehlen des Zahns dokumentiert wurde.

Zähne, die bis zum Ende der Beobachtungszeit nicht extrahiert wurden, werden als „zensiert“ markiert.

Zähne, die nach einer Wurzelkanalbehandlung eine kleinere apicale Beherdung vorweisen als vor der Wurzelkanalbehandlung, wurden als Ausheilung betrachtet und unter „keine apicale Aufhellung“ aufgenommen.

Von 1963 Fällen konnten für diese Studie 409 Fälle aufgenommen werden. Bei den restlichen Fällen konnten nach Wurzelkanalbehandlung keine Daten oder Röntgenbilder zum Zustand des Zahns aufgenommen werden.

3.5 Umgang mit fehlenden Werten

In SPSS ist es möglich, dass Fälle mit unsinnigen Werten bei der Berechnung ausgeschlossen werden. Fehlende Werte, die durch Akteneinträge und Röntgenbilder nicht auszuwerten waren, wurden in der Tabelle mit „-99“ gekennzeichnet und als fehlend codiert. Da diese Fälle bei der Berechnung ausgeschlossen werden, kann die Gesamtzahl bei statistischen Auswertungen abweichend von den 409 Fällen ausfallen.

3.6 Statische Auswertung

Ziel dieser Studie ist es, einen zeitlich abhängigen Zusammenhang zwischen Überlebensrate und Parametern wie restaurativer Versorgung, apicaler Beherdung, verschiedener zweiter Prämolaren und Wurzelstiften herauszufinden. Hierfür wurde die Überlebensanalyse nach Kaplan-Meier verwendet.

Um Zusammenhänge zwischen Faktoren aufzuzeigen, werden logistische Regressionen, Kreuztabellen, deskriptive Verfahren wie Balkendiagramme, Boxplots und Histogramme verwendet.

Überlebenszeitanalyse Kaplan-Meier

Für die Überlebenszeitanalyse wurde das Kaplan-Meier-Verfahren gewählt. Hierfür wurde die Variable „Time to Event“ verwendet und der Status, ob es sich um eine Extraktion oder Zensierung handelt. Für den Faktor wurden die Daten gewählt, die mit Kaplan-Meier-Kurven verglichen werden sollen, zum Beispiel die restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung. Es wurde hierfür der vergleichende Faktor „Log-Rank“ gewählt.

Die Survival Analyse beschreibt die Zeit von Beobachtungsbeginn bis zum Eintritt eines Ereignisses, in dieser Studie umfasst es die Zeit bis zur Extraktion oder Zensierung. Die Zeitvariable ist hierbei die Überlebenszeit. Die Analysen dieser Studie sind rechtszensiert, was bedeutet, dass der Beginn der Beobachtung bekannt ist, allerdings nicht alle Zähne bis zur Extraktion verfolgt werden können.

Die Funktion der Überlebenszeitanalyse lautet:

$$S(t) = \text{survivor function} = \Pr(T > t)$$

T= Überlebenszeit (zufällige Variable)

t= ein spezifischer Wert für T

Der Log-Rank-Test vergleicht Überlebenswerte miteinander. Es handelt sich um einen Chi-Quadrat-Test für große Stichproben. Er basiert auf der Summe der beobachteten abzüglich der erwarteten Werte einer Gruppe und ihrer Varianzschätzung (148). Der Log-Rank-Test gewichtet die Differenz zwischen den Gruppen über den gesamten Verlauf der Untersuchung gleich. Dadurch werden allerdings spätere Beobachtungszeitpunkte überproportional gewichtet (149).

Daher wäre der Log-Rank-Test in Studien von Vorteil, in denen man erwarten würde, dass sich die größten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen erst im späteren Verlauf der Studie zeigen.

Logistische Regression

Die logistische Regression gehört zur Klasse der „strukturenprüfenden Verfahren“. Sie ist eine Variante der Regressionsanalyse mit der Besonderheit, dass abhängige Variablen kategoriale Variablen sind, die Ausprägungen alternativ repräsentieren. Die abhängige Variable wird auch Y-Variable oder Gruppierungsvariable genannt, die unabhängige Variable wird als X-Variable oder Einflussgröße bezeichnet. Bei der Untersuchung, ob stiftversorgte Zähne zu Frakturen neigen, stellt die Stiftversorgung die Y-Variable dar und die X-Variable gibt an, ob eine Fraktur vorliegt (150).

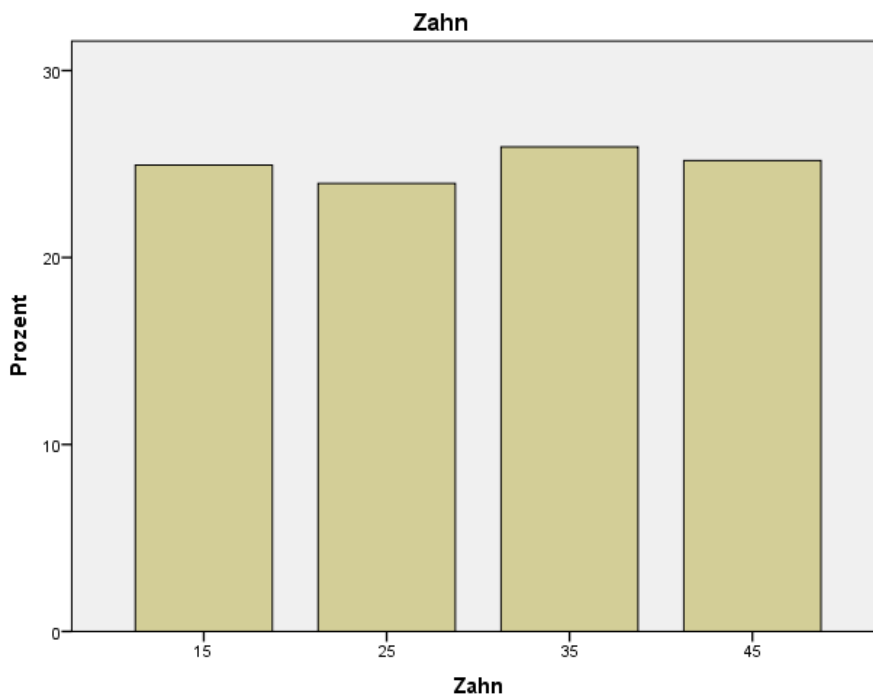
4 Ergebnisse

4.1 Allgemeine Daten

Im Folgenden werden unterschiedliche Fälle anhand von Röntgenbildern beschrieben. Es wird nur auf die Befunde der Zähne dieser Studie eingegangen. Nebenbefunde werden in dieser Studie nicht betrachtet.

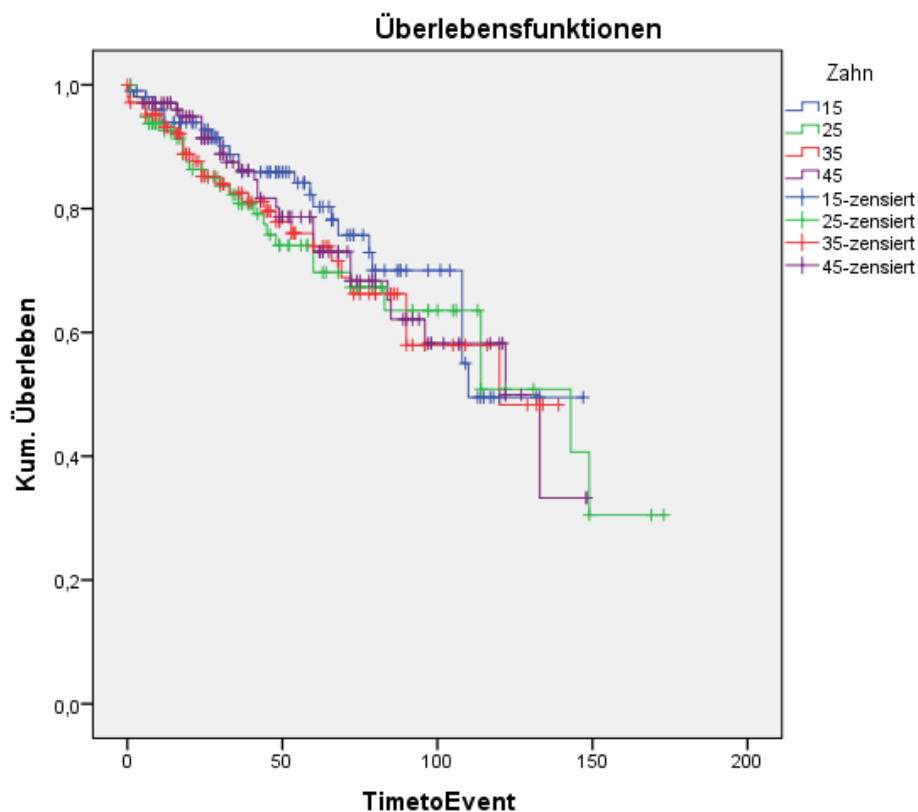
Diese Doktorarbeit behandelt das Thema der restaurativen Versorgung wurzelkanalbehandelter zweiter Prämolaren in der Universitätsklinik Mainz. Hierbei soll ein besonderes Augenmerk daraufgelegt werden, ob bei Wurzelstiftversorgungen der Prämolaren das Frakturrisiko erhöht ist. Wie schon in der Literaturrecherche beschrieben, haben viele Faktoren einen Einfluss auf eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung.

Zu Beginn stellt sich die Frage, ob es Zähne gibt, die besonders häufig einer Wurzelkanalbehandlung unterzogen werden müssen. Ist die Tendenz im Oberkiefer größer als im Unterkiefer oder gibt es eine größere Häufigkeit für Wurzelkanalbehandlungen auf einer Seite? Die Analyse in Form eines Balkendiagramms zeigt, dass hierbei kein signifikanter Unterschied besteht. Die Y-Achse zeigt den prozentualen Anteil, die X-Achse beschreibt die Zähne 15, 25, 35 und 45 im Vergleich. Der Zahn 15 wurde in 24,9 % der Fälle, der Zahn 25 in 24,0 %, der Zahn 35 in 25,9 % und der Zahn 45 in 25,2 % der Fälle behandelt.



Graph 1: Balkendiagramm Häufigkeit der Zähne 15, 25, 35, 45

Auch die Überlebenszeit der einzelnen Zähne weisen keine signifikanten Unterschiede vor. Graph 2 beschreibt die relative Anzahl der Zähne (Y-Achse), die über die Zeit in Monaten gemessen (X-Achse) überleben. Zensiert sind alle Zähne, deren Verlauf nicht weiterverfolgt werden kann bzw. die extrahiert wurden. Dies bedeutet, dass zum einen die Quantität der Wurzelkanalbehandlung der verschiedenen zweiten Prämolaren kaum Unterschiede aufweisen, und sich zum anderen die Wahrscheinlichkeit des Überlebens zwischen den verschiedenen endodontisch behandelten zweiten Prämolaren nach diesen Daten nicht signifikant voneinander unterscheiden.



Graph 2: Überlebenszeitanalyse Zähne 15, 25, 35, 45

Tabelle 1 zeigt die Häufigkeit der Wurzelkanalbehandlungen im Rahmen dieser Studie getrennt nach Geschlechtern.

Geschlecht

	Häufigkeit	Prozent	Gültige Prozente	Kumulierte Pro- zente
Gültig männlich	218	53,3	53,3	53,3
weiblich	191	46,7	46,7	100,0
Gesamt	409	100,0	100,0	

Tabelle 1: Häufigkeit Geschlechter

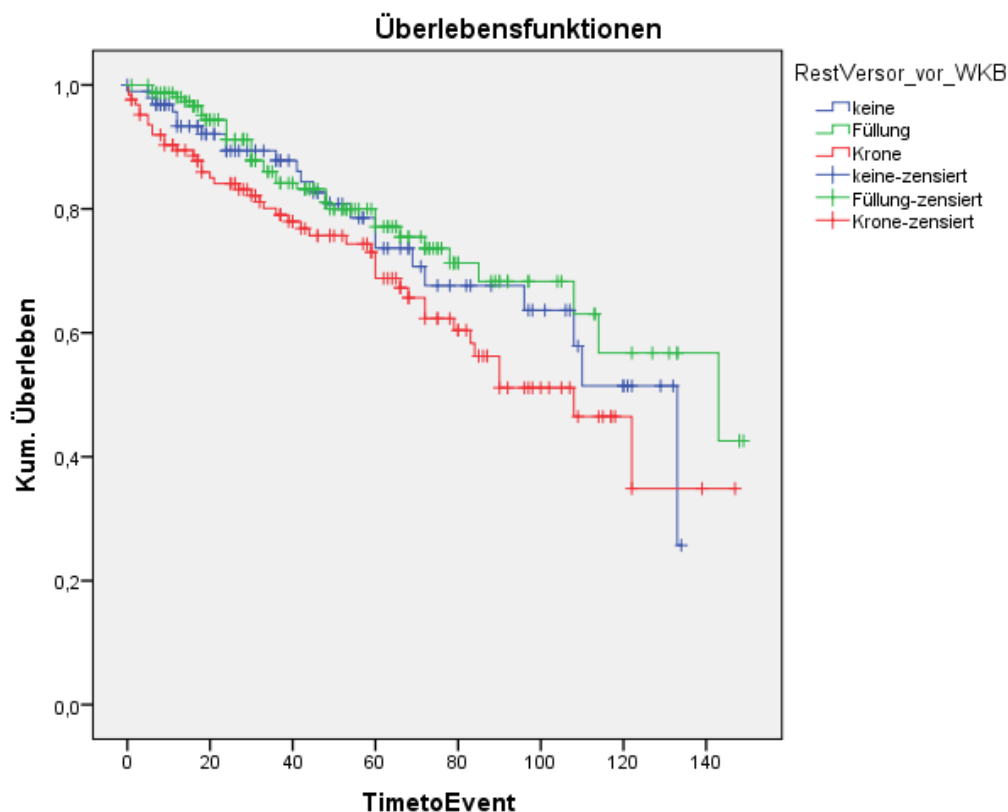
Es ergibt sich eine absolute Häufigkeit von 218 männlichen Patienten und 191 weiblichen Patienten.

Es lassen sich also keine großen Unterschiede in Bezug auf das Geschlecht erkennen.

4.2 Restaurative Versorgung vor Wurzelkanalbehandlung

Es stellt sich auch die Frage, ob die restaurative Versorgung vor der Wurzelkanalbehandlung einen Einfluss auf die Überlebensdauer eines wurzelkanalbehandelten Zahns hat. Hierbei wurden die Versorgungen Krone, Füllung und keine vorherige Versorgung in einer Überlebenszeitanalyse unterschieden.

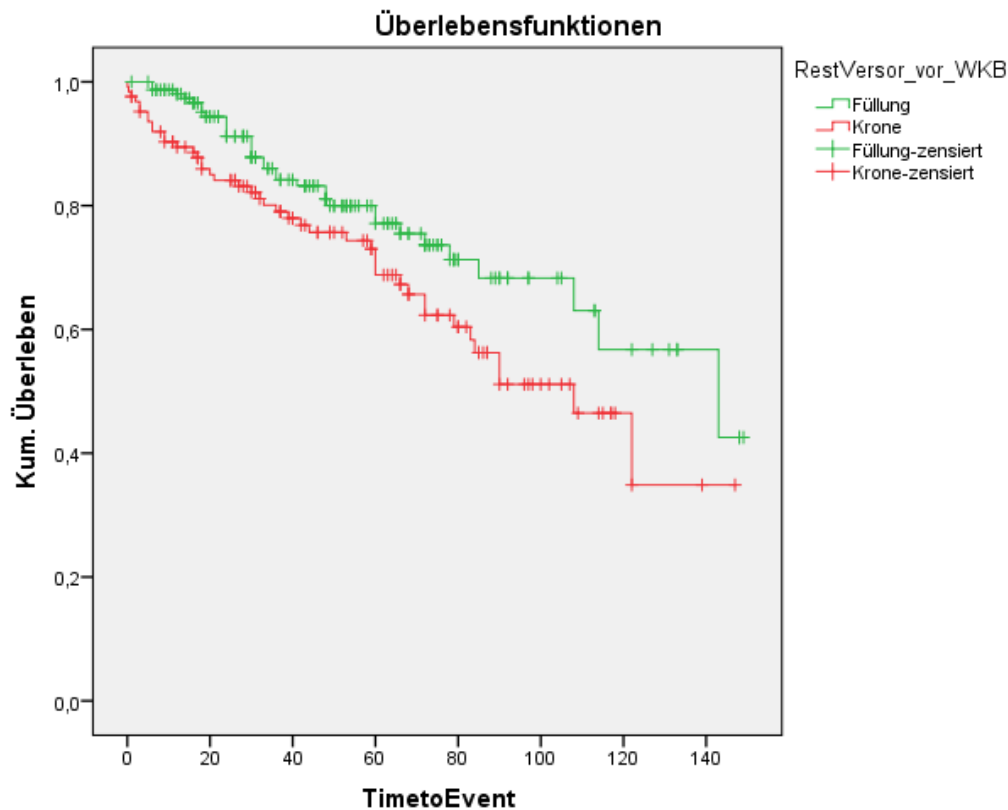
Graph 3 zeigt den Verlauf der Überlebensdauer mit Hilfe von Kaplan-Meier-Kurven. Der p-Wert von 0,99 deutet darauf hin, dass quasi keine Evidenz für einen Unterschied der Überlebenskurven der drei unterschiedlichen Versorgungsarten vor der Wurzelkanalbehandlung vorliegt.



Graph 3: Überlebenszeitanalyse restaurative Versorgung vor Wurzelkanalbehandlung: Krone, Füllung, keine restaurative Versorgung

Werden allerdings nur Füllungen und Kronen als restaurative Versorgungsarten vor der Wurzelkanalbehandlung betrachtet, liegt eine leichte Evidenz dafür vor, dass sich

diese beiden Überlebenskurven nach Wurzelkanalbehandlung unterscheiden. Der p-Wert beträgt 0,04. Graph 4 zeigt die Kaplan-Meier-Kurven, die dies grafisch darstellen.



Graph 4: Überlebenszeitanalyse restaurative Versorgung vor Wurzelkanalbehandlung Füllung, Krone

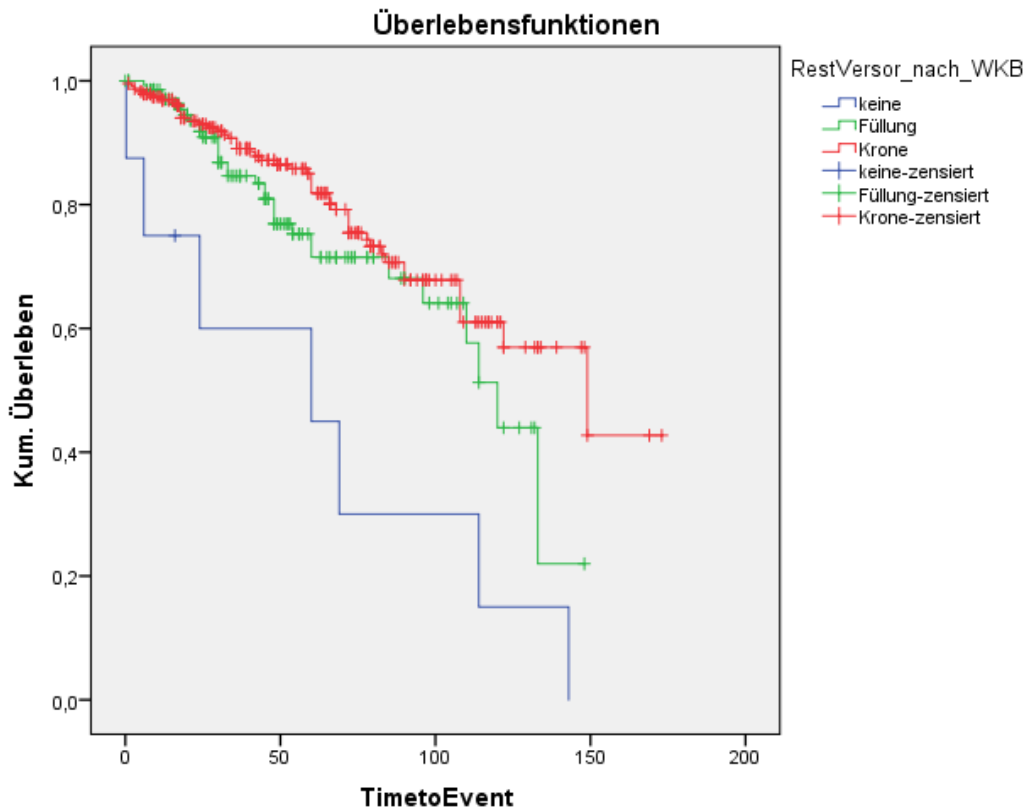
Daraus lässt sich ableiten, dass eine Füllung vor einer Wurzelkanalbehandlung tendenziell positiv mit der Überlebenszeit assoziiert.

4.3 Restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung

Dahingegen lässt sich bei der Studie ein signifikanter Zusammenhang zwischen restaurativer Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung und zeitlicher Überlebensdauer wurzelkanalbehandelter Zähne erkennen. Auch hierfür wurde eine Überlebenszeitanalyse durchgeführt. Die X-Achse beschreibt die Zeit in Monaten, die Y-Achse die Wahrscheinlichkeit eine bestimmte Zeitdauer zu überleben.

Wie in Graph 5 zu erkennen ist, sind Kronen im Durchschnitt mit der längsten Überlebenszeit assoziiert.

Der p-Wert von 0,001 deutet darauf hin, dass eine starke Evidenz dafür vorliegt, dass sich die Überlebenskurven von der Gruppe keine restaurative Versorgung, Füllung und Krone unterscheiden.



Graph 5: Überlebenszeitanalyse Restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung Keine, Füllung, Krone

Wie in Tabelle 2 zu erkennen ist, tritt eine Extraktion bei keiner restaurativen Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung in 87,5 % der Fälle auf. Wenn eine Füllung nach endodontischer Versorgung zweiter Prämolaren gelegt wurde, musste der Zahn in 22,4 % der Fälle gezogen werden. Wurde der Zahn nach der Wurzelkanalbehandlung mit einer Krone versorgt, liegt die Extraktionsrate bei 21,4 %.

Zusammenfassung der Fallverarbeitung

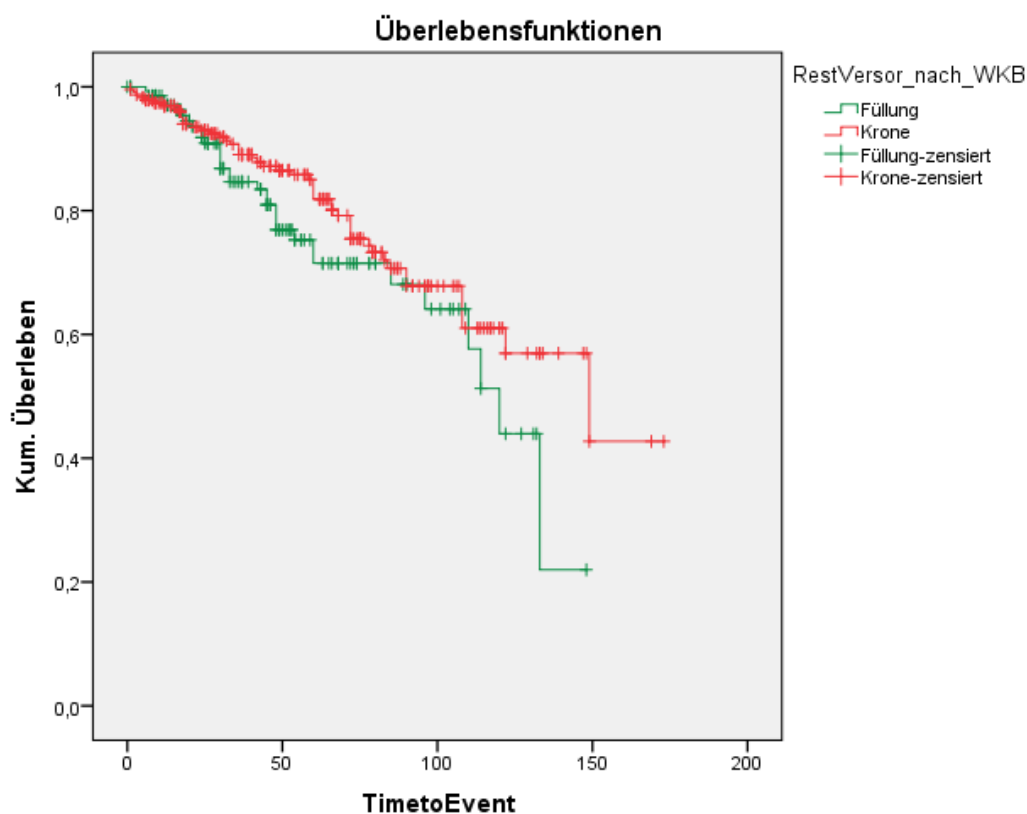
RestVersor_nach_WKB	Gesamtzahl	Anzahl der Ex-traktionen	Zensiert	
			N	Prozent
keine	8	7	1	12,5 %
Füllung	143	32	111	77,6 %
Krone	234	50	184	78,6 %
Gesamt	385	89	296	76,9 %

Tabelle 2: Anzahl restaurativer Versorgungen nach Wurzelkanalbehandlung Anzahl der Ergebnisse = Extrahiert, Zensiert = keine Extraktion

Die Anzahl der kronenversorgten Zähne liegt in dieser Auswertung bei 60,8 %, eine Versorgung durch Füllung erfolgte bei 37,1 % der Zähne und 2,1 % der Zähne, die sich nachverfolgen lassen, erhielten keine postendodontisch restaurative Versorgung.

Bei 24 von 409 Fällen lässt sich nicht nachverfolgen, welche restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung stattgefunden hat, weshalb in dieser Auswertung nur 385 Fälle berücksichtigt werden konnten.

Es ist davon auszugehen, dass keine weitere Versorgung in den wenigsten Fällen die Therapiewahl ist. Auch in dieser Studie sind nur 8 von 385 Zähnen keiner Versorgung unterzogen worden. Hypothetisch findet keine Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung statt, wenn der Patient nicht zur weiteren Behandlung erscheint oder der Zahn nach einer Wurzelkanalbehandlung weiterhin akute Schmerzen verursacht und die Prognose sehr ungünstig ist. Deshalb sollten die Kaplan-Meier-Kurven der Versorgung mit Krone und Füllung isoliert von den nichtversorgten Zähne betrachtet werden, um diese unterscheiden zu können. Dies wird in Graph 6 dargestellt.



Graph 6: Überlebenszeitanalyse Restaurative Versorgung nach Wurzelkanalbehandlung Füllung und Krone

Der p-Wert von 0,137 deutet darauf hin, dass kaum eine Evidenz dafür vorliegt, dass sich die beiden Überlebenskurven voneinander unterscheiden.

Füllungen als Therapie nach der Wurzelkanalbehandlung

Beispiel 1

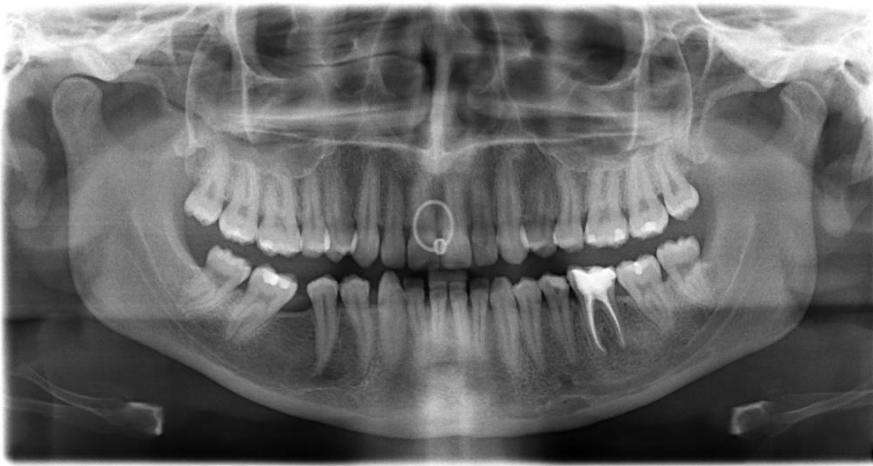


Abbildung 1: OPG 06.06.2013 Zahn 35 vor Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 2: Einzelzahnaufnahme 20.06.2013 Zahn 35 Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung



Abbildung 3: OPG 04.02.2016 Zahn 35 nach Wurzelfüllung und Füllung

Beispiel 2



Abbildung 4: Einzelaufnahme 02.07.2012 Zahn 15 vor Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 5: Einzelaufnahme 09.08.2012 Zahn 15 Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung

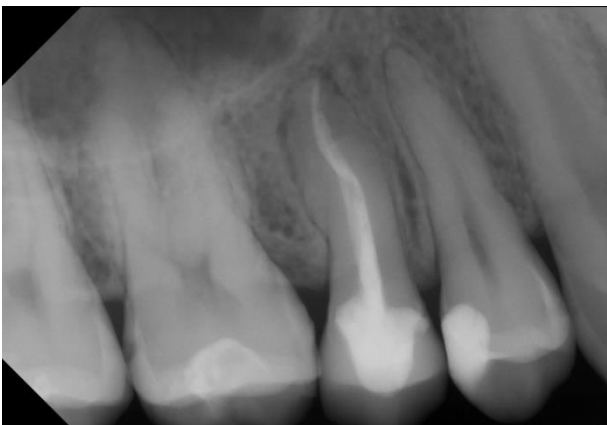


Abbildung 6: Einzelaufnahme 21.12.2017 Zahn 15 Füllung nach Wurzelkanalbehandlung

Kronen als Therapie nach Wurzelkanalbehandlung

Beispiel 1



Abbildung 7: Einzelaufnahme 10.08.2010 Zahn 35 vor Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 8: Einzelaufnahme 29.10.2013 Zahn 35 nach Wurzelfüllung



Abbildung 9: OPG 02.02.2016 Zahn 35 prothetische Versorgung mit Krone

Beispiel 2



Abbildung 10: OPG 27.09.2011 Zahn 25 vor Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 11: Einzelaufnahme 26.01.2012 Zahn 25 Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung



Abbildung 12: Einzelaufnahme 08.08.2017 Zahn 25 nach restaurativer Versorgung mit Krone

4.4 Apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung

Als nächstes wird der Zusammenhang von einer apicalen Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung mit der Überlebensrate des Zahns nach der Wurzelkanalbehandlung betrachtet.

Zusammenfassung der Fallverarbeitung

Apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung	Gesamtzahl	Anzahl der Extraktionen	Zensiert	
			N	Prozent
nein	81	21	60	74,1 %
ja	293	74	219	74,7 %
Gesamt	374	95	279	74,6 %

Tabelle 3: Kreuztabelle apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung und Extraktion

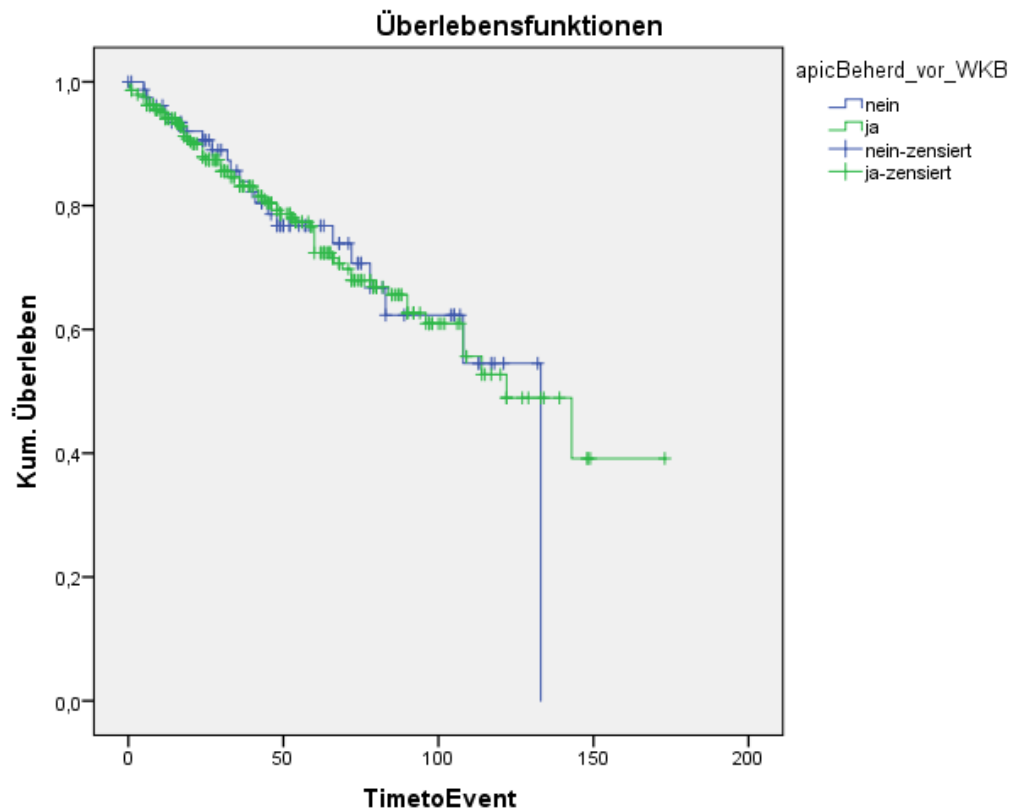
In 35 Fällen konnte nicht festgestellt werden, ob eine apicale Beherdung vor der Wurzelkanalbehandlung vorlag.

In 74 von 293 Fällen, die eine apicale Beherdung an der Wurzelspitze vor Wurzelkanalbehandlung vorwiesen, musste der Zahn extrahiert werden. Dies entspricht 25,3 %.

Von 81 Zähnen, die keine apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung zeigten, mussten 21 Zähne extrahiert werden. Dies entspricht einer relativen Häufigkeit von 25,9 %.

Relativ betrachtet lässt dies den Rückschluss zu, dass sich die Extraktionswahrscheinlichkeiten von Zähnen mit und ohne apicaler Aufhellung vor Wurzelkanalbehandlung kaum unterscheiden.

Es wurde ebenfalls eine Überlebenszeitanalyse durchgeführt, wobei der p-Wert 0,985 beträgt. Somit liegt keine Evidenz dafür vor, dass sich die Überlebenskurven zwischen apicaler Beherdung und keiner apicalen Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung voneinander unterscheiden. Eine grafische Darstellung erfolgt mit Hilfe von Kaplan-Meier-Kurven im Graph 7.



Graph 7: Überlebenszeitanalyse apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung

Beispiel 1

Apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung, keine apicale Beherdung danach:



Abbildung 13: OPG 04.08.2014 Zahn 35 vor Wurzelkanalbehandlung

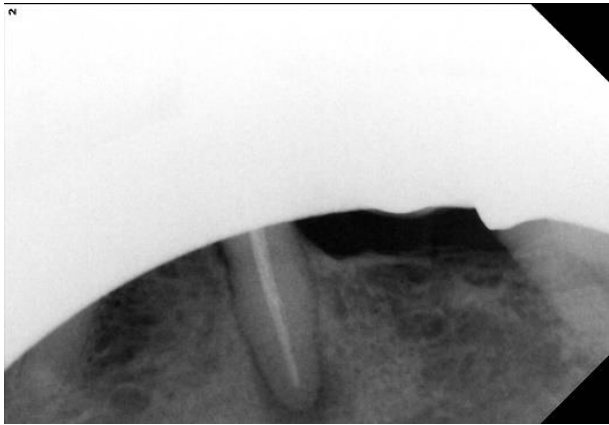


Abbildung 14: Einzelaufnahme 12.11.2014 Zahn 35 Kontrollaufnahme nach Wurzelfüllung



Abbildung 15: OPG 12.04.2017 Zahn 35 nach Wurzelkanalbehandlung

Beispiel 2

Apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung, apicale Beherdung danach:



Abbildung 16: OPG 05.03.2012 Zahn 45 vor Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 17: Einzelaufnahme 21.03.2012 Zahn 45 Messaufnahme

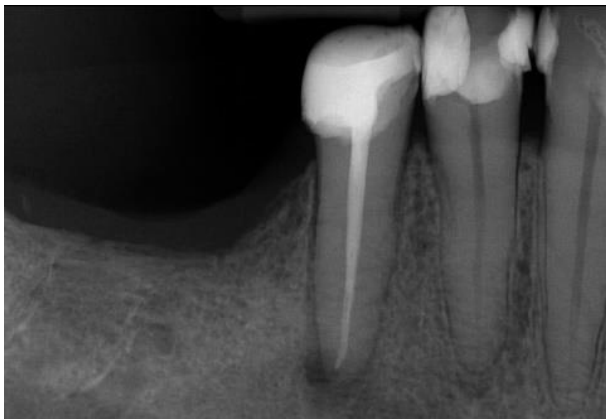
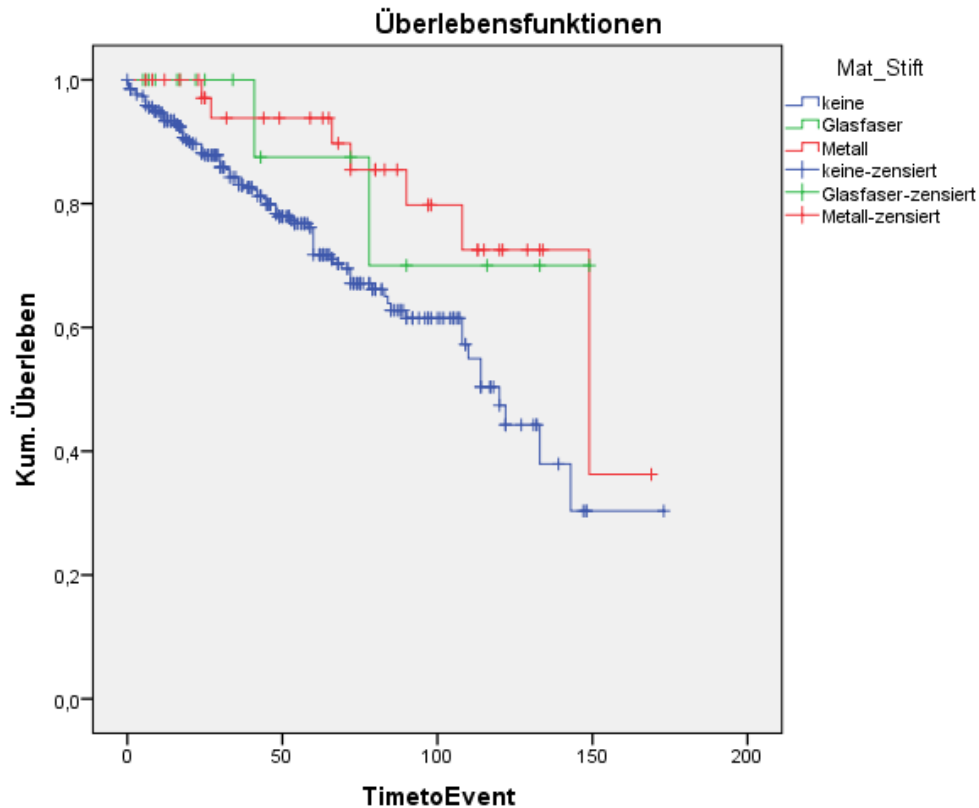


Abbildung 18: Einzelaufnahme 05.10.2017 Zahn 45 nach Wurzelkanalbehandlung und Füllung

4.5 Stiftversorgung nach Wurzelkanalbehandlung

Ein Hauptaugenmerk dieser Studie liegt darauf, ob bei einer Versorgung durch Stifte nach einer Wurzelkanalbehandlung ein erhöhtes Frakturrisiko besteht. Aus diesem Grund ist es zunächst erforderlich, das Überleben der stiftversorgten Zähne mit einer Überlebenszeitanalyse zu überprüfen. Hierbei wurde auch ein Unterschied zwischen der Versorgung durch Metall- und Glasfaserstifte gemacht. Graph 8 zeigt die Überlebenskurven der verschiedenen Stiftkategorien.



Graph 8: Überlebenszeitanalyse Kein Stift, Glasfaserstift, Metallstift

Aufgrund der geringen Anzahl von Stiftversorgungen in dieser Studie ist eine statistische Auswertung mit Hilfe des p-Wertes nicht zielführend.

Zusammenfassung der Fallverarbeitung

Mat_Stift	Gesamtzahl	Anzahl der Ereignisse	Zensiert	
			N	Prozent
keine	343	91	252	73,5 %
Glasfaser	17	2	15	88,2 %
Metall	39	7	32	82,1 %
Gesamt	399	100	299	74,9 %

Tabelle 4: Häufigkeit Stiftversorgung der Materialien Glasfaser und Metall; Anzahl der Ergebnisse Extraktion

Tabelle 4 zeigt, dass in 343 von 399 Fällen kein Wurzelstift gesetzt wurde, dies entspricht 85,9 % der Fälle.

In 17 Fällen bzw. bei 4,3 % wurde ein Glasfaserstift gesetzt und in 39 Fällen bzw. bei 9,8 % wurde ein Metallstift gesetzt.

Es stellt sich heraus, dass die Datenmenge nicht ausreichend ist, um eine genaue Auswertung zu erlangen. Somit lässt sich kein signifikanter Einfluss durch einen Wurzelstift auf die Überlebenswahrscheinlichkeit feststellen. Die Kausalität, dass

Glasfaser und Metallstifte ein höheres Überleben zeigen, kann eventuell davon abhängen, dass ein Stift in Verbindung mit einer Krone gesetzt wird. Wie bereits weiter oben beschrieben wurde, sind Kronen im Durchschnitt mit der längsten Überlebenszeit assoziiert.

Der vielmals diskutierte Unterschied zwischen Glasfaserstiften und Metallstiften weist in diesem Zusammenhang auf keinen eindeutigen statistisch darstellbaren Unterschied hin.

Beispiel 1



Abbildung 19: Einzelaufnahme 02.02.2017 Zahn 45 vor Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 20: Einzelaufnahme 02.03.2017 Zahn 45 nach Wurzelfüllung



Abbildung 21: Einzelaufnahme 15.12.2017 Zahn 45 Stiftversorgung

Beispiel 2

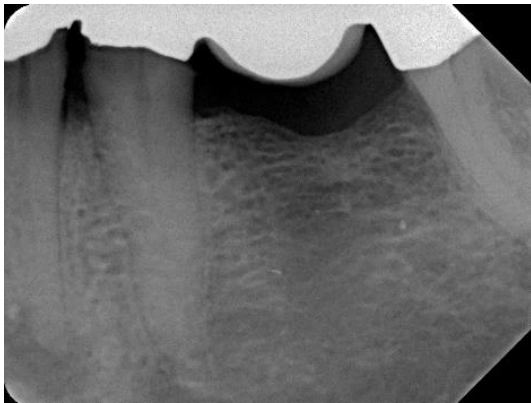


Abbildung 22: Einzelaufnahme 20.06.2012 Zahn 35 vor Wurzelkanalbehandlung

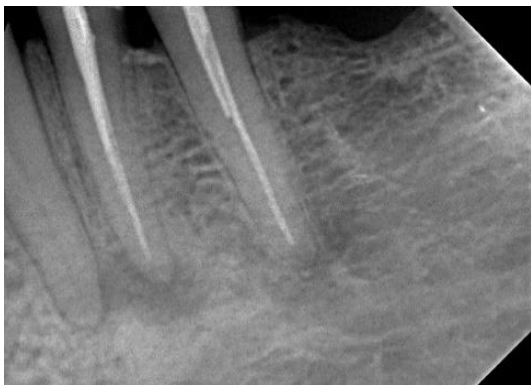


Abbildung 23: Einzelaufnahme 07.08.2012 Zahn 35 nach Wurzelfüllung

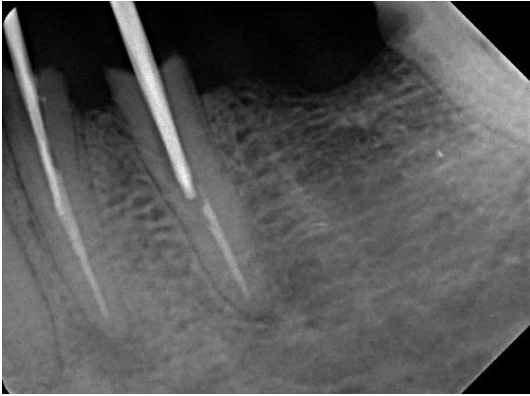


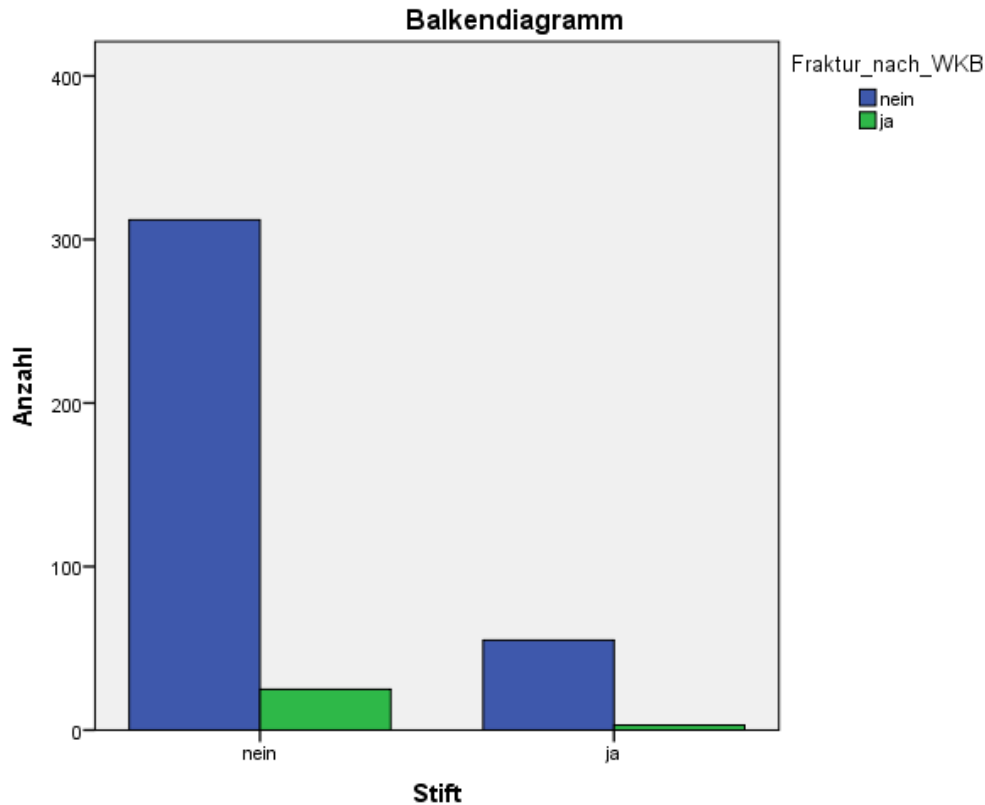
Abbildung 24: Einzelaufnahme 23.01.2013 Zahn 35 Stift setzen



Abbildung 25: OPG 06.02.2016 Zahn 35 nach Stiftversorgung

4.6 Frakturen

Zur Bewertung einer erhöhten Frakturgefahr durch Stiftversorgung wird in Graph 9 die Frakturhäufigkeit wurzelkanalbehandelter Zähne mit und ohne Stiftversorgung dargestellt.



Graph 9: Balkendiagramm Fraktur nach Wurzelkanalbehandlung bei Stiftversorgung

Die X-Achse des Balkendiagramms gibt an, ob es sich um eine Stiftversorgung handelt, die Y-Achse beschreibt die absolute Anzahl der Fälle. Blau gefärbt ist der Anteil, der nach einer Wurzelkanalbehandlung nicht frakturiert ist, grün ist der Anteil, der nach der Wurzelkanalbehandlung frakturiert ist.

Stift * Fraktur_nach_WKB Kreuztabelle

		Fraktur_nach_WKB		Gesamt
		nein	ja	
Stift	nein	312	25	337
	ja	55	3	58
Gesamt		367	28	395

Tabelle 5: Anzahl Frakturen nach Stiftversorgung

In der Tabelle 5 ist zu erkennen, dass insgesamt 28 von 395 Zähnen frakturiert sind. Von diesen 28 Zähnen waren 3 Zähne mit einem Stift versorgt.

Relativ betrachtet sind 7,4 % der Zähne ohne Stiftversorgung frakturiert und 92,6 % nicht frakturiert.

Bei Zähnen mit Stiftversorgung sind dahingegen nur 5,2 % frakturiert und 94,8 % nicht frakturiert.

Diese Studie gibt daher keinen Aufschluss darüber, dass durch eine Stiftversorgung eine erhöhte Frakturgefahr besteht. Somit wäre die Hypothese, dass durch eine Stiftversorgung eine erhöhte Frakturgefahr besteht, nicht bestärkt.

Beispiel 1

Fall ohne Stiftversorgung:



Abbildung 26: OPG 29.02.2008 Zahn 25 vorhandene Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 27: Einzelaufnahme 06.05.2009 Zahn 25 nach Revision



Abbildung 28: Einzelaufnahme 18.12.2013 Zahn 25 Längsfraktur

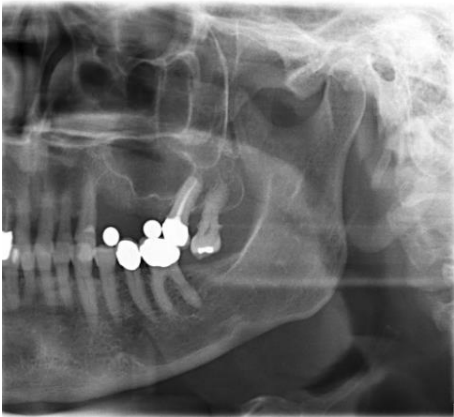


Abbildung 29: halbseitiges OPG links Zahn 25 extrahiert, Kugelmessaufnahme für Implantat

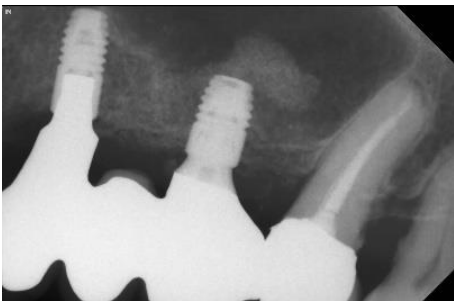


Abbildung 30: Einzelaufnahme 20.12.2019 Zahn 25 Implantat

Beispiel 2

Fall mit Stiftversrogung:



Abbildung 31: Einzelaufnahme 11.12.2009 Zahn 45 nach Wurzelkanalbehandlung

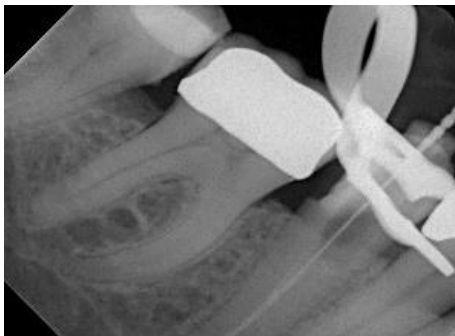


Abbildung 32: Einzelaufnahme 19.04.2010 Zahn 45 Messaufnahme Revision



Abbildung 33: Einzelaufnahme 02.08.2010 Zahn 45 Nach Revision und Füllung



Abbildung 34: OPG 02.08.2012 Zahn 45 nach prothetischer Versorgung mit Stift und Krone



Abbildung 35: Einzelaufnahme 05.05.2015 Zahn 45 Längsfraktur nach prothetischer Versorgung mit Stift und Krone



Abbildung 36: halbseitiges OPG Rechts 02.11.2015 Zahn 45 Implantat

4.7 Revisionen

Zur Beurteilung der Folgen einer nicht erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung wurden die Ereignisse Revision und Extraktion bzw. Zensurierung (wenn der Zahn nicht mehr weiter in der Datenbank verfolgt werden konnte) herangezogen.

Zunächst wurde untersucht, wann eine Revision nach Wurzelkanalbehandlung durchgeführt wurde.



Graph 10: Boxplot Revision nach Wurzelkanalbehandlung

Der Graph 10 zeigt einen Boxplot, welcher Aufschluss über den Zeitpunkt der Revision nach Wurzelkanalbehandlung gibt. Auf der X-Achse ist die Revision nach Wurzelkanalbehandlung zu erkennen, die Y-Achse beschreibt die Zeitdauer bis zur Revision nach der Wurzelkanalbehandlung in Monaten. Die meisten Revisionen haben innerhalb der ersten zwei Jahre stattgefunden, der Median beträgt 18 Monate.

Mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests lässt sich der Zusammenhang zwischen Revision und apicaler Beherdung nach Wurzelkanalbehandlung betrachten.

Nach einer Revision wurde in 34 von 50 Fällen keine apicale Beherdung festgestellt, was 68 % der Fälle entspricht.

Wenn keine Revision vorliegt, weisen 176 von 262 Fällen keine apicale Beherdung nach der Wurzelkanalbehandlung auf, was 67,2 % der Fälle entspricht.

Dies lässt schlussfolgern, dass laut dieser Studie eine Revision nicht ausschlaggebend dafür ist, ob eine apicale Beherdung nach der Therapie erfolgt.

Beispiel 1



Abbildung 37: Einzelaufnahme 08.09.2009 Zahn 15 nach Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 38: Einzelaufnahme 08.09.2009 Zahn 15 Revision



Abbildung 39: Einzelaufnahme 28.02.2011 Zahn 15 nach Revision



Abbildung 40: Einzelaufnahme 05.05.2011 Zahn 15 nach 2. Revision



Abbildung 41: Einzelaufnahme 08.11.2022 Zahn 15 nach 2. Revision

Beispiel 2



Abbildung 42: Einzelaufnahme 28.10.2015 Zahn 45 nach Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 43: Einzelaufnahme 09.11.2015 Zahn 45 Revision Messaufnahme



Abbildung 44: Einzelaufnahme 28.03.2017 Zahn 45 nach Revision und Füllung

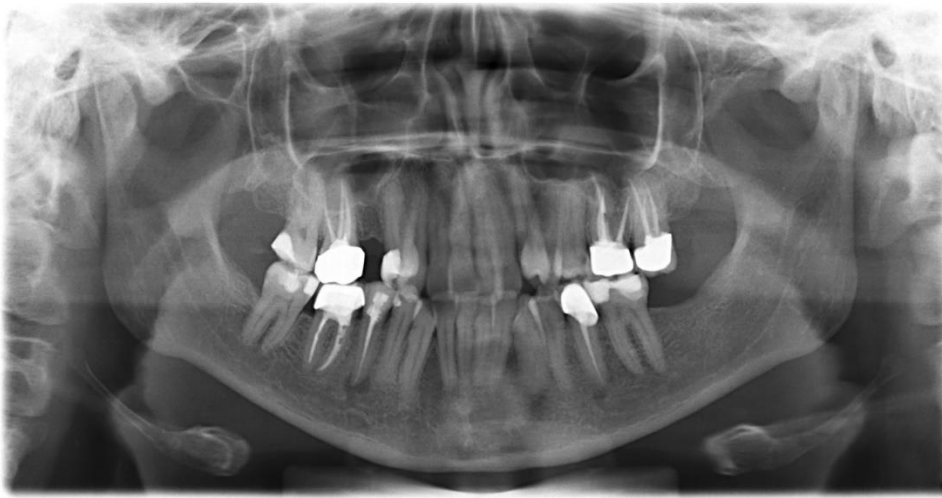
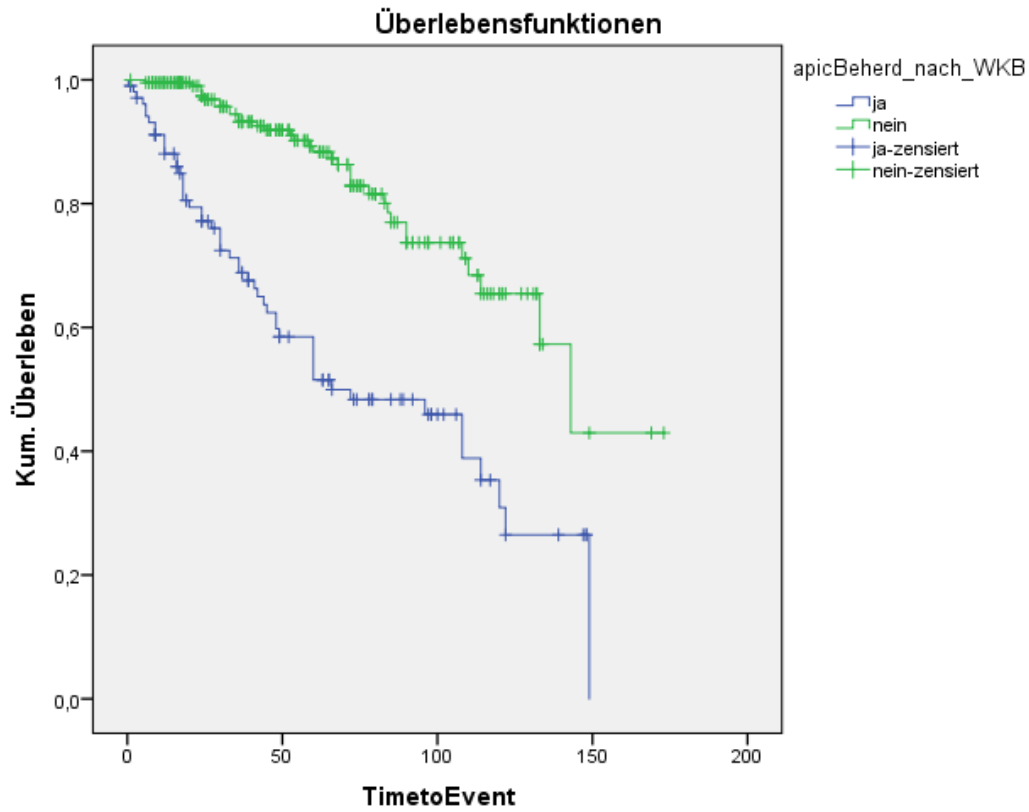


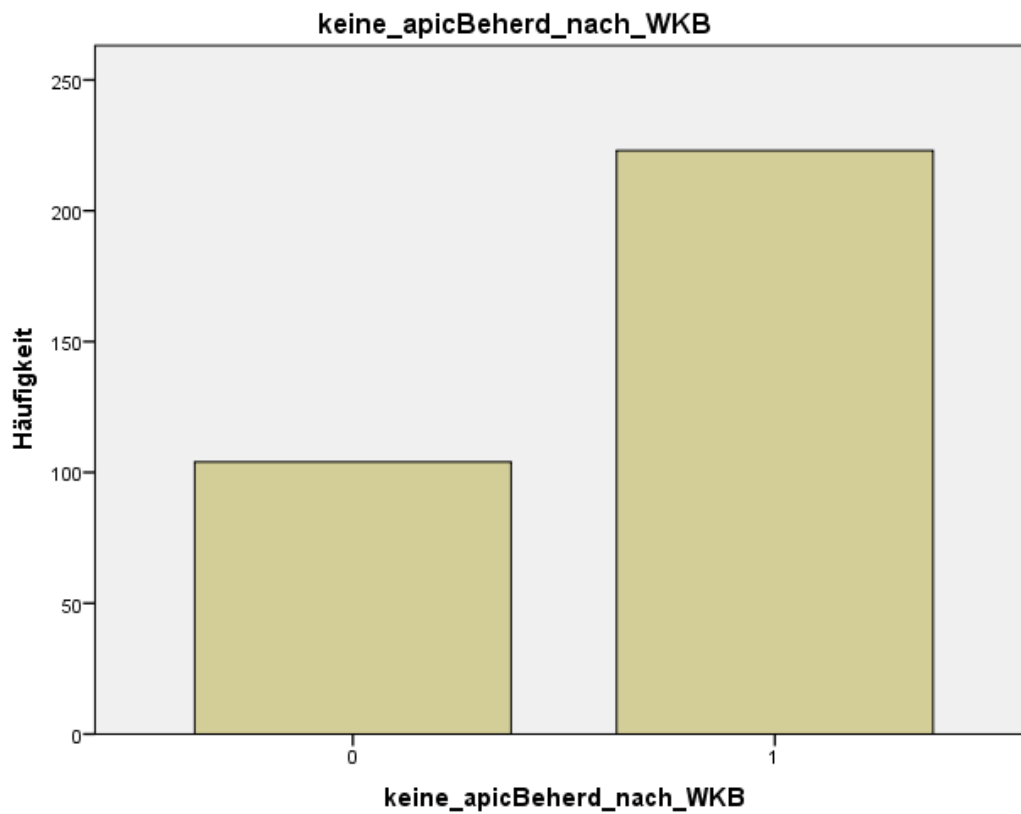
Abbildung 45: OPG 12.02.2019 Zahn 45 apicale Aufhellung nach Revision

4.8 Apicaler Zustand nach Wurzelkanalbehandlung

Der Graph 11 zeigt die Kaplan-Meier-Kurven, wenn eine bzw. keine apicale Beherdung nach Wurzelkanalbehandlung vorliegt. Der p-Wert liegt hier bei 0,000. Dies besagt, dass eine starke Evidenz dafür vorliegt, dass sich die Überlebenskurve von Zähnen mit apicaler Beherdung nach Wurzelkanalbehandlung von der Überlebenskurve von Zähnen ohne apicaler Beherdung nach Wurzelkanalbehandlung unterscheidet.



Graph 11: Überlebenszeitanalyse keine apicale Beherdung nach Wurzelkanalbehandlung: 0= apicale Beherdung
1= keine apicale Beherdung



Graph 12: Balkendiagramm Häufigkeit keine apicale Beherdung 0=apicale Beherdung, 1= keine apicale Beherdung

Die X-Achse des Balkendiagramms im Graph 12 beschreibt, ob eine apicale Beherdung vorliegt (0) oder ob keine apicale Beherdung vorliegt (1).

Keine apicale Beherdung nach der Wurzelkanalbehandlung liegt in 223 von 327 Fällen vor. Dies entspricht einer Wahrscheinlichkeit von 68,2 %.

Apicale Beherdungen liegen in 104 Fällen vor und lassen sich in Läsionen endodontischen Ursprungs (LEO), Läsionen parodontalen Ursprungs (LPO) und Endo-Paro-Läsionen unterteilen.

Die Wahrscheinlichkeit einer LEO nach Wurzelkanalbehandlung liegt in dieser Studie bei 20.2 % (66 der 327 Fälle).

Die Wahrscheinlichkeit einer LPO nach Wurzelkanalbehandlung liegt in dieser Studie bei 9,5 % (31 der 327 Fälle).

Eine Endo-Paro-Läsion tritt in dieser Studie in 2,4 % der Fälle auf (8 der 327 Fälle).

In 81 Fällen konnte die apicale Situation nach der Wurzelkanalbehandlung nicht ausgewertet werden, da keine Röntgenbilder vorliegen.

Beispiel 1

Apicale Aufhellung nach Wurzelkanalbehandlung:

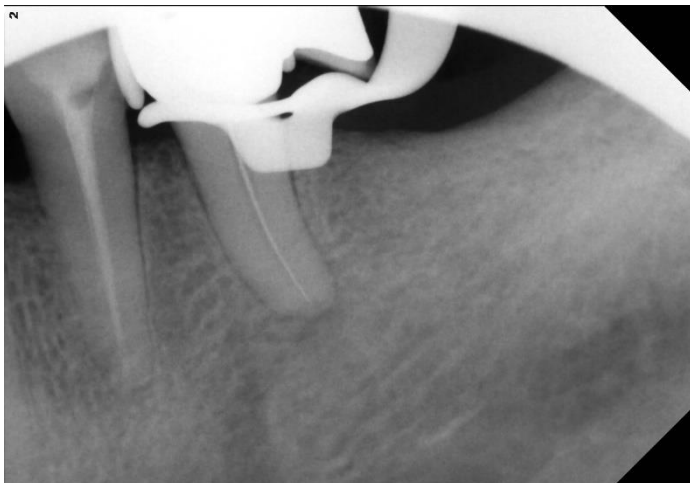


Abbildung 46: Einzelaufnahme 04.11.2015 Zahn 35 Messaufnahme



Abbildung 47: Einzelaufnahme 01.04.2016 Zahn 35 nach Wurzelkanalbehandlung



Abbildung 48: Einzelaufnahme 17.06.2016 Zahn 35 apicale Aufhellung nach Wurzelkanalbehandlung

Beispiel 2

Paro-Endoläsion:



Abbildung 49: Einzelaufnahme 19.04.2017 Zahn 15 vor Wurzelkanalbehandlung

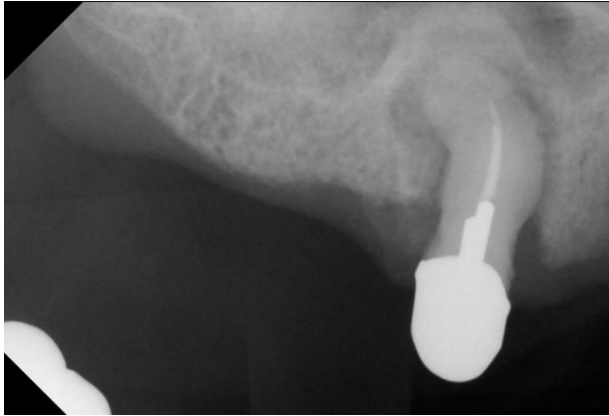


Abbildung 50: Einzelaufnahme 06.10.2011 Zahn 15 nach Wurzelkanalbehandlung, Stiftversorgung und Krone (Teleskopkrone); LPO

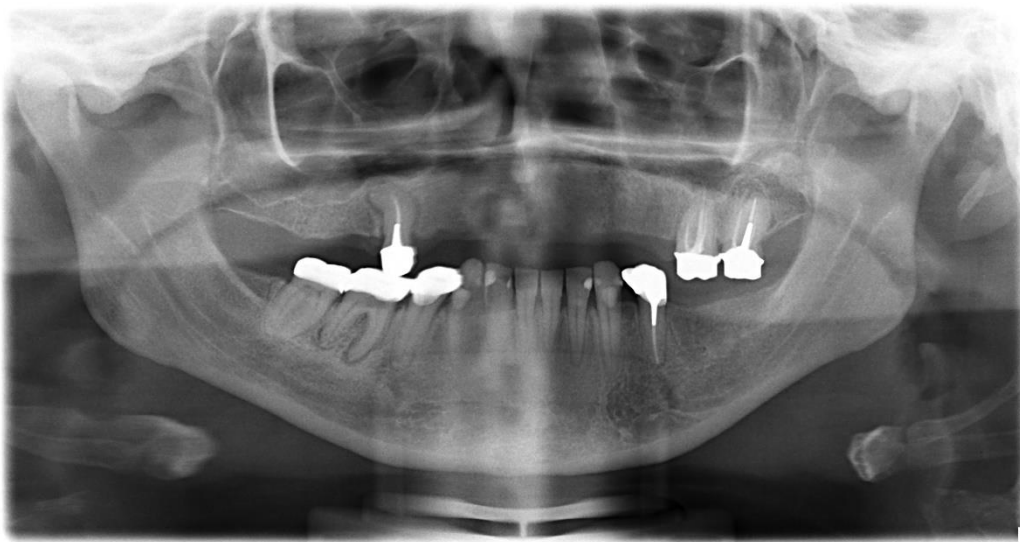
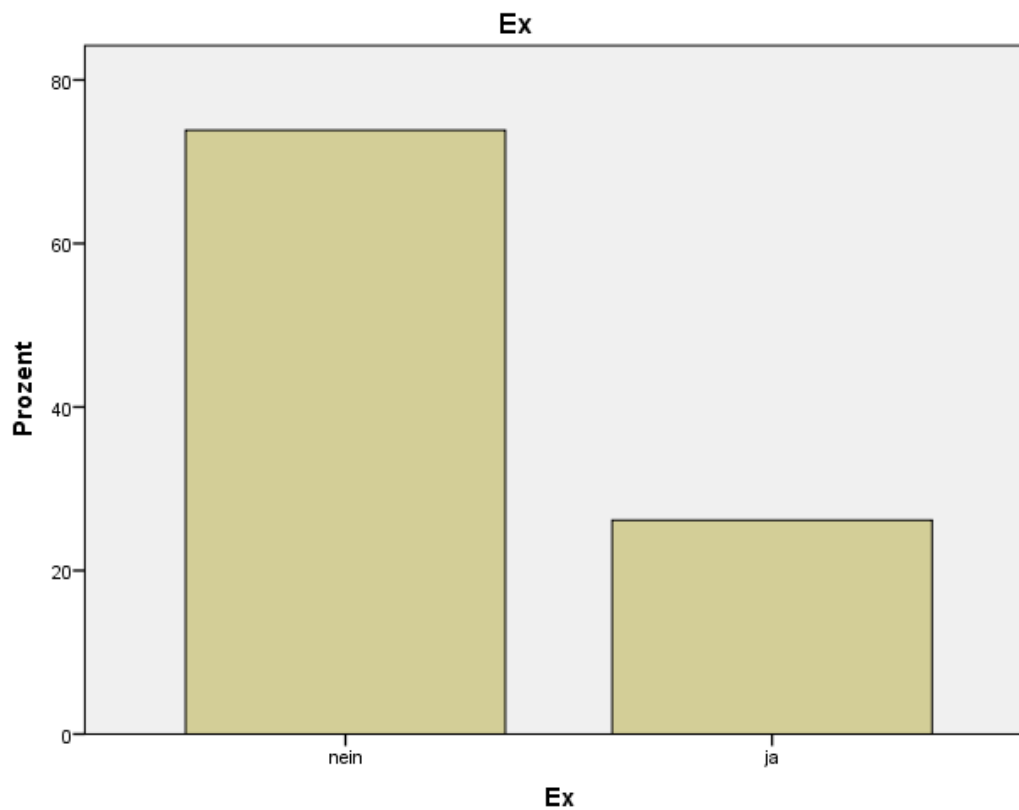


Abbildung 51: OPG 06.05.2016 Zahn 15 erweiterter Parodontalspalt

4.9 Extraktion

Der Graph 13 zeigt ein Balkendiagramm, welches prozentual darstellt, wie viele Zähne extrahiert wurden. Von 409 untersuchten Zähnen wurden 107 Zähne extrahiert. Dies entspricht 26,2 %. 73,8 % der Zähne wurden in der Zeit der Beobachtung nach der durchgeführten Wurzelkanalbehandlung demnach nicht extrahiert.



Graph 13: Balkendiagramm relative Häufigkeit Extraktion

Von 107 extrahierten Zähnen wurden 16 Fälle, gleichbedeutend mit 14,95 %, mit einem Implantat ersetzt, 47 Fälle wurden mit einer Prothese ersetzt, was 43,93 % entspricht und 3 Fälle (2,80 %) mit einer Brücke. Bei 41 Zähnen ist die Versorgung nach Extraktion nicht bekannt.

Versorgung nach Extraktion

Beispiel 1

Implantat



Abbildung 52: Einzelaufnahme 11.01.2012 Zahn 45 Messaufnahme



Abbildung 53: Einzelaufnahme 03.02.2016 Zahn 45 Nach Wurzelkanalbehandlung und prothetische Versorgung mit Krone



Abbildung 54: Einzelaufnahme 14.11.2016 Zahn 45 horizontale Fraktur



Abbildung 55: Einzelaufnahme 22.11.2017 Zahn 45 Implantat

Beispiel 2

Prothese



Abbildung 56: OPG 24.07.2013 Zahn 45 vor Wurzelkanalbehandlung apicale Aufhellung

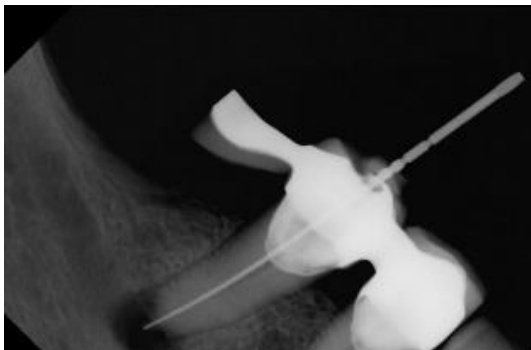


Abbildung 57: Einzelaufnahme 08.08.2013 Zahn 45 Messaufnahme

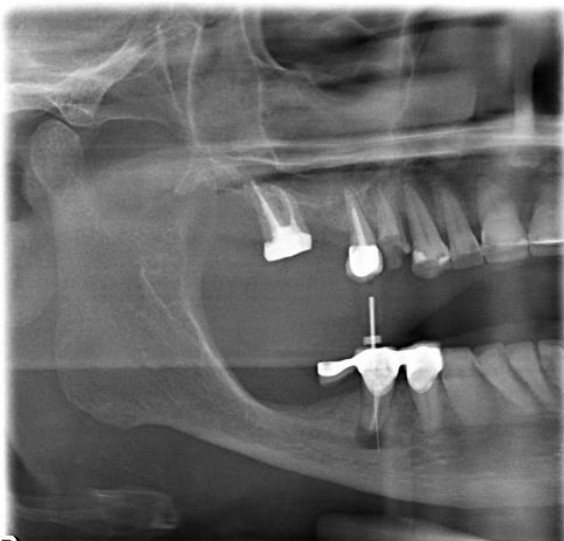
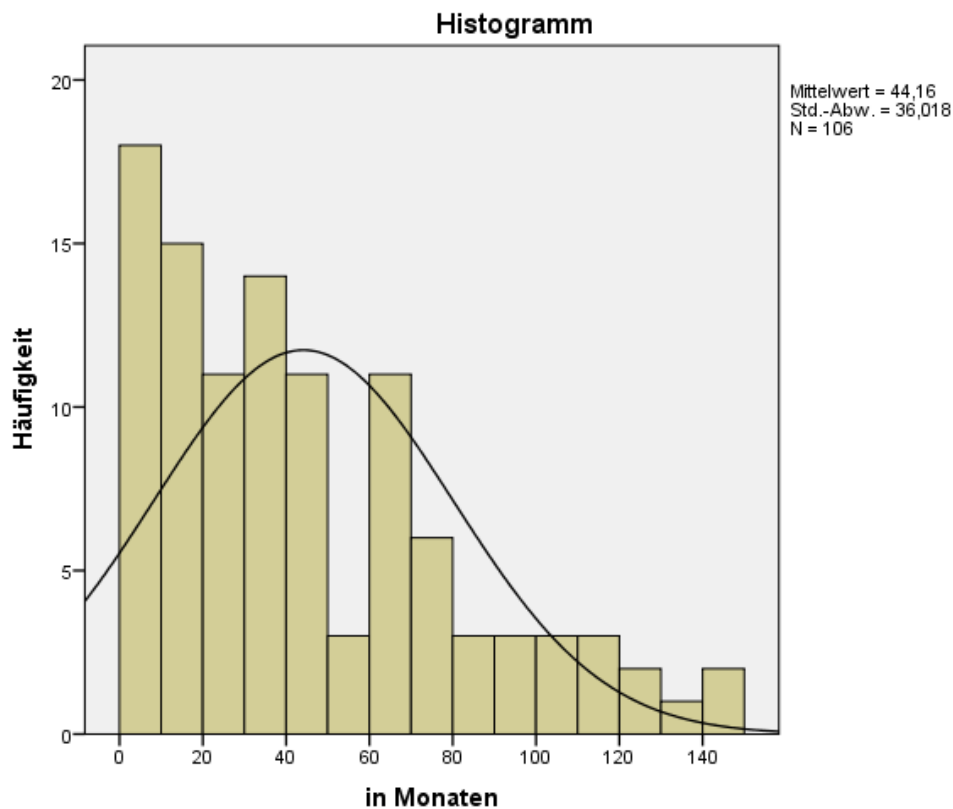


Abbildung 58: halbseitiges OPG rechts 20.08.2013 Zahn 45 via falsa



Abbildung 59: OPG 10.06.2014 Zahn 45 bereits extrahiert

Zeitpunkt der Extraktion



Graph 14: Histogramm Zeitpunkt Extraktion

Graph 14 zeigt ein Histogramm und ermöglicht eine zeitliche Einordnung, wann der Zahn nach Wurzelkanalbehandlung extrahiert wurde. Auf der X-Achse ist hierbei die Zeitspanne bis zur Extraktion in 10-Monatsabschnitten und auf der Y-Achse die absolute Häufigkeit der in dieser Zeitspanne durchgeführten Extraktionen angegeben.

Der Mittelwert der Extraktion liegt bei 44,16 Monaten, also 3,68 Jahren.

5 Diskussion

Die Zielsetzung dieser Doktorarbeit ist die Beantwortung der Haupt-Arbeitshypothese, wonach wurzelkanalbehandelte zweite Prämolaren nach einer Stiftversorgung häufiger frakturieren als ohne Stiftversorgung. Diese Hypothese konnte im Rahmen der vorliegenden Arbeit jedoch nicht bestätigt werden. Allerdings ist die Anzahl der stiftversorgten Zähne sehr gering. Eine weitere Studie, in der ausschließlich Zähne betrachtet werden, die eine Stiftversorgung erhalten haben, könnte tiefergehende Erkenntnisse liefern. Zudem könnte eine Studie durchgeführt werden, die in gleicher Anzahl wurzelkanalbehandelte Zähne mit und ohne Stiftversorgung enthält, um einen weitergehenden Vergleich dieser Gruppen zu erhalten.

Die Betrachtung der Daten lässt erkennen, dass viele Faktoren, die für eine erfolgreiche endodontische Therapie relevant sind, nicht mit aufgenommen werden können.

Ausschlaggebend für den Erfolg ist auch der Zustand des Zahns zum Zeitpunkt der Wurzelkanalbehandlung. Leider kann die Vitalität der Zähne nur in den wenigsten Fällen aufgenommen werden, da diese Daten meistens nicht protokolliert wurden, weshalb im Rahmen dieser Studie auf eine Auswertung verzichtet wurde. Einen Aufschluss über den Zustand des Zahns ermöglicht in vielen Fällen lediglich das Röntgenbild, auf denen eine eventuell vorliegende apicale Aufhellung erkennbar ist.

Die Problematik der Arbeit zeigt sich darin, dass viele Patienten, nachdem eine Wurzelkanalbehandlung bei ihnen durchgeführt wurde, nicht mehr weiter in der Zahnklinik in Mainz behandelt wurden. Diese Patienten können nicht für die Datenanalyse herangezogen werden, da hier keine Informationen über weitere Behandlungsschritte zur Verfügung stehen. Dies ist der Hauptgrund, warum von anfänglich 1963 Fällen nur 409 Datensätze ausgewertet werden konnten. Es wurden auch jene Fälle aussortiert, von denen keine weiteren Röntgenbilder existieren, die einen Rückschluss auf die Situation nach endodontischer Behandlung des Zahns zulassen. Ebenso mussten Patientendaten aussortiert werden, bei denen die Aufzeichnungen, in den für diese Studie einsehbaren Programmen, erst später begonnen haben.

Auch die Festlegung des exakten Zeitpunkts der Extraktion gelingt in den meisten Fällen nicht. In vielen Fällen kann nur ein Zeitraum angegeben werden, in dem der Zahn extrahiert worden sein muss. In diesen Fällen wurde als Zeitpunkt der Extraktion bzw. Zensurierung der Mittelwert zwischen dem letzten Zeitpunkt, an dem der Zahn noch vorhanden war und dem Zeitpunkt, an dem der Zahn das erste Mal nicht mehr vorhanden war, angegeben.

Des Weiteren muss in die Überlegungen mit einbezogen werden, dass Zähne, die im Vorhinein keine gute Prognose hatten, eventuell häufiger in Studentenkursen behandelt wurden. Dies bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit den Zahn durch eine Wurzelkanalbehandlung zu retten von Anfang an eher geringer war. Diese vorherige Prognose kann in die Daten nicht mit einbezogen werden, da der Zustand zum Zeitpunkt der Wurzelkanalbehandlung, wie bereits erläutert, in der Regel nur Anhand eines

Röntgenbildes nachvollziehbar ist. Aufgrund der mangelnden Datenlage kann in den meisten Fällen nicht erfasst werden, ob und wie lange der Patient an diesem Zahn bereits Schmerzen hatte, ob eine Antibiotikatherapie stattgefunden hat oder ob der Nerv schon abgestorben war.

Zudem gibt es aufgrund der Vielzahl an Behandlern in der Uniklinik Mainz, keine Möglichkeit jeden einzelnen Behandlungsschritt einem Behandler bzw. seiner angewandten Methode rückwirkend zuzuordnen. Im Laufe der Beobachtungszeit dieser Studie haben sich die Aufbereitungsform und die verwendeten Materialien, auf die zu Beginn dieser Doktorarbeit eingegangen wurde, verändert. Dieser Aspekt kann im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht berücksichtigt werden.

Auch die körperliche Verfassung der Patienten sowie deren Gesundheitszustand, Mundhygiene und Compliance ist aus den Daten nicht ersichtlich. Darüber hinaus wird in den Daten nicht erfasst, ob der Patient Rechts- oder Linkshänder ist, was für eine eventuell einseitig bessere Mundpflege sprechen könnte.

Die Bilder wurden anhand von Röntgenbildern und nicht mittels DVT Aufnahmen befundet. DVT Aufnahmen würden eine noch genauere Aussage ermöglichen. Im Rahmen dieser Studie wurden nur Zweite Prämolaren betrachtet. Diese haben in den meisten Fällen eine Wurzel, was eine Aussage einer zweidimensionalen Röntgenaufnahme aussagekräftiger macht als bei mehrwurzeligen Zähnen. Bei der röntgenologischen Auswertung wurde eine Verkleinerung der apicalen Aufhellung als Ausheilung gewertet.

Die restaurative Versorgung der Krone wurde nur angegeben, wenn diese Form der Versorgung auch tatsächlich erfolgte. Es ist entscheidend, ob der Zahn wirklich überkront wurde und nicht die reine Therapieeinschätzung des Arztes. Der Patient benötigt auch den finanziellen Rahmen für eine solche Behandlung. Wenn gleich die Empfehlung des Arztes für die Therapie mit einer Krone den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung verdeutlicht.

Das Extraktionsdatum wurde, wenn der Patient nicht zur empfohlenen Extraktion erschienen ist, auf das Datum festgelegt, an dem der behandelnde Arzt die Extraktion angeraten hat. Zu diesem Zeitpunkt wird die Wurzelkanalbehandlung als Misserfolg gewertet.

Ray und Trope veröffentlichten in Ihrer Studie von 1995, dass die Güte der koronalen Restauration einen statistisch signifikant größeren Einfluss auf den Behandlungserfolg, also die Abwesenheit einer apicalen Parodontitis, hatte als die der Wurzelkanalfüllung (151).

Dies spiegelt das Ergebnis dieser Studie wider, da die Wahl der restaurativen Versorgung nach der Wurzelkanalbehandlung einen signifikanten Unterschied im Behandlungserfolg aufzeigt. Auch diese Studie zeigt, dass eine eventuell vorliegende Beherrschung des Zahns vor der Wurzelkanalbehandlung nur von geringer Relevanz zu sein

scheint. Allerdings wurde bei dieser Studie weder explizit auf die Suffizienz der Wurzelkanalbehandlung an sich noch auf die Suffizienz der Kronenränder bzw. Abschlüsse der Füllungen eingegangen, da es sich um eine rein statistische und retrospektive Arbeit handelt, bei der kein Patientenkontakt vorliegt.

In der Literatur sind Erfolgsquoten zwischen 88 % (152) 89,8 % (130) und 95 % (153) zu finden. Die Erfolgsrate der wurzelkanalbehandelten Zähne an der Uniklinik Mainz zwischen 2005 und 2017 liegt bei 68,2 %. Entscheidend ist, dass man auch die Morphologie der zweiten Prämolare mit einbezieht. Willershausen et al zeigten in Ihrer Studie im Jahr 2006, dass ein Oberkiefer-Prämolar die erste Krümmung bei ca. 8 mm apical der Schmelz-Zement Grenze hat (28).

Des Weiteren konnten Willershausen et al. 2009 eine zunehmende Krümmung nach 9 bis 12 mm apical der Schmelz-Zement-Grenze bei Unterkiefer-Prämolaren beobachten (33). Dies spricht dafür, dass die Aufarbeitung der Kanäle der Prämolaren sehr komplex und schwierig sein kann. Durch die vermehrten Krümmungen im apicalen Bereich ist das Risiko von Stufenbildung, Verblockungen und Instrumentenbrüchen erhöht. Dies kann ebenfalls einen entscheidenden Einfluss auf die Überlebensrate haben.

Im Rahmen der Auswertung der Daten konnte festgestellt werden, dass die restaurative Versorgung nach der Wurzelkanalbehandlung Auswirkungen auf die Überlebenswahrscheinlichkeit des Zahns hat. Diese Erkenntnis findet sich auch in der Literatur wieder (131).

In einer US-amerikanischen Studie wurde eine mittlere Überlebenszeit von ca. elf Jahren ermittelt (146). In dieser Studie beträgt die mittlere Überlebenszeit dagegen 3,68 Jahre. Allerdings kann in dieser Studie nicht jeder Zahn bis zur Extraktion verfolgt werden, wie bereits beschrieben. Die Beobachtungszeit der Zähne variiert sehr stark was zu Abweichungen bei der mittleren Überlebenszeit führen kann.

6 Zusammenfassung

Das Thema dieser Doktorarbeit lautet Restaurationskonzepte der zweiten wurzelkanalbehandelten Prämolaren ambulanter Patienten in der Zahnklinik Mainz.

Hierbei wird die Frage erörtert, welche Folgen die Versorgung endodontisch behandelte Zähne auf die jeweiligen Prämolaren macht. Gibt es einen Unterschied zwischen einer späteren Versorgung durch eine Füllung gegenüber einer Krone? Ist das Frakturrisiko durch das Setzen eines Stifts an einem zweiten Prämolaren erhöht? Hat es einen Einfluss auf den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung, ob der Zahn vor Wurzelkanalbehandlung apical beherdet ist oder nicht?

Als Untersuchungsmethode wurde eine Excel-Liste erstellt mit allen Wurzelkanalbehandelten zweiten Prämolaren an der Uniklinik Mainz zwischen 2005 und 2017. 1963 Zähne wurden anhand von Akteneinträgen in Visident und Röntgenbildern evaluiert. Es konnten hiervon 409 in diese Studie mit aufgenommen werden, da bei den restlichen entweder keine Röntgenbilder oder nach dem endodontischen Eingriff keine weiteren Daten zur Verfügung standen. Anhand der aufgenommenen Daten konnten statistische Verfahren wie die Überlebenszeitanalyse und deskriptive Statistik durchgeführt werden.

Bei den Untersuchungen stellt man fest, dass die restaurative Versorgung nach der Wurzelkanalbehandlung einen signifikanten Einfluss auf die weitere Prognose des Zahns und dessen Überleben hat. Zähne, die mit einer Krone nach der Wurzelkanalbehandlung versorgt wurden, haben eine statistisch signifikant höhere Überlebensrate als die Zähne mit Füllung und diese wiederum gegenüber Zähnen ohne restaurativer Versorgung nach endodontischer Behandlung. Die Extraktionsrate zweiter endodontisch versorgter Prämolaren ohne restaurative Versorgung liegt bei 87,5 % bei restaurativer Versorgung mit einer Füllung bei 22,4 % und bei einer Versorgung mit einer Krone bei 21,4 %.

Die Hypothese, dass Stiftversorgungen zur vermehrten Fraktur bei endodontisch versorgten zweiten Prämolaren führt, kann durch diese Dissertation nicht bekräftigt werden. Von 395 Zähnen frakturierten 28 Zähne, von diesen frakturierten Zähnen wurden wiederum 3 Zähne mit einem Stift versorgt. Die Frakturrate der Zähne mit Wurzelstift liegt bei 5,2 % und der Zähne ohne Wurzelstift bei 7,4 %.

Es ist keine Tendenz erkennbar, allerdings ist die Datenlage der Stiftversorgungen zu gering, um eine statistische tragbare Aussage zu treffen. Es konnten 57 Fälle mit Stiftversorgung aufgenommen werden, von diesen sind 3 Zähne frakturiert, dies entspricht 5,3 %.

Bei Betrachtung des Ergebnisses, ob eine apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung Einfluss auf das Überleben der Zähne hat, wurde folgendes festgestellt: 25,3 % der Zähne, die eine apicale Beherdung an der Wurzelspitze vor Wurzelkanalbehandlung hatten mussten extrahiert werden. Von den Zähne, die keine

apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung hatten, mussten 25,9 % extrahiert werden.

Es ist in dieser Studie zu erkennen, dass eine apicale Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung keine Relevanz für die Überlebensrate des Zahns nach Wurzelkanalbehandlung hat gegenüber keiner apicalen Beherdung vor Wurzelkanalbehandlung. Auch die Überlebenszeitanalyse zeigte ein Signifikanzniveau von 0,958. Daraus ist ebenfalls zu schließen, dass kein statistisch signifikanter Unterschied besteht.

Auch sind keine Unterschiede der Häufigkeit zwischen den verschiedenen zweiten Prämolaren feststellbar. Der Zahn 15 wurde in 24,9 % der Fälle, der Zahn 25 in 24,0 %, der Zahn 35 in 25,9 % und der Zahn 45 in 25,2 % der Fälle behandelt. Die Patienten waren zu 46,7 % weiblich und 53,3 % männlich. Daraus ergibt sich keine Tendenz, ob ein Geschlecht häufiger Wurzelkanalbehandlungen an den zweiten Prämolaren hat.

In dieser Studie mussten 73,8 % der Zähne nicht extrahiert werden. Keine apicale Beherdung nach Wurzelkanalbehandlung weisen 68,2 % der Zähne vor.

Limitiert ist die vorliegende Arbeit darin, dass die Zähne nicht alle gleichlang und zu gleichen Zeitpunkten beobachtet werden können. Die Spanne der Beobachtungszeiträume liegt zwischen einem Monat und 173 Monaten, was 14,4 Jahren entspricht.

Dennoch zeigt diese Doktorarbeit statistisch signifikant den Zusammenhang, dass eine Überkronung die beste Versorgung eines wurzelkanalbehandelten Zahns darstellt.

Es konnte ebenso nachgewiesen werden, dass die Erfolgsrate der wurzelkanalbehandelten Zähne an der Uniklinik Mainz zwischen 2005 und 2017 bei 68,2 % liegt.

Um eine genauere Aussage zu treffen, ob das Frakturrisiko bei wurzelkanalbehandelten zweiten Prämolaren erhöht ist, wäre eine Studie mit Fällen von nur mit Stift versorgten zweiten Prämolaren denkbar. Dort müsste sowohl zwischen horizontaler und vertikaler Fraktur als auch die Versorgung durch konfektionierte Metallstifte, individuell angefertigten Metallstiften und Glasfaserstifte unterschieden werden.

Literaturverzeichnis

1. Weine FS, Healey HJ, Gerstein H, Evanson L. Canal configuration in the mesiobuccal root of the maxillary first molar and its endodontic significance. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1969;28(3):419-425.
2. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral surgery, oral medicine, and oral pathology*. 1984;58(5):589-599.
3. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2013. 365-374.
4. Sert S, Bayirli GS. Evaluation of the root canal configurations of the mandibular and maxillary permanent teeth by gender in the Turkish population. *Journal of Endodontics*. 2004;30(6):391-398.
5. Schwarze T, Lubbe D, Geurtsen W. Wurzelkanalbehandlungen in deutschen Zahnarztpraxen: Eine Umfrage unter Zahnärzten in Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. 1999;54(11):677-680.
6. Klimek J, Kockapan C, Borchert J. Häufigkeit und Qualität von Wurzelkanalfüllungen in den Jahren 1983 und 1991. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift*. 1995;50:154-156.
7. Hülsmann M. Epidemiologische Daten zur Endodontie (III). *Endodontia*. 1996;1:51-62.
8. Hugoson A, Koch G, Bergendal T, Hallonsten AL, Laurell L, Lundgren D, et al. Oral health of individuals aged 3-80 years in Jönköping, Sweden in 1973 and 1983. I. A review of findings on dental care habits and knowledge of oral health. *Swedish dental journal*. 1986;10(3):103-117.
9. Benenati FW, Khajotia SS. A radiographic recall evaluation of 894 endodontic cases treated in a dental school setting. *Journal of Endodontics*. 2002;28(5):391-395.
10. Frank AL, Glick DH, Patterson SS, Weine FS. Long-term evaluation of surgically placed amalgam fillings. *Journal of Endodontics*. 1992;18(8):391-398.
11. Gaye F, Mbaye M, Faye B, Toure B, Leye F. Short term evaluation of 24 cases of endodontic retreatment. *Odonto-stomatologie Tropicale = Tropical Dental Journal*. 2002;25(97):37-43.
12. Rubinstein RA, Kim S. Long-term follow-up of cases considered healed one year after apical microsurgery. *Journal of Endodontics*. 2002;28(5):378-383.
13. Aquilino SA, Caplan DJ. Relationship between crown placement and the survival of endodontically treated teeth. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2002;87(3):256-263.
14. Assif D, Bitenski A, Pilo R, Oren E. Effect of post design on resistance to fracture of endodontically treated teeth with complete crowns. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1993;69(1):36-40.

15. Isidor F, Brøndum K, Ravnholt G. The influence of post length and crown ferrule length on the resistance to cyclic loading of bovine teeth with prefabricated titanium posts. *International Journal of Prosthodontics*. 1999;12(1):78-82.
16. Nissan J, Dmitry Y, Assif D. The use of reinforced composite resin cement as compensation for reduced post length. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2001;86(3):304-308.
17. Gutmann JL. The dentin-root complex: anatomic and biologic considerations in restoring endodontically treated teeth. *The Journal of prosthetic dentistry*. 1992;67(4):458-467.
18. Papa J, Cain C, Messer HH. Moisture content of vital vs endodontically treated teeth. *Dental Traumatology*. 1994;10(2):91-93.
19. Sedgley CM, Messer HH. Are endodontically treated teeth more brittle? *Journal of Endodontics*. 1992;18(7):332-335.
20. Mannocci F, Sherriff M, Watson TF. Three-point bending test of fiber posts. *Journal of Endodontics*. 2001;27(12):758-761.
21. Vichi A, Grandini S, Ferrari M. Comparison between two clinical procedures for bonding fiber posts into a root canal: a microscopic investigation. *Journal of Endodontics*. 2002;28(5):355-360.
22. Hülsmann M. *Checklisten der Zahnmedizin: Endodontie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2008.
23. Hellwig E, Klimek J, Attin T. *Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie*. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2013. 323-329.
24. Willershausen B, Kasaj A, Tekyatan H, Roehrig B, Briseno B. Radiographic investigation of location and angulation of curvatures in human maxillary incisors. *Journal of Endodontics*. 2008;34(9):1052-1056.
25. Wolf TG, Paqué F, Woop AC, Willershausen B, Briseño-Marroquín B. Root canal morphology and configuration of 123 maxillary second molars by means of micro-CT. *International journal of oral science*. 2017;9(1):33-37.
26. Tamse A, Katz A, Pilo R. Furcation groove of buccal root of maxillary first premolars: a morphometric study. *Journal of Endodontics*. 2000;26(6):359-363.
27. Li J, Li L, Pan Y. Anatomic study of the buccal root with furcation groove and associated root canal shape in maxillary first premolars by using micro-computed tomography. *Journal of Endodontics*. 2013;39(2):265-268.
28. Willershausen B, Tekyatan H, Kasaj A, Marroquín BB. Roentgenographic in vitro investigation of frequency and location of curvatures in human maxillary premolars. *Journal of Endodontics*. 2006;32(4):307-311.

29. Bürklein S, Heck R, Schäfer E. Evaluation of the Root Canal Anatomy of Maxillary and Mandibular Premolars in a Selected German Population Using Cone-beam Computed Tomographic Data. *Journal of Endodontics*. 2017;43(9):1448-1452.
30. Abella F, Teixidó LM, Patel S, Sosa F, Duran-Sindreu F, Roig M. Cone-beam Computed Tomography Analysis of the Root Canal Morphology of Maxillary First and Second Premolars in a Spanish Population. *Journal of Endodontics*. 2015;41(8):1241-1247.
31. Tian YY, Guo B, Zhang R, Yu X, Wang H, Hu T, et al. Root and canal morphology of maxillary first premolars in a Chinese subpopulation evaluated using cone-beam computed tomography. *International endodontic journal*. 2012;45(11):996-1003.
32. Cleghorn BM, Christie WH, Dong CC. The root and root canal morphology of the human mandibular second premolar: a literature review. *Journal of Endodontics*. 2007;33(9):1031-1037.
33. Willershausen B, Kasaj A, Röhrig B, Briseño B. The determination of the initial straight length in root canals of mandibular premolars - an in vitro study. *European journal of medical research*. 2009;14(2):85-89.
34. Wolf TG, Paqué F, Sven Patyna M, Willershausen B, Briseño-Marroquín B. Three-dimensional analysis of the physiological foramen geometry of maxillary and mandibular molars by means of micro-CT. *International journal of oral science*. 2017;9(3):151-157.
35. Fleig S, Attin T, Jungbluth H. Narrowing of the radicular pulp space in coronally restored teeth. *Clinical oral investigations*. 2017;21(4):1251-1257.
36. Singh SV, Nikhil V, Singh AV, Yadav S. An in vivo comparative evaluation to determine the accuracy of working length between radiographic and electronic apex locators. *Indian journal of dental research : official publication of Indian Society for Dental Research*. 2012;23(3):359-362.
37. Simon S, Machtou P, Adams N, Tomson P, Lumley P. Apical limit and working length in endodontics. *Dental update*. 2009;36(3):146-153.
38. Soares CJ, Rodrigues MP, Faria ESAL, Santos-Filho PCF, Veríssimo C, Kim HC, et al. How biomechanics can affect the endodontic treated teeth and their restorative procedures? *Brazilian oral research*. 2018;32(suppl 1):76.
39. Peters OA, Schönenberger K, A L. Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *International endodontic journal*. 2001;34(5):221-230.
40. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *Journal of Endodontics*. 1988;14(7):346-351.
41. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. *International endodontic journal*. 2018;51(10):1088-1103.

42. Plotino G, Celeste RK, Rossi-Fedele G. Clinical fracture incidence of rotary and reciprocating NiTi files: A systematic review and meta-regression. *Australian endodontic journal: the journal of the Australian Society of Endodontology Inc.* 2021;47(2):372–385.
43. Haridas K, Hariharan M, Singh P, Varughese A, Ravi AB, Venugopal K. Comparative Evaluation of Microcrack Formation in Different Kinematics Using Rotary and Reciprocating File Systems: An In Vitro Study. *The journal of contemporary dental practice.* 2020;21(12):1389–1392.
44. Bhandi S, Mashyakhy M, Abumelha AS, Alkahtany MF, Jamal M, Chohan H, et al. Complete Obturation-Cold Lateral Condensation vs. Thermoplastic Techniques: A Systematic Review of Micro-CT Studies. *Materials (Basel).* 2021;14(14):4013.
45. Komabayashi T, Colmenar D, Cvach N, Bhat A, Primus C, Imai Y. Comprehensive review of current endodontic sealers. *Dental materials journal.* 2020;39(5):703-720.
46. Vinola SMJ, Karthikeyan K, Sharma A, Sudheshna S, Sekar M. Anti-inflammatory efficacy of petasin-incorporated zinc oxide eugenol sealer - An in vivo zebrafish study. *Journal of conservative dentistry : JCD.* 2021;24(6):539-543.
47. Cohen BI, Pagnillo MK, Musikant BL, Deutsch AS. Formaldehyde evaluation from endodontic materials. *Oral health.* 1998;88(12):37-39.
48. Bouillaguet S, Wataha JC, Lockwood PE, Galgano C, Golay A, Krejci I. Cytotoxicity and sealing properties of four classes of endodontic sealers evaluated by succinic dehydrogenase activity and confocal laser scanning microscopy. *European Journal Oral Sciences.* 2004;112(2):182-187.
49. Troiano G, Perrone D, Dioguardi M, Buonavoglia A, Ardito F, Lo Muzio L. In vitro evaluation of the cytotoxic activity of three epoxy resin-based endodontic sealers. *Dental materials journal.* 2018;37(3):374-378.
50. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2013. 417.
51. Fang J, Mai S, Ling J, Lin Z, Huang X. In vitro evaluation of bond strength and sealing ability of a new low-shrinkage, methacrylate resin-based root canal sealer. *Journal of the Formosan Medical Association = Taiwan yi zhi.* 2012;111(6):340-346.
52. Mohammadi Z, Dummer PM. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *International endodontic journal.* 2011;44(8):697-730.
53. Zafar K, Jamal S, Ghafoor R. Bio-active cements-Mineral Trioxide Aggregate based calcium silicate materials: a narrative review. *JPMA The Journal of the Pakistan Medical Association.* 2020;70(3):497-504.
54. Prati C, Gandolfi MG. Calcium silicate bioactive cements: Biological perspectives and clinical applications. *Dental materials : official publication of the Academy of Dental Materials.* 2015;31(4):351-370.

55. Alves Silva EC, Tanomaru-Filho M, da Silva GF, Delfino MM, Cerri PS, Guerreiro-Tanomaru JM. Biocompatibility and Bioactive Potential of New Calcium Silicate-based Endodontic Sealers: Bio-C Sealer and Sealer Plus BC. *Journal of Endodontics*. 2020;46(10):1470-1477.
56. Dammaschke T. Sealer auf Kalziumsilikatbasis. *Der freie Zahnarzt*. 2020;64(1):64-71.
57. Donnermeyer D, Ibing M, Bürklein S, Weber I, Reitze MP, Schäfer E. Physico-Chemical Investigation of Endodontic Sealers Exposed to Simulated Intracanal Heat Application: Hydraulic Calcium Silicate-Based Sealers. *Materials (Basel)*. 2021;14(4):728.
58. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2013. 388-392.
59. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys - a review. *International endodontic journal*. 2018;51(10):1088-1103.
60. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag; 2013. 393-394.
61. Siddique R, Nivedhitha MS. Effectiveness of rotary and reciprocating systems on microbial reduction: A systematic review. *Journal of conservative dentistry : JCD*. 2019;22(2):114-122.
62. Peters OA, Laib A, Göhring TN, Barbakow F. Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *Journal of Endodontics*. 2001;27(1):1-6.
63. van Gogswaardt DC, Behrens VG. Effectivity of ultrasonics by the root canal instrumentation. *Stomatologie der DDR*. 1990;40(7):299-304.
64. Beer R, Gängler P. SEM studies on root canal preparation using ultrasound. *Dtsch Zahnärztl Z*. 1989;44(5):334-339.
65. Felgner J, Bitter K. Desinfektion in der Endodontie. *Der Freie Zahnarzt*. 2019;63(9):80-91.
66. Zehnder M, Lehnert B, Schönenberger K, Waltimo T. Spüllösungen und medikamentöse Einlagen in der Endodontie. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin SMfZ*. 2003;113(7):756-763.
67. Basrani B, Haapasalo M. Update on endodontic irrigating solutions. *Endodontic topics*. 2012;27(1):74-102.
68. Ørstavik D, Haapasalo M. Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Dental Traumatology*. 1990;6(4):142-149.
69. Heling I, Chandler N. Antimicrobial effect of irrigant combinations within dentinal tubules. *International endodontic journal*. 1998;31(1):8-14.

70. Yoshida T, Shibata T, Shinohara T, Gomyo S, Sekine I. Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *Journal of Endodontics*. 1995;21(12):592-593.
71. Byström A, Sunqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *International endodontic journal*. 1985;18(1):35-40.
72. Peters L, Van Winkelhoff AJ, Buijs J, Wesselink P. Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions. *International endodontic journal*. 2002;35(1):13-21.
73. Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist G. The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *International endodontic journal*. 1991;24(3):119-125.
74. Willershausen I, Wolf TG, Schmidtman I, Berger C, Ehlers V, Willershausen B, et al. Survey of root canal irrigating solutions used in dental practices within Germany. *International endodontic journal*. 2015;48(7):654-660.
75. Test ST, Lampert MB, Ossanna PJ, Thoene JG, Weiss SJ. Generation of nitrogen-chlorine oxidants by human phagocytes. *The Journal of clinical investigation*. 1984;74(4):1341-1349.
76. Estrela C, Estrela CRA, Barbin EL, Spanó JCE, Marchesan MA, Pécora JD. Mechanism of action of sodium hypochlorite. *Brazilian dental journal*. 2002;13:113-117.
77. Grigoratos D, Knowles J, Ng YL, Gulabivala K. Effect of exposing dentine to sodium hypochlorite and calcium hydroxide on its flexural strength and elastic modulus. *International endodontic journal*. 2001;34(2):113-119.
78. Clegg M, Vertucci F, Walker C, Belanger M, Britto L. The effect of exposure to irrigant solutions on apical dentin biofilms in vitro. *Journal of Endodontics*. 2006;32(5):434-437.
79. Busanello FH, Petridis X, So MV, Dijkstra RJ, Sharma PK, van der Sluis LW. Chemical biofilm removal capacity of endodontic irrigants as a function of biofilm structure: optical coherence tomography, confocal microscopy and viscoelasticity determination as integrated assessment tools. *International endodontic journal*. 2019;52(4):461-474.
80. de Hemptinne F, Slaus G, Vandendael M, Jacquet W, De Moor RJ, Bottenberg P. In vivo intracanal temperature evolution during endodontic treatment after the injection of room temperature or preheated sodium hypochlorite. *Journal of Endodontics*. 2015;41(7):1112-1115.
81. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Verhaagen B, Versluis M, Kastrinakis E, Wesselink PR, et al. The effect of needle-insertion depth on the irrigant flow in the root canal: evaluation using an unsteady computational fluid dynamics model. *Journal of Endodontics*. 2010;36(10):1664-1668.

82. Perez R, Neves A, Belladonna F, Silva E, Souza E, Fidel S, et al. Impact of needle insertion depth on the removal of hard-tissue debris. *International endodontic journal*. 2017;50(6):560-568.
83. Davies A. The mode of action of chlorhexidine. *Journal of Periodontal research*. 1973;8:68-75.
84. Basrani B, Lemonie C. Chlorhexidine gluconate. *Australian Endodontic Journal*. 2005;31(2):48-52.
85. Carrilho M, Carvalho RM, Tay FR, Yiu C, Pashley DH. Durability of resin-dentin bonds related to water and oil storage. *American Journal of Dentistry*. 2005;18(6):315-319.
86. Hoedke D, Enseleit C, Gruner D, Dommisch H, Schlafer S, Dige I, et al. Effect of photodynamic therapy in combination with various irrigation protocols on an endodontic multispecies biofilm ex vivo. *International endodontic journal*. 2018;51:23-34.
87. Paiva SSM, Siqueira Jr JF, Rôças IN, Carmo FL, Ferreira DC, Curvelo JAR, et al. Supplementing the antimicrobial effects of chemomechanical debridement with either passive ultrasonic irrigation or a final rinse with chlorhexidine: a clinical study. *Journal of Endodontics*. 2012;38(9):1202-1206.
88. Cachovan G, Schiffner U, Altenhof S, Guentsch A, Pfister W, Eick S. Comparative antibacterial efficacies of hydrodynamic and ultrasonic irrigation systems in vitro. *Journal of Endodontics*. 2013;39(9):1171-1175.
89. Brindle ER, Miller DA, Stewart PS. Hydrodynamic deformation and removal of *Staphylococcus epidermidis* biofilms treated with urea, chlorhexidine, iron chloride, or DispersinB. *Biotechnology and bioengineering*. 2011;108(12):2968-2977.
90. Hope CK, Wilson M. Analysis of the effects of chlorhexidine on oral biofilm vitality and structure based on viability profiling and an indicator of membrane integrity. *Antimicrobial agents and chemotherapy*. 2004;48(5):1461-1468.
91. Busanello FH, Petridis X, So MVR, Dijkstra RJB, Sharma PK, van der Sluis LWM. Chemical biofilm removal capacity of endodontic irrigants as a function of biofilm structure: optical coherence tomography, confocal microscopy and viscoelasticity determination as integrated assessment tools. *Journal of Endodontics*. 2019;52(4):461-474.
92. Zehnder M. Root canal irrigants. *Journal of Endodontics*. 2006;32(5):389-398.
93. Rôças IN, Siqueira Jr JF. Characterization of microbiota of root canal-treated teeth with posttreatment disease. *Journal of clinical microbiology*. 2012;50(5):1721-1724.
94. Ringel AM, Patterson SS, Newton CW, Miller CH, Mulhern JM. In vivo evaluation of chlorhexidine gluconate solution and sodium hypochlorite solution as root canal irrigants. *Journal of Endodontics*. 1982;8(5):200-204.

95. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *International endodontic journal*. 2011;44(7):583-609.
96. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS. A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *Journal of Endodontics*. 1983;9(4):137-142.
97. Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A. Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *Journal of Endodontics*. 2007;33(8):966-969.
98. Marchesan MA, Pasternak Júnior B, Afonso MM, Sousa-Neto MD, Paschoalato C. Chemical analysis of the flocculate formed by the association of sodium hypochlorite and chlorhexidine. *Oral surgery, oral medicine, oral pathology, oral radiology, and endodontics*. 2007;103(5):103-105.
99. Krishnamurthy S, Sudhakaran S. Evaluation and prevention of the precipitate formed on interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine. *Journal of Endodontics*. 2010;36(7):1154-1157.
100. Chhabra RS, Huff JE, Haseman JK, Elwell MR, Peters AC. Carcinogenicity of p-chloroaniline in rats and mice. *Food and chemical toxicology : an international journal published for the British Industrial Biological Research Association*. 1991;29(2):119-124.
101. Nocca G, Ahmed HMA, Martorana GE, Callà C, Gambarini G, Rengo S, et al. Chromographic Analysis and Cytotoxic Effects of Chlorhexidine and Sodium Hypochlorite Reaction Mixtures. *Journal of Endodontics*. 2017;43(9):1545-1552.
102. Bui TB, Baumgartner JC, Mitchell JC. Evaluation of the interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate and its effect on root dentin. *Journal of Endodontics*. 2008;34(2):181-185.
103. Baumgartner JC, Mader CL. A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation regimens. *Journal of Endodontics*. 1987;13(4):147-157.
104. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *International endodontic journal*. 2003;36(6):411-417.
105. Clarkson RM, Podlich HM, Moule AJ. Influence of ethylenediaminetetraacetic acid on the active chlorine content of sodium hypochlorite solutions when mixed in various proportions. *Journal of Endodontics*. 2011;37(4):538-543.
106. Naumann M, Schmitter M, Frankenberger R, Krastl G. "Ferrule Comes First. Post Is Second!" Fake News and Alternative Facts? A Systematic Review. *Journal of Endodontics*. 2018;44(2):212-219.
107. Naumann M, Schmitter M, Krastl G. Postendodontic Restoration: Endodontic Post-and-Core or No Post At All? *The journal of adhesive dentistry*. 2018;20(1):19-24.

108. Bitter K, Noetzel J, Stamm O, Vaudt J, Meyer-Lueckel H, Neumann K, et al. Randomized clinical trial comparing the effects of post placement on failure rate of postendodontic restorations: preliminary results of a mean period of 32 months. *Journal of Endodontics*. 2009;35(11):1477-1482.
109. Kon M, Zitzmann NU, Weiger R, Krastl G. Postendodontic restoration: a survey among dentists in Switzerland. *Schweizer Monatsschrift für Zahnmedizin = Revue mensuelle suisse d'odonto-stomatologie = Rivista mensile svizzera di odontologia e stomatologia*. 2013;123(12):1076-1088.
110. Marchionatti AME, Wandscher VF, Rippe MP, Kaizer OB, Valandro LF. Clinical performance and failure modes of pulpless teeth restored with posts: a systematic review. *Brazilian oral research*. 2017;31:64.
111. Gbadebo OS, Ajayi DM, Oyekunle OO, Shaba PO. Randomized clinical study comparing metallic and glass fiber post in restoration of endodontically treated teeth. *Indian journal of dental research : official publication of Indian Society for Dental Research*. 2014;25(1):58-63.
112. Karzoun W, Abdulkarim A, Samran A, Kern M. Fracture strength of endodontically treated maxillary premolars supported by a horizontal glass fiber post: an in vitro study. *Journal of Endodontics*. 2015;41(6):907-912.
113. Naumann M, Koelpin M, Beuer F, Meyer-Lueckel H. 10-year survival evaluation for glass-fiber-supported postendodontic restoration: a prospective observational clinical study. *Journal of Endodontics*. 2012;38(4):432-435.
114. Gernhardt PCR. postendodontische Versorgung mithilfe eines innovativen Stiftsystems. *Dentalzeitung*. 2021:28-30.
115. Papapanou PN, Sanz M, Buduneli N, Dietrich T, Feres M, Fine DH, et al. Periodontitis: Consensus report of workgroup 2 of the 2017 World Workshop on the Classification of Periodontal and Peri-Implant Diseases and Conditions. *Journal of clinical periodontology*. 2018;45 (suppl 20):162-170.
116. Rathe F. Endo-Paro-Läsionen. *der junge zahnarzt*. 2020;11(6):16-25.
117. Keiser K, Johnson CC, Tipton DA. Cytotoxicity of mineral trioxide aggregate using human periodontal ligament fibroblasts. *Journal of Endodontics*. 2000;26(5):288-291.
118. Rotstein I, Simon JH. Diagnosis, prognosis and decision-making in the treatment of combined periodontal-endodontic lesions. *Periodontology 2000*. 2004;34:165-203.
119. White Jr C, Bryant N. Combined therapy of mineral trioxide aggregate and guided tissue regeneration in the treatment of external root resorption and an associated osseous defect. *Journal of periodontology*. 2002;73(12):1517-1521.
120. Orstavik D. Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *International endodontic journal*. 1996;29(3):150-155.

121. Yoshino K, Ito K, Kuroda M, Sugihara N. Prevalence of vertical root fracture as the reason for tooth extraction in dental clinics. *Clinical oral investigations*. 2015;19(6):1405-1409.
122. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M. Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *Journal of Endodontics*. 2009;35(7):1044-1047.
123. Sjögren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G. Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *International endodontic journal*. 1997;30(5):297-306.
124. Molander A, Reit C, Dahlén G, Kvist T. Microbiological status of root-filled teeth with apical periodontitis. *International endodontic journal*. 1998;31(1):1-7.
125. Adcock JM, Sidow SJ, Looney SW, Liu Y, McNally K, Lindsey K, et al. Histologic evaluation of canal and isthmus debridement efficacies of two different irrigant delivery techniques in a closed system. *Journal of Endodontics*. 2011;37(4):544-548.
126. Endal U, Shen Y, Knut A, Gao Y, Haapasalo M. A high-resolution computed tomographic study of changes in root canal isthmus area by instrumentation and root filling. *Journal of Endodontics*. 2011;37(2):223-227.
127. Del Carpio-Perochena AE, Bramante CM, Duarte MA, Cavenago BC, Villas-Boas MH, Graeff MS, et al. Biofilm dissolution and cleaning ability of different irrigant solutions on intraorally infected dentin. *Journal of Endodontics*. 2011;37(8):1134-1138.
128. Gao Y, Jiang X, Lin D, Chen Y, Tong Z. The Starvation Resistance and Biofilm Formation of *Enterococcus faecalis* in Coexistence with *Candida albicans*, *Streptococcus gordonii*, *Actinomyces viscosus*, or *Lactobacillus acidophilus*. *Journal of Endodontics*. 2016;42(8):1233-1238.
129. Azim AA, Griggs JA, Huang GT. The Tennessee study: factors affecting treatment outcome and healing time following nonsurgical root canal treatment. *International endodontic journal*. 2016;49(1):6-16.
130. Fransson H, Dawson VS, Frisk F, Bjørndal L, Kvist T. Survival of Root-filled Teeth in the Swedish Adult Population. *Journal of Endodontics*. 2016;42(2):216-220.
131. Gomes AC, Nejaim Y, Silva AI, Haiter-Neto F, Cohenca N, Zaia AA, et al. Influence of Endodontic Treatment and Coronal Restoration on Status of Periapical Tissues: A Cone-beam Computed Tomographic Study. *Journal of Endodontics*. 2015;41(10):1614-1618.
132. Craveiro MA, Fontana CE, de Martin AS, Bueno CE. Influence of coronal restoration and root canal filling quality on periapical status: clinical and radiographic evaluation. *Journal of Endodontics*. 2015;41(6):836-840.
133. Linnemann T, Kramer EJ, Schwendicke F, Wolf TG, Meyer-Lueckel H, Wierichs RJ. Longevity and Risk Factors of Post Restorations after up to 15 Years: A Practice-based Study. *Journal of Endodontics*. 2021;47(4):577-584.

134. Maddalone M, Gagliani M, Citterio CL, Karanxha L, Pellegatta A, Del Fabbro M. Prevalence of vertical root fractures in teeth planned for apical surgery. A retrospective cohort study. *International endodontic journal*. 2018;51(9):969-974.
135. Ferrari M, Cagidiaco MC, Grandini S, De Sanctis M, Goracci C. Post placement affects survival of endodontically treated premolars. *Journal of dental research*. 2007;86(8):729-734.
136. Juloski J, Radovic I, Goracci C, Vulicevic ZR, Ferrari M. Ferrule effect: a literature review. *Journal of Endodontics*. 2012;38(1):11-19.
137. Ferrari M, Cagidiaco MC, Goracci C, Vichi A, Mason PN, Radovic I, et al. Long-term retrospective study of the clinical performance of fiber posts. *American Journal of Dentistry*. 2007;20(5):287-291.
138. Martino N, Truong C, Clark AE, O'Neill E, Hsu SM, Neal D, et al. Retrospective analysis of survival rates of post-and-cores in a dental school setting. *The Journal of prosthetic dentistry*. 2020;123(3):434-441.
139. Naumann M, Blankenstein F, Dietrich T. Survival of glass fibre reinforced composite post restorations after 2 years-an observational clinical study. *Journal of dentistry*. 2005;33(4):305-312.
140. Naumann M, Blankenstein F, Kiessling S, Dietrich T. Risk factors for failure of glass fiber-reinforced composite post restorations: a prospective observational clinical study. *European journal of oral sciences*. 2005;113(6):519-524.
141. Opdam NJ, Bronkhorst EM, Loomans BA, Huysmans MC. 12-year survival of composite vs. amalgam restorations. *Journal of dental research*. 2010;89(10):1063-1067.
142. Schwendicke F, Blunck U, Tu YK, Göstemeyer G. Does Classification of Composites for Network Meta-analyses Lead to Erroneous Conclusions? *Operative dentistry*. 2018;43(2):213-222.
143. Naumann M, Sterzenbach G, Dietrich T, Bitter K, Frankenberger R, von Stein-Lausnitz M. Dentin-like versus Rigid Endodontic Post: 11-year Randomized Controlled Pilot Trial on No-wall to 2-wall Defects. *Journal of Endodontics*. 2017;43(11):1770-1775.
144. Sterzenbach G, Franke A, Naumann M. Rigid versus flexible dentine-like endodontic posts - clinical testing of a biomechanical concept: seven-year results of a randomized controlled clinical pilot trial on endodontically treated abutment teeth with severe hard tissue loss. *Journal of Endodontics*. 2012;38(12):1557-1563.
145. Santos AF, Meira JB, Tanaka CB, Xavier TA, Ballester RY, Lima RG, et al. Can fiber posts increase root stresses and reduce fracture? *Journal of dental research*. 2010;89(6):587-591.
146. Thyvalikakath T, LaPradd M, Siddiqui Z, Duncan WD, Eckert G, Medam JK, et al. Root Canal Treatment Survival Analysis in National Dental PBRN Practices. *Journal of dental research*. 2022.

147. Bühl A. SPSS23: Einführung in die moderne Datenanalyse. Hallbergmoos: Pearson Deutschland GmbH; 2016. 38-41, 65, 458-459.
148. Kleinbaum DG, Klein M. Survival Analysis: A Self-Learning Text. New York: Springer; 2012. 55-96.
149. Hosmer DW, Lemeshow S, May S. Applied Survival Analysis: Regression Modeling of Time-to-Event Data, Second Edition. New York: John Wiley & Sons; 2008. 47-48.
150. Backhaus K, Erichson B, Plinke W, Weiber R. Multivariate Analysemethoden: Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin, Heidelberg: Springer Gabler; 2016. 283-285.
151. Ray HA, Trope M. Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. International endodontic journal. 1995;28(1):12-18.
152. Setzer FC, Boyer KR, Jeppson JR, Karabucak B, Kim S. Long-term prognosis of endodontically treated teeth: a retrospective analysis of preoperative factors in molars. Journal of Endodontics. 2011;37(1):21-25.
153. Ng YL, Mann V, Gulabivala K. A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival. International endodontic journal. 2011;44(7):610-625.

Danksagung

Ich möchte mich herzlich bei allen bedanken, die mich bei der Erstellung dieser Doktorarbeit unterstützt haben.

Insbesondere gilt mein Dank meiner Promotionsbetreuerin..., die es überhaupt erst ermöglicht hat, dass ich diese Arbeit schreiben konnte und mich während dieser Zeit stets unterstützt hat.

Darüber hinaus möchte ich mich bei ... bedanken, der mich bei allen statistischen Fragen und Auswertungen unterstützt hat.

Zuletzt möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden für die moralische Unterstützung bedanken.