

Aus dem Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Analyse der Qualität und des Erfolges von Wurzelkanalbehandlungen
in der studentischen Ausbildung an der Charité – Universitätsmedizin
Berlin

zur Erlangung des akademischen Grades

Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Zahnärztin Felicitas Katharina Erika Hölken

aus Ludwigshafen am Rhein

Datum der Promotion: 25.06.2017

Quidquid agis, prudenter agas et respice finem

(Gesta romanorum 103, Äsop fabulae 9 Halm 45,)

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen	V
Verzeichnis der Abbildungen	VI
Verzeichnis der Tabellen	VII
Abstrakt	VIII
Abstract	X
1. Einleitung	1
1.1 Definition, Indikation und Epidemiologie der Wurzelkanalbehandlung	1
1.2 Ziele einer Wurzelkanalbehandlung	3
1.3 Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen	7
1.4 Aufbereitungssysteme von Wurzelkanalbehandlungen	9
1.5 Röntgenbilder bei Wurzelkanalbehandlungen	12
1.6 Qualität der Wurzelkanalfüllung	13
1.7 Fragestellung und Hypothesen	17
2. Methodik	19
2.1 Ethikvotum und Datenhandhabung	19
2.2 Radiographische Evaluation	20
2.3 Ablauf der Wurzelkanalbehandlung	25
2.4 Statistische Methoden	26
3. Ergebnisse	32
3.1 Deskriptive Statistik	32
3.2 Ergebnisse der ordinalen logistischen Regression	38
3.2.1 Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung	38
3.2.2 Einfluss auf die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung	44
3.2.2.1 Einfluss auf die Länge einer Wurzelkanalfüllung	44
3.2.2.2 Einfluss auf die Homogenität einer Wurzelkanalfüllung	47
3.2.2.3 Einfluss auf den Verlauf einer Wurzelkanalfüllung	51
4. Diskussion	54
4.1 Diskussion der Methodik	54
4.1.1 Zusammensetzung des Patientengutes	54
4.1.2 Studiendesign:	54
4.1.3 Statistik	58
4.2 Diskussion der Ergebnisse	61
4.2.1 Deskriptive Ergebnisse	61
4.2.1.1 Deskriptive Ergebnisse des Erfolges	61
4.2.1.2 Deskriptive Ergebnisse der Länge	64
4.2.1.3 Deskriptive Ergebnisse der Homogenität	65
4.2.1.4 Deskriptive Ergebnisse des Verlaufs	66
4.2.2 Ordinale logistische Regressionsanalyse	67

4.2.2.1	Ordinale logistische Regressionsanalyse auf den Erfolg	67
4.2.2.2	Ordinale logistische Regressionsanalyse des Einflusses auf die Länge	74
4.2.2.3	Ordinale logistische Regressionsanalyse des Einflusses auf die Homogenität ...	75
4.2.2.4	Ordinale logistische Regressionsanalyse des Einfluss auf den Kanalverlauf.....	76
4.3	Schlussfolgerung und Ausblick	78
5.	Literaturverzeichnis:.....	80
6.	Eidesstattliche Versicherung	90
7.	Lebenslauf.....	91
8.	Danksagung	92

Verzeichnis der Abkürzungen

AAE	American Association of Endodontics
AGET	Arbeitsgruppen Endodontologie und Traumatologie
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V.
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ESE	European Society of Endodontology
FM	FlexMaster
ISO	International Organization for Standardization
KZBV	Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung
n	Anzahl
NaOCl	Natriumhypochlorit
OK	Oberkiefer
p	Signifikanzwert
P.a.	Parodontitis apicalis
PAI	Periapicaler Index
PTN	ProTaper Next
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences
UK	Unterkiefer

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1 Röntgenaufnahmen von prozeduralen Fehlern bei der Aufbereitung von Wurzelkanälen.	7
Abbildung 2 Periapikaler Index nach Ørstavik et al. 1986 [2].	13
Abbildung 3 Fließdiagramm des Studiendesigns. *=Datensätze pro Patientenfall.	20
Abbildung 4 Kriterien 4-1 der Länge einer Wurzelfüllung, visualisiert durch Röntgenbilder.	21
Abbildung 5 Kriterien 4-1 der Homogenität einer Wurzelfüllung, visualisiert durch Röntgenbilder.....	22
Abbildung 6 Kriterien 4-1 des Verlaufs einer Wurzelfüllung, visualisiert durch Röntgenbilder.	23
Abbildung 7 Periapikaler Index nach Ørstavik et al.[2] visualisiert durch Röntgenbildern.....	24
Abbildung 8 Säulendiagramm: Verteilung des Patientengeschlechts.	32
Abbildung 9 Säulendiagramm: Verteilung der Altersklassen der Patienten.	33
Abbildung 10 Kreisdiagramm: Darstellung der verwendeten Aufbereitungstechnik mit FM und PTN.	34
Abbildung 11 Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Längenkategorien.	35
Abbildung 12 Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Homogenitätskategorien.	36
Abbildung 13 Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Verlaufskategorien.	36
Abbildung 14 Gruppiertes Säulendiagramm: Darstellung der Verteilung der periapikalen Indizes zum Zeitpunkt des Ausgangsbefundes und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.....	37

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1 Kriterien zum Ausgang einer Wurzelkanalbehandlung anhand des PAI nach Ørstavik et al. [2].	24
Tabelle 2 Abhängige und unabhängige Variablen für den Einfluss auf den Erfolg und die Qualität (Länge, Homogenität, Verlauf) einer Wurzelkanalbehandlung.	27
Tabelle 3 Verteilung der Häufigkeiten in Quadranten und Zahntypen.	33
Tabelle 4 Verteilung der Ergebnisse der Wurzelkanalbehandlungen in drei Kategorien.	38
Tabelle 5 Univariate Modelle mit der Zielvariable Erfolg: Darstellung der signifikanten und nicht signifikanten Variablen als Gesamtvariable.	40
Tabelle 6 Univariate Modelle: Darstellung der signifikanten Variablen in Kategorien mit Regressionskoeffizient, p-Wert und Odds Ratio.	40
Tabelle 7 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung.	43
Tabelle 8 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. „Likelihood-ratio Test“, „Goodness of fit Test“ und „Pseudo-R ² “ Werte.	43
Tabelle 9 Univariate Modelle der Zielvariable Länge: Darstellung der signifikanten und nicht signifikanten Variablen als Gesamtvariable.	45
Tabelle 10 Univariate Modell: Darstellung der signifikanten Variablen in Kategorien mit Regressionskoeffizient, p-Wert und Odds Ratio.	45
Tabelle 11 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf die Länge einer Wurzelkanalfüllung.	46
Tabelle 12 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf die Länge einer Wurzelkanalfüllung. „Likelihood-Ratio Test“, „Goodness of fit Test“ und „Pseudo-R ² “ Werte.	46
Tabelle 13 Univariate Modelle der Zielvariable Homogenität: Darstellung der signifikanten und nicht signifikanten Variablen als Gesamtvariable.	48
Tabelle 14 Univariate Modell: Darstellung der signifikanten Variablen in Kategorien mit Regressionskoeffizient, p-Wert und Odds Ratio.	48
Tabelle 15 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf die Homogenität einer Wurzelkanalfüllung.	50
Tabelle 16 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf Homogenität einer Wurzelkanalbehandlung. „Likelihood-Ratio Test“, „Goodness of fit Test“ und „Pseudo-R ² “ Werte.	50
Tabelle 17 Univariate Modelle des Verlaufes: Darstellung der signifikanten und nicht signifikanten Variablen als Gesamtvariable.	52
Tabelle 18 Univariate Modell: Darstellung der signifikanten Variablen in Kategorien mit Regressionskoeffizient, p-Wert und Odds Ratio.	52
Tabelle 19 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf den Verlauf einer Wurzelkanalfüllung.	53
Tabelle 20 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf den Verlauf einer Wurzelkanalbehandlung. „Likelihood-ratio Test“, „Goodness of fit Test“ und „Pseudo-R ² “ Werte.	53

Abstrakt

Einleitung

Das Fachgebiet der Endodontologie gewinnt mit wachsender Bedeutung des Zahnerhaltes zunehmend an Interesse. Ziel einer Wurzelkanalbehandlung ist die chemo-mechanische Aufbereitung des Kanalsystems mit einem sich anschließenden dichten Verschluss. Inwiefern die Qualität und der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung von Patienten bezogenen und anderen Parametern *in vivo* beeinflusst werden, soll in dieser Arbeit retrospektiv anhand von Daten aus der studentischen Ausbildung der Charité – Universitätsmedizin Berlin geprüft werden.

Methodik

Das Datenmaterial von November 2011 bis Januar 2016 wurde pseudonymisiert aus der institutseigenen Datenbank exportiert. In die Analyse eingeschlossen wurden n=278 Molaren, bei denen mindestens ein Recallröntgenbild vorlag. Die Wurzelkanalbehandlungen wurden von Studierenden des 7. bis 10. Semesters der Charité – Universitätsmedizin Berlin durchgeführt. Der Erfolg wurde nach den Leitlinien der ESE [1] röntgenologisch durch den Vergleich des PAI nach Ørstavik et al. [2] zwischen präoperativen- und Recallröntgenbild bewertet. Die Qualität der Wurzelkanalbehandlung wurde durch die Länge, die Homogenität und den Verlauf der Wurzelfüllung evaluiert. Um den Einfluss der erhobenen unabhängigen Variablen (Patientenalter, PAI, Patientengeschlecht, Studierendengeschlecht, Zahntypus, Aufbereitungssystem) auf den Erfolg und die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung zu modellieren, erfolgte eine ordinale logistische Regression. Das Signifikanzniveau wurde bei $\alpha=0,05$ festgelegt. Die Güte der Regressionsanalyse wurde mit dem „Pseudo R²“, dem „Likelihood-ratio Test“ und dem „Goodness of fit Test“ überprüft.

Ergebnisse

Der stärkste erfolgsbeeinflussende Faktor stellt der präoperativ ermittelte PAI dar ($p<0,001$). Weiter wird der Erfolg durch die Länge ($p=0,033$), den Kanalverlauf ($p=0,040$) und durch die Lokalisation des Quadranten ($p=0,016$) beeinflusst. Die Länge einer Wurzelkanalfüllung wird signifikant durch den Verlauf einer Wurzelfüllung ($p=0,001$) beeinflusst. Der Verlauf ($p<0,001$)

erweist sich ebenso wie das Patientenalter ($p=0,001$) als signifikant beeinflussende Faktoren der Homogenität einer Wurzelfüllung. Der Verlauf selbst wird durch den Zahntypus Molaren ($p=0,018$) und dem Aufbereitungssystem signifikant beeinflusst, wobei in diesem Zusammenhang ein signifikanter Unterschied zwischen dem ProTaper Next-System und dem FlexMaster-System ermittelt werden kann ($p=0,034$) (OR=1,600 CI=1,035-2,472).

Schlussfolgerung

Der initiale PAI als bedeutendster prognostischer Faktor des Erfolges und die Lokalisation des Zahnes im Zahnbogen stellen patientenabhängige Faktoren dar. Erste Einschätzungen über einen möglichen Therapieerfolg können getroffen und mit dem Patienten ausgetauscht werden. Während Faktoren, wie die Länge und der Verlauf der Wurzelfüllung aktiv durch den Zahnarzt beeinflusst werden, können diese den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung lenken. Unter Vorbehalt kann geschlussfolgert werden, dass die Länge und die Homogenität maßgeblich durch den Verlauf beeinflusst wird. Weiter ist vorsichtig anzunehmen, dass Studierende im Bezug auf den Erhalt des originalen Kanalverlaufes ein besseres Ergebnis mit dem ProTaper Next-System erzielen.

Abstract

Introduction

The interest of Endodontology has increased in recent years. The aim of RCT is the chemo-mechanical debridement of the canal followed by a compact seal. How patient-specific and non-specific factors are influencing *in vivo* the success and the quality of a RCT is retrospectively investigated, using data from undergraduate students at Charité–Universitätsmedizin Berlin.

Methods

Cases from November 2011 until January 2016 were extracted anonymized from the institutional database. Recorded cases were screened for RCTs on molars including recall information and resulted in n=278 molars. RCTs have been performed by students in their fourth and fifth year. Success was defined by the radiographic aspects of the ESE guidelines [1] by comparing pre-operative with follow-up PAI scores. Each root was characterized by the periapical scoring-system. The quality was evaluated by length, homogeneity and shape of the root canal filling. The predictive values of tooth-specific and patient-specific factors (age, PAI, gender, preparation-system, type) were assessed by including these factors as independent variables in an ordinal logistic regression analysis to determine influencing factors for success and quality. The Level of significance was defined as $\alpha \leq 0.05$. The fit of the final regression analysis was examined by the 'likelihood-ratio test', 'goodness of fit test' and 'pseudo-R²'.

Results

The most important factor influencing the success of a RCT is the PAI scoring system ($p < 0,001$). Further analysis revealed that length ($p = 0.033$), shape ($p = 0.040$) and localization of the tooth ($p = 0.016$) are also influencing the success.

When analyzing the influence of several factors on the length, shape was found to be the only explanatory variable ($p = 0.001$). The final ordinal logistic regression assumption for homogeneity indicated shape ($p < 0,001$) and age ($p = 0.001$) as influencing factors.

Tooth type showed a significant influence on the shape of a RCT ($p = 0.018$). Furthermore, the preparation system influenced the shape significantly and the PTN-system had a significant different outcome compared to the FM-system ($p = 0.034$)(OR=1.600).

Conclusion

The PAI is the most important influencing factor for the success. With the localization of teeth, both are patient-specific factors. While initial evaluations about the success of RCT can be discussed with the patient, factors like length and shape can be changed independently by the dentist and consequently affect the outcome. It may be carefully concluded that the length and homogeneity of a RCT is influenced by the shape. Those findings indicate a higher probability in achieving a better quality for endodontic beginners in maintaining the original shape using the PTN-system.

1. Einleitung

1.1 Definition, Indikation und Epidemiologie der Wurzelkanalbehandlung

Als Fachgebiet der Zahnmedizin beschäftigt sich die Endodontologie mit der Funktion, der Form und der Gesundheit der Pulpa und des periapikalen Gewebes. Neben Diagnose und Ätiologie von Pathogenitäten umfasst sie Prävention und Behandlung dieser. Nach einer etwaigen akuten Schmerzbeseitigung stehen die zahnerhaltenden Behandlungsmaßnahmen im Vordergrund, welche vor einer Extraktion des Zahnes schützen soll. Die Endodontologie stellt ein technisch anspruchsvolles Fachgebiet der konservativen Zahnheilkunde dar. Es werden die konventionelle und die chirurgische Therapie im Rahmen einer Wurzelspitzenresektion unterschieden. Die konventionelle Behandlung lässt sich weiter in die Erstbehandlung und in die Revisionsbehandlung gliedern. Der Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung setzt sich aus der Aufbereitung, der Desinfektion und der Obturation zusammen.

Die Europäische Gesellschaft für Endodontologie (ESE) hat Indikationen definiert, bei der eine Wurzelkanalbehandlung durchgeführt wird [1]. Bei irreversibel geschädigten oder nekrotischen Pulpitiden, welche mit oder ohne klinischen und / oder röntgenologischen Zeichen einer apikalen Parodontitis auftreten, werden Wurzelkanalbehandlungen durchgeführt. Wahlweise werden sie vor einer bevorstehenden Hemisektion oder Wurzelamputation vollzogen. Ebenso restaurative Arbeiten, bei denen der Zustand der Pulpa zweifelhaft ist, oder bei einer Präparation eine Perforation vermutet wird (auf Grund einer Zahnfehlstellung), geben Anlass zu einer endodontischen Therapie. Werden Halteelemente wie z.B. Magnete oder Kugelknopfanker in einer kombinierten prothetischen Arbeit verwendet, so ist eine Kürzung des Zahnes notwendig, die mit einer Devitalisation und einer Wurzelkanalbehandlung einhergeht [1].

Die Zahlen des statistischen Jahresberichtes der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung (KZBV) von 2015 beschreiben einen Rückgang von Extraktionen zwischen 1970 und 2014 um 38,41% (Alte Bundesländer) [3]. Möglicherweise deutet dies auf eine Zunahme der konservierenden Behandlungen hin. So verzeichnet derselbe Bericht 7,103 Millionen durchgeführte Wurzelkanalbehandlungen im Jahr 2014 in Deutschland. Das sind 51% mehr Wurzelkanalbehandlungen als vor 34 Jahren (Alte Bundesländer) [3].

Ogleich sich in den westlichen Industrieländern die Kariesaktivität von Kindern und Jugendlichen deutlich verringert hat [4], ist deutlich, dass Karies nach wie vor die häufigste

Ursache für eine Wurzelkanalbehandlung ist [4, 5]. Der kariösen Infektion folgt häufig eine Parodontitis apicalis, die letztendlich zu einer Wurzelkanalbehandlung führt.

Die Parodontitis apicalis zählt zu den am weitesten verbreiteten (Infektions)Krankheiten weltweit [6]. Studien zufolge nimmt die Anzahl der Patienten mit Parodontitis apicalis mit steigendem Alter zu [6]. Die 5. Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V) ist eine sozial-epidemiologische Arbeit, die im August 2016 veröffentlicht wurde [7]. Sie stellt eine repräsentative Lage über die orale Gesundheit in verschiedenen Alterspopulationen in Deutschland vor [7]. Gegenüber den vergangenen Mundgesundheitsstudien besitzen immer mehr Menschen feste Zähne in höherem Lebensalter. Im Rahmen des demographischen Wandels lässt sich abzeichnen, dass die Anzahl der über 65-Jährigen in der deutschen Bevölkerung bis zum Jahre 2030 um 28% ansteigen wird. Zur Zeit (2016) macht diese Alterspopulation 21% der Gesamtbevölkerung Deutschlands aus [7]. Im Vergleich zu den vergangenen Mundgesundheitsstudien leben mehr Senioren im höherem Alter in Deutschland mit der Tendenz immer mehr eigene Zähne aufzuweisen [7]. In Anbetracht der Tatsache, dass die Prävalenz der Parodontitis apicalis mit zunehmenden Alter steigt [6], wird deutlich, dass die Endodontologie mehr und mehr in den Fokus der Zahngesundheit rücken wird.

1.2 Ziele einer Wurzelkanalbehandlung

Das Ziel der endodontischen Behandlung ist es, den funktionellen Erhalt eines Zahnes sicherzustellen, ohne dabei die Gesundheit des Patienten zu beeinträchtigen [1].

Mikroorganismen sind für die Entstehung und Entwicklung von Pulpitiden und periapikalen Läsionen entscheidend. Daher ist die Elimination dieser aus dem Kanal von bedeutendem Interesse [8].

Die folgenden Ziele einer Wurzelkanalaufbereitung sind 2006 durch die ESE definiert worden [1]:

- Entfernung von pulpalem Gewebe,
- Eliminierung von Mikroorganismen,
- Entfernung von Debris,
- Instrumentelle Aufbereitung, sodass der Kanal desinfiziert und gefüllt werden kann,
- der präparierte Kanal soll den originalen Kanal umschließen,
- die apikale Konstriktion soll erhalten bleiben,
- der Kanal soll nach apikal verjüngend verlaufen,
- der Kanal soll konisch von koronal nach apikal verlaufen,
- die Aufbereitung sollte unter ausreichender Spülung stattfinden,
- die finale Länge soll eingehalten werden.

Zusammenfassend soll der Zustand einer Asepsis im Kanalsystem gewahrt werden oder falls dieses bereits bakteriell besiedelt ist, es sorgfältig desinfiziert werden [1]. Die chemo-mechanische Aufbereitung ist ein wichtiger Schritt zur Desinfektion von Wurzelkanälen, welche den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung maßgeblich beeinflusst [9]. Auf chemischem Wege gelingt dies durch die Benutzung von Spüllösungen und Medikamenten. Mechanisch wird ein Abtrag von infiziertem Dentin und pulpalem bzw. nekrotischen Geweberesten durch entsprechende Instrumente forciert [10]. Gemeinsames Ziel beider Techniken ist die Elimination von Mikroorganismen [11].

Für einige Autoren stellt die instrumentelle Aufbereitung der Wurzelkanäle die wichtigste Rolle im Behandlungsablauf dar [12-14]. So konnten Anders Byström und Göran Sundqvist mit einem

Versuch aus dem Jahre 1981 zeigen, dass die mechanische Instrumentierung bakteriell infizierter Wurzelkanäle zu einer Reduktion der Mikroorganismen führt [15]. Die Wurzelkanäle wurden mit physiologischer Kochsalzlösung gespült und mit Edelstahlfeilen aufbereitet. Zu Beginn waren die Kanäle mit 10^4 - 10^6 Bakterienzellen infiziert. Im Anschluss ihres Versuches war die Zellanzahl um 10^2 - 10^3 reduziert [15]. Dass in diesem Versuch dennoch positive Kulturen im Wurzelkanal verblieben sind macht den Gebrauch von antibakteriellen Spüllösungen neben der mechanischen Präparation für die Reduktion von Mikroorganismen enorm wichtig. Um eine ausreichende Desinfektion zu gewährleisten muss der Kanal so weit aufbereitet sein, dass die Spülkanüle spannungsfrei in den Kanal eingeführt werden kann [10].

Mit dieser und anderen Anforderungen an die Formgebung eines präparierten Wurzelkanals befasste sich Herbert Schilder bereits in dem Jahre 1974 [13]. In seinem Thesenpapier „Cleaning and shaping the root canal“ (1974) verfasste er Anforderungen an eine optimale Formgebung von Wurzelkanälen [13].

Eine seiner Forderungen geht der **„konisch verlaufenden Aufbereitung des Wurzelkanals, die von koronal nach apikal verjüngend läuft“** nach [13]. Die konische Gestaltung des Kanals ermöglicht dem Behandelnden die Instrumente ausreichend tief und ohne Verklebung bis in apikale Bereiche zu führen [16]. Dies begünstigt die Desinfektion und die Obturation. Die Form dient als Resistenz bei lateraler oder vertikaler Kompaktion der Guttapercha. Ein lateral aufgewendeter Kondensationsdruck wird auch apikal wirksam und umgekehrt. Somit wird die Qualität der Obturation verbessert und die verjüngende Gestaltung wirkt einer Extrusion des Füllmaterials entgegen [16]. Kann die Forderung nach einem konischen Verlauf nicht eingehalten werden, kommt es zwangsläufig zu einem Kontakt zwischen Obturationsinstrument und Kanalwand. Im schlimmsten Fall kann dies durch die auftretende Kraft zu einer Wurzelfraktur führen [16].

„Das apikale Foramen soll nicht verlagert werden“ [13]. Verlagerungen des apikalen Foramen können zu Perforationen und Deformationen (Teardrop) führen. Folglich heilen die Entzündungen nicht vollständig aus und die Beschwerden bleiben bestehen [16]. Verlagerungen des apikalen Abschnittes führen zu Aufbereitungsfehlern wie elliptischen Foramina (rip-, zip- oder tear-Deformationen) [11]. Wu et al. haben gezeigt, dass eine Verlagerung des apikalen Foramens sich negativ auf den Verschluss des Kanals auswirkt, der mit der lateralen Kompaktionstechnik gefüllt wird [17].

„Die Präparation soll dem Verlauf des originalen Kanals folgen“ [13]. Die Wurzelkanalpräparation sollte möglichst den ursprünglichen anatomischen Verlauf enthalten. Besonders gilt diese Forderung für den apikalen Abschnitt, da hier die dünne Dentinschicht keinen „Spielraum für Abweichungen“ zulässt [16]. Wurzelkanalabschnitte, die nicht ausreichend aufbereitet worden sind, werden ungenügend desinfiziert und können in Komplikationen wie Stufen, Perforation oder Ausdünnungen der Kanäle führen [11].

„Das apikale Foramen sollte so klein wie nur möglich gehalten werden“ [13]. Das apikale Ende der Aufbereitung soll so klein wie möglich gehalten werden, um die Extrusion von Wurzelfüllmaterial zu verhindern [16]. Demgegenüber steht die Forderung bei nekrotisch infizierten Zähnen einen ausreichenden Substanzabtrag zu gewährleisten, um den apikalen Abschnitt von infiziertem Material zu säubern [16].

Durch die Einführung von Instrumenten aus Nickel-Titan-Legierungen (NiTi) in den 80er Jahren durch Walia et al. [18] und drehmomentbegrenzten Motoren hat sich die Präparation von Wurzelkanalsystemen vereinfacht. Dennoch stellen morphologisch anspruchsvolle Wurzelkrümmungen Herausforderungen im Gebiet der Endodontologie dar. So visualisierte erstmals die Studie von Weine et al. in einem *in vitro* Versuch mit 80 gekrümmten Kanälen die Präparationsfehler, die bei der Aufbereitung von gekrümmten Kanälen entstehen (können) [12]. Obwohl die verwendeten Instrumente vorgebogen wurden, fand eine Begradigung aller Kanäle statt. Ermöglicht die Zugangskavität keine spannungsfreie Passage des Instruments und ist der mittlere Kanalabschnitt nicht ausreichend konisch aufbereitet, erhöht dies die Auslenkung besonders bei Instrumenten mit mangelnder Flexibilität im apikalen Abschnitt [16]. Aus dieser Begradigung können tränenförmige oder elliptische Foramina und sogar Perforationen hervorgehen [9, 16]. Begradigungen des Kanals gehen mit einem hohen Dentinabtrag an der Außenfläche des Kanals und im mittleren Bereich an der Innenseite einher [9]. Nicht selten entsteht auch eine Blockade des Wurzelkanals durch apikalwärts transportierte Dentinspäne, welche durch mangelnde Entfernung im Laufe der Kanalaufbereitung irreversibel verdichtet wird. Durch die Verblockung resultiert eine verkürzte Arbeitslänge, die apikal noch infiziertes Material enthalten kann. Dieses Gebiet kann nicht ausreichend desinfiziert werden. Die Perforation durch die Wurzel hinterlässt eine Verbindung zwischen dem Wurzelkanalsystem und dem umgebenden Gewebe. Dies kann eine Infektion aufrecht erhalten oder neu entflammen [9]. Die Perforation stellt somit den verheerendsten Aufbereitungsfehler dar.

Unbearbeitete Gebiete oder Verlagerungen können häufig nur schwer bis gar nicht trocknen und neigen zu persistierenden Beschwerden [16]. Eine gute Darstellung der Kanaleingänge mit einem konischen Zugang, vorgebogene Instrumente, regelmäßiges Rekapitulieren und Spülen führen zu einer vereinfachten Aufbereitung [16].

Bei der mechanischen Präparation entstandene Komplikationen können ungeachtet vom verwendeten Wurzelfüllmaterial und Technik zu weitreichenden Schwierigkeiten für den Behandlungserfolg eines Zahnes führen [12, 13]. Nicht zuletzt kann dies eine Wurzelspitzenresektion oder die Extraktion des Zahnes nach sich ziehen. Durch die unzureichende Aufbereitung ist ein hermetischer Verschluss mit Wurzelfüllmaterialien nicht möglich [12]. Mikroorganismen können verweilen und den Heilungsvorgang vermindern. Werden die mechanischen Ziele umgesetzt, so ist auch eine Desinfektion und dreidimensionale Füllung der Kanäle möglich. Ein weiterer Fehler, der bei der mechanischen Aufbereitung entstehen kann, ist der Bruch eines Instrumentes im Kanal. Meist ist die Ermüdung (ductile failure) und Überbeanspruchung (torsional fracture) der Instrumente für den Bruch verantwortlich, weniger ein Materialversagen [19]. Die Entfernung des abgebrochenen Instrumentes stellt eine anspruchsvolle und zeitintensive Aufgabe in der Praxis dar. Nicht selten ist eine Bergung der Instrumente unmöglich und sie verbleiben im Kanal. Häufig gehen ein Verlust der Arbeitslänge und eine unzureichende Desinfektion und Füllung einher [20]. Eine Studie von Spili et al. untersuchte zwischen den Jahren 1990 bis 2003 in Australien den Einfluss von Instrumentenfrakturen auf den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen [21]. Demnach haben verbliebene Instrumentenspitzen keinen signifikanten Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung [21]. Die Prognose ist abhängig vom periapikalen Status [21]. Ebenso wird in der gemeinsamen Stellungnahme der Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ), der Arbeitsgruppen Endodontologie und Traumatologie (AGET) und der Deutschen Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde e.V. (DGZMK) zur „die Fraktur von Wurzelkanalinstrumenten“ kein prognostischer Unterschied für frakturierte Instrumente postuliert [19].

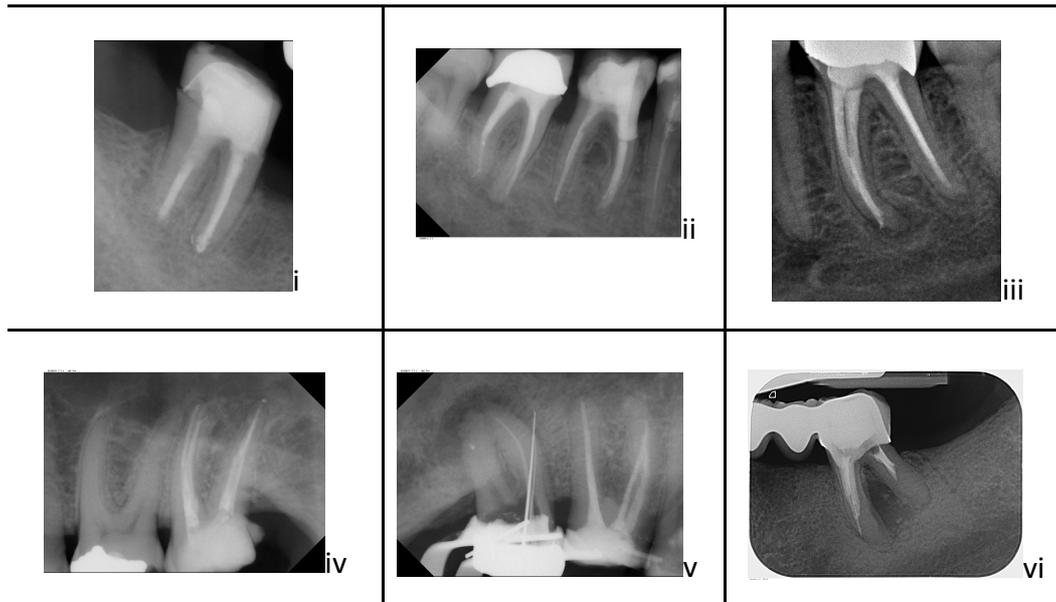


Abbildung 1 Röntgenaufnahmen von prozeduralen Fehlern bei der Aufbereitung von Wurzelkanälen.

- i: Zahn 46: apikal elliptische Deformation der mesialen Wurzel.
- ii: Zahn 47: Distale Wurzel mit abgebrochener Instrumentenspitze. Mesiale Wurzel von ursprünglichen Kanalverlauf abgekommen, via falsa.
- iii: Zahn 36: Instrumentenfraktur mit Perforation der mesialen Wurzel.
- iv: Zahn 27: Abgebrochene Instrumentenspitze im mesiopalatinalen Kanal. Überstopftes Füllmaterial an distaler Wurzel.
- v: Zahn 17: Perforation bei einer Längenmessbestimmung mit Silberstiften
- vi: Zahn 36: mesiale Wurzel mit abgebrochener Instrumentenspitze. Kanäle nicht konisch und kontinuierlich aufbereitet. Originaler Kanalverlauf nicht beibehalten. Füllungen sind zu kurz.

1.3 Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen

Viele Untersuchungen befassen sich mit der Thematik des Erfolges von Wurzelkanalbehandlungen [22]. Erfolgsquoten von 62,8% [23], 70-80% [24] und bis zu über 90% [22, 25-27] wurden berichtet. Die Chance eines Zahnes nach einer initialen Wurzelkanalbehandlung oder einer Revisionsbehandlung ohne vorherige Parodontitis apicalis auszuheilen beträgt nach Friedman et al. 92-98% [28]. Liegt hingegen eine Parodontitis apicalis vor, so sinkt die Chance einer Ausheilung auf 74-86% [28]. Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist multifaktoriell bedingt. Die Behandlung beruht auf der Beseitigung von Mikroorganismen aus dem Kanalsystem und dem Verschluss des Kanals mit einer Wurzelfüllung, die eine Rekolonisation bzw. Ausbreitung verbliebener Mikroorganismen verhindert. Ob der Erfolg einer Behandlung eintritt, ist von der zuvor gewählten Definition abhängig. Kriterien, die den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung beschreiben sind bis heute nicht einheitlich definiert. Einige Autoren beziehen sich nur auf klinische, andere nur auf

röntgenologische und wieder andere benutzen beide Bewertungskriterien. Da eine einheitliche Beschreibung fehlt, ist der Vergleich zwischen Studienergebnissen nur schwierig möglich. Erschwerend kommt hinzu, dass einige Studien strengere Bewertungskriterien haben als andere.

Das Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung lässt sich nach den Richtlinien der ESE und der Stellungnahme der DGZMK in die folgenden drei Kategorien einteilen [1, 27]:

Erfolgreiches Ergebnis

Darunter wird das Ausbleiben von Schmerzen, Schwellungen und anderen klinischen Symptomen verstanden. Der Zahn befindet sich in einem funktionellen, einwandfreien Zustand. Der Parodontalspalt ist durchgehend von physiologischer Breite dargestellt. Resorptive Vorgänge sollten zum Stillstand gekommen sein.

Unsicheres Ergebnis

Der Patient weist keine Symptome auf. Die periapikale Läsion hat sich in ihrer Größe nicht verändert oder in ihrer Größe verringert. Das Behandlungsergebnis ist noch unsicher und sollte weiter nachuntersucht werden, bis das Ergebnis eindeutig ist oder zumindest für einen Zeitraum von vier Jahren beobachtet werden. Wenn die Läsion nach den vier Jahren noch existiert, ist diese wahrscheinlich nach der Behandlung entstanden („post treatment disease“).

Ungünstiges Ergebnis

Der wurzelkanalbehandelte Zahn weist Zeichen und Symptome einer endodontisch bedingten Infektion auf. Es kann zu einer Neubildung einer periradikulären Läsion oder Vergrößerung einer bisherigen Läsion gekommen sein. Möglicherweise Zeichen einer externen progressiven Resorption.

1.4 Aufbereitungssysteme von Wurzelkanalbehandlungen

Die Entwicklung von Nitinol im Jahre 1958 durch den Metallurgisten William F. Buehler (Naval Ordnance Laboratory, Silversprings, Maryland, USA) [29] fand zunächst in der Kieferorthopädie Verwendung und wurde in den 1980er Jahren durch Wallia et al. [18] in die Endodontologie eingeführt. Die größere Flexibilität gegenüber den Edelmetallinstrumenten ermöglichte die maschinelle Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle [30]. Der Begriff Nitinol ist ein Akronym und setzt sich aus den Elementen **N**ickel und **T**itan, so wie dem Namen des **N**aval **O**rdnance **L**aboratorium zusammen [29]. Ursprünglich war das Verhältnis von Nickel und Titan bei einer 55-Nitinol-Legierung (55% Nickel und 45% Titan) oder einer 60-Nitinol-Legierung (60% Nickel und 40% Titan). Man hat neue Technologien wie die Wärmebehandlung gefunden, um die Zusammensetzung der Legierung zu variieren und zu optimieren. Eine Besonderheit der NiTi-Legierungen ist ihr pseudoelastisches Verhalten und das Vermögen, durch ihr Formgedächtnis in ihre Ausgangsform zurückzukehren (Memory Effekt) [29]. Bis zu 8% Deformation können bei den NiTi-Legierungen ausgeglichen werden, wohingegen für Edelmetall Werte von weniger als 1% angegeben werden [31]. Auch die Festigkeit ist gegenüber den Edelmetallinstrumenten erhöht und sie besitzen einen geringeren Elastizitätsmodul [18, 29, 31]. Durch diese Materialeigenschaften konnten Instrumentendesigns realisiert werden, die eine Aufbereitung von gekrümmten Wurzelkanälen vereinfachten [31]. Im Vergleich neigen Aufbereitungsinstrumente aus Edelmetall dazu, nicht den originalen Kanalverlauf zu erhalten [32] und häufiger prozedurale Fehler zu verursachen [12, 33].

Nach der Einführung der NiTi-Legierungen, kamen maschinell betriebene Wurzelkanalinstrumente auf den Markt. Der Einsatz von maschinell betriebenen NiTi-Instrumenten stellte einen Meilenstein in der Endodontie dar. Maschinelle Aufbereitungssysteme ermöglichen einfachere und schnellere Instrumentierungen, welche bessere Erfolgsraten gegenüber Handinstrumenten aus Edelmetall verzeichnen [33]. Cheung et al. untersuchten an 225 Molaren den Unterschied zwischen Edelmetallinstrumenten und maschinell betriebenen NiTi-Instrumenten [33]. Die Gruppe der maschinellen Aufbereitung konnte eine Heilungsrate von 77% erzielen. Die Handinstrumente führten gegenüber der maschinellen Aufbereitung zu statistisch signifikant mehr Präparationsfehlern, was die geringere Erfolgsrate jener erklärt [33]. Die NiTi-Instrumente haben den Vorteil gegenüber

Handinstrumenten, dass sie den originalen Kanalverlauf erhalten, Aufbereitungsfehler verringern und die Präparationszeit gekürzt wird [33].

Auf dem Dentalmarkt erscheinen ständig neue maschinelle Aufbereitungssysteme, welche die Effektivität und Präparation der alten Systeme verbessern sollen. Die Ziele der Industrie richten sich nach besseren, schnelleren und einfacheren handzuhabenden Instrumenten, die möglichst bruchresistent sind und eine anatomiegetreue Präparation ermöglichen sollen [34].

Die Innovationen und besonderen Merkmale der Instrumentendesigns und verbesserten Materialeigenschaften können in den Generationen der maschinell betriebenen Systeme betrachtet werden. Ein Charakteristikum der ersten Generation maschineller Aufbereitungssysteme sind zunächst die passiv verbreiterten Schneidekanten (radial lands), die eine breite Kontaktfläche zum Dentin aufweisen. Sie ermöglichen, dass auch in gekrümmten Kanälen die Feile zentriert bleibt [30]. Ein Nachteil ist jedoch, dass der Reibungswiderstand erhöht wird und die Gefahr eines Torsionsbruchs steigt. Durch den verbreiterten Kontakt mit der Kanalwand wird die Schmierschicht (Smear Layer) vermehrt gebildet und Reibungswärme produziert. Da die breiten Schneidekanten durch einen neutralen Winkel auf die Kanalwand treffen, kann das Dentin nur abgeschert werden. Ziel ist es jedoch, die Dentinwand möglichst abzuschneiden (Beispiel GT-Files, Dentsply, Maillefer, Schweiz). Die Lösung konnte durch schneidende Instrumente in der folgenden Entwicklung realisiert werden [35].

Die 2. Generation zeichnete sich vor allem durch die aktiven Schneiden und die Reduktion der Instrumentenzahl aus [30]. Ein zu nennendes Beispiel wäre FlexMaster (FM) (VDW, München, Deutschland). Das Design setzt sich aus einem konvexen, K-Feilen ähnlichen Querschnitt ohne „radial lands“ zusammen [36]. Gegenüber der 1. Generation bietet dieses System eine größere Schneidleistung und eine erhöhte Stabilität gegenüber Torsionskräften. Durch den geringeren Reibungswiderstand wird die Bildung des Smear Layers reduziert und der größere Spanraum erleichtert den Abtransport der Dentinspäne. Die Verblockung der Dentintubuli wird somit vermindert. Vier Konizitäten .02, .04, .06 und .11 Taper (Introfeile) werden bei FlexMaster unterschieden. Die inaktive Schneidespitze verringert die Perforationsgefahr und kann somit das Instrument in gekrümmte Kanäle führen [36]. Die Schneidekante besitzt eine gesamte Länge von 16 mm und weist einen gleichen Schneidekantenabstand auf [35]. Die Umdrehungszahl sollte bei 150 Umin^{-1} - 300 Umin^{-1} liegen.

Überlegungen weiterer Generationen gingen darauf zurück, den Spanraum zu variieren und den Schneidebereich auf 8-10 mm zu kürzen, um den Torque zu vermeiden [35]. Durch die

Entwicklung der M-Wire Technologie konnte dies verwirklicht werden [34]. Neben multiplen Konizitäten und dem konvexen dreieckigen Querschnitt konnte vor allem die Reduktion von nur sechs verschiedenen Instrumenten den klinischen Alltag erleichtern [35]. Die nachfolgende 3. Generation zeichnete sich durch eine verbesserte Metallurgie der NiTi-Legierungen aus [30]. Die Wärmebehandlung verbessert den Phasenübergang von Martensit und Austenit und reduziert die Bruchgefahr und die zyklische Ermüdung [30]. Vertreter dieser Generation sind beispielsweise Vortex (Dentsply, Maillefer, Schweiz).

Mit dem wachsenden wirtschaftlichem Interesse, möglichst kostengünstig und zeiteffizient Wurzelkanalbehandlungen zu gestalten, kamen mit der 4. Generation die „Ein-Feilen-Systeme“ (wie RECIPROC VDW, Dentsply, Maillefer, Schweiz und WaveOne, Dentsply, Maillefer, Schweiz) auf den Markt. Mit dieser Entwicklung kehrte auch die zu Beginn der 1950er Jahre entwickelte reziproke Arbeitsweise zurück [30]. Das Konzept der 50er Jahre bestand darin, die Feile in einer gleichmäßigen Hin- und Herbewegung zu rotieren [30]. Diese Bewegung macht jedoch einen stärkeren apikalen Druck notwendig und transportiert nur ungenügend Dentinspäne und Debris ab. Mit diesem Wissen wurde die reziproke Arbeitsweise der 4. Generation verbessert, in dem die Rotation gegen den Uhrzeigersinn größer als in entgegengesetzter Richtung ist [30].

Im Jahr 2013 erschien ProTaper Next (PTN) (Dentsply, Maillefer, Schweiz) auf dem Dentalmarkt. Das System setzt sich aus fünf Feilen zusammen (X1-X5). Drei prägnante Designmerkmale prägen das ProTaper Next-System: Progressive Konizitäten, eine versetzte Massenrotation und die M-Wire Technologie. Die progressiven Konizitäten innerhalb eines Instrumentes fanden bereits in früheren Generationen wie bei dem Vorgänger ProTaper (Universal) (Dentsply, Maillefer, Schweiz) Verwendung [30, 35]. Die Konizitäten verlaufen zu- oder abnehmend und vermindern dadurch den Kontakt des Instrumentes zu der umliegenden Kanalwand und ermöglichen die Schneidleistung zu jedem Moment auf einen bestimmten Abschnitt des Wurzelkanals zu projizieren [30]. Das Hineinschrauben in das Dentin wird dadurch vermindert und folglich der Taper-Lock Effekt reduziert [30]. Die M-Wire Legierung besitzt 50,8% Nickel und ist thermisch behandelt. Sie verbessert den Phasenübergang zwischen Martensit und Austenit [30]. Die nano-kristalline Mikrostruktur des Metalls sorgt für eine Erhöhung von Flexibilität, Festigkeit und Resistenz gegenüber zyklischen Ermüdungsfrakturen bei gleichbleibender Schneidleistung [37-39]. Der für die 5. Generation charakteristische rechteckige, exzentrische Querschnitt führt zu einer versetzten Massenrotation und erhöht die Flexibilität im Schneidebereich. Durch das exzentrische Design findet eine Wellenbewegung

statt, die das Hineinschrauben in das Dentin verhindert und den Taper-Lock Effekt minimiert [30]. Dentinspäne und Debris können durch den vergrößerten Platz im Spanraum abtransportiert werden. Die Umdrehungszahl sollte bei 300 Umin^{-1} mit einem Drehmoment von 2,5-5 Ncm liegen [30].

1.5 Röntgenbilder bei Wurzelkanalbehandlungen

Die initiale Diagnosestellung einer periapikalen Läsion und deren Kontrollverlauf lassen sich klinisch nur durch röntgenologische Aufnahmen stellen. Wie allgemein bekannt, ist das Röntgenbild ein zweidimensionales Abbild von einer dreidimensionalen Materie. Während der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung multifaktoriell bestimmt wird, nimmt das Vorhandensein bzw. das Nichtvorhandensein einer periapikalen Läsion einen bedeutenden prognostischen Stellenwert ein [22, 40-42]. Eine besondere prognostische Bedeutung wird hierbei dem Periapikalen Index (PAI) zugeschrieben. In zahlreichen Studien wird der PAI zur Beurteilung der periapikalen Region eines Zahnes herangezogen [41-44]. Einige Studien beschreiben den PAI als den wichtigsten prognostischen Faktor für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung.

Der Periapikale Index nach Ørstavik et al. [2] geht zunächst auf eine Studie von Brynolf [45] zurück. Ingrid Brynolf führte 1967 histologische und radiologische Untersuchungen an Strukturen von periapikalen Läsionen an menschlichen Schneidezähnen durch. Sie beschrieb den Entzündungsprozess der periapikalen Region als eine „Entwicklung von biologischen Sequenzen“ [45]. Ørstavik et al. griffen 1986 diese Ergebnisse auf und entwickelten daraus einen ordinalen Fünf-Punkt-Index, zur Bemessung des periapikalen Zustandes [2], dem Periapikalen Index. Dieser bewertet in fünf Schritten in Korrelation mit den histologischen Befunden von Brynolf [45] den Schweregrad einer Parodontitis apicalis. Die Abbildung 2 zeigt Röntgenbilder, deren periapikales Gewebe histologisch untersucht wurde. Solche ordinalen Skalen sind bereits aus der Allgemeinmedizin wie beispielsweise der Tumorklassifikation [46] oder auch in der Zahnerhaltung durch die Kariesdiagnostik ICDAS [47] bekannt [42]. Diese Skalen erleichtern eine einheitliche Kommunikation und ermöglichen einen Austausch vergleichender Daten.

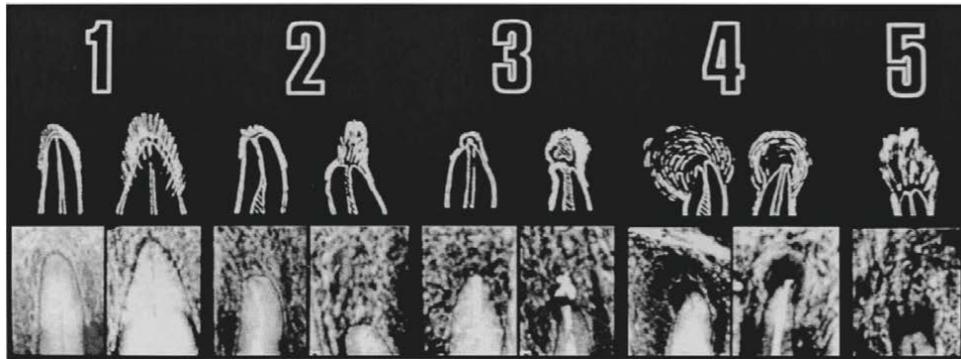


Abbildung 2 Periapikaler Index nach Ørstavik et al. 1986 [2].

- Grad 1: normale periapikale Strukturen
- Grad 2: kleine Veränderungen in der knöchernen Struktur
- Grad 3: Veränderungen in der knöchernen Struktur mit erkennbarem Mineralverlust
- Grad 4: gut abgegrenzte periapikale Osteolyse
- Grad 5: schwere apikale Parodontitis mit Zeichen einer Exazerbation

In der Literatur wird dem PAI eine entscheidende prognostische Bedeutung für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung zugeschrieben [41, 42]. Es wird berichtet, dass jeder einzelne der fünf Stufen des PAI einen eigenen Vorhersagewert für den Verlauf einer Wurzelkanalbehandlung besitzt [42]. Der PAI ermöglicht eine international verständliche einheitliche Nomenklatur, die den Behandlungsverlauf einer Wurzelkanalbehandlung zu kontrollieren vermag. Ferner spielt er bei der präoperativen Diagnosestellung eine entscheidende Rolle, bei der therapeutische Maßnahmen (wie ggf. Extraktionen oder prothetische Planungen) gemeinsam mit dem Patienten abgewogen werden müssen.

1.6 Qualität der Wurzelkanalfüllung

Viele Autoren sehen in der Qualität der Wurzelkanalbehandlung einen Faktor, der den Erfolg der Behandlung beeinflusst [48-52]. So wirkt sich eine qualitativ gut durchgeführte Wurzelfüllung positiv auf das Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung aus [22]. Zuletzt wurden erfolgreiche apikale Ausheilungen in den Zusammenhang mit technisch adäquaten Wurzelfüllungen gebracht [53, 54]. In einer Studie von Tronstad et al. war die Qualität der Obturation der einflussreichste Faktor für den Erfolg einer Behandlung [51]. So erzielten Wurzelfüllungen mit guter Qualität einen Erfolg von 78% und Füllungen von minderer Qualität signifikant weniger mit 56% Erfolg [51]. Kirkevang et al. und Horsted-Bindslev et al. berichten von geringeren Erfolgsquoten für Zähne die eine mindere Qualität der Wurzelfüllung

aufweisen [50, 55]. Die Qualität von Wurzelkanalbehandlungen, von Studierenden durchgeführt, weisen deutlich geringere Zahlen guter Qualität auf. Diese reichen von 23% [56] über 31,2% [57], 41% [58] und bis zu 53,9% [59].

Die qualitätsbeschreibenden Parameter einer Wurzelfüllung werden in der Literatur durch die Länge [56, 59-66], die Homogenität [56, 59-62, 65-68] und den Taper (Konizität einer Füllung) [56, 59-62] bewertet. Klinisch kann die Qualität der Behandlung nur durch die Darstellung eines Röntgenbildes bewertet werden [67]. Auch exzentrische Aufnahmetechniken können den Zahn nicht in mesio-distaler Richtung darstellen.

Bakterien gelten als Hauptursache für die apikale Parodontitis. Das Ziel einer Wurzelkanalfüllung ist es, die Passage von Mikroorganismen, deren Toxine und Flüssigkeiten durch die Wurzelfüllung zu unterbinden [1]. Nach einer chemo-mechanischen Aufbereitung gilt es demnach den Kanal hermetisch zu versiegeln. So forderte Herbert Schilder einen „dauerhaften, dreidimensionalen, bakteriendichten und hermetischen Verschluss des aufbereiteten und gereinigten Wurzelkanals zum Schutz des periradikulären Zahnhalteapparates und anatomisch angrenzender Strukturen“ [16]. Bereits moderate Wurzelkanalkrümmungen (10-30°) reduzieren die Qualität von Wurzelkanalbehandlungen und erhöhen die Wahrscheinlichkeit von Komplikationen [61, 62, 69]. Wie Herbert Schilder bereits erkannte, muss jede Wurzelkanalbehandlung individuell an die morphologischen Besonderheiten eines jeden Zahnes angepasst werden [13]. Wurzelkanalfüllungen mit guter Qualität werden vermehrt bei Frontzähnen und Prämolaren als in der Molarenregion erreicht [69]. Die Präparationsziele einer Wurzelkanalaufbereitung setzen den Grundstein für die weitere Füllung der Kanäle. Hier entstandene prozedurale Fehler lassen sich durch die Obturation nicht mehr ausgleichen und werden durch das röntgenopake Füllmaterial sichtbar gemacht. Voraussetzung für eine gute Obturation ist die Gestaltung des Kanals nach den Präparationszielen der ESE [1]. Nichtinstrumentierte Stellen an der Kanalwand führen zu einem diskontinuierlichen Kanalverlauf und bedingen Hohlräume in der Wurzelkanalfüllung [14]. Verläuft die Kanalpräparation nicht konisch verjüngend, kann sich dies ungünstig auf die Homogenität einer Füllung auswirken, da eine gleichmäßige Kompaktion erschwert ist. Die konische Gestaltung ermöglicht den apikalen Kondensationsdruck auch lateral wirksam werden zu lassen und umgekehrt [16]. Neben den Anforderungen an die Kanalpräparation fordert die ESE in ihren Qualitätsrichtlinien eine vollständig dichte Wurzelfüllung [1]. Die Füllung soll die

Wanderung von Mikroorganismen und Flüssigkeiten unterbinden. Kein Platz zwischen Füllung und Kanalwand und innerhalb der Füllung soll sichtbar sein. Das ganze Kanalsystem inklusive der Dentintubuli und den akzessorischen Kanälen soll gefüllt werden. Eine Beschränkung der Wurzelfüllung nur auf den apikalen Bereich ist unzulässig [1]. Ng et al. haben in einer Studie den Einfluss verschiedener Faktoren auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung untersucht [70]. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass eine abgedichtete, kompaktierte Füllung das Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung verbessert und folglich zu geringeren Infektionen führt [70]. So haben Kirkevang et al. aus ihrer Studie gefolgert, dass inadäquate Wurzelfüllungen Misserfolge von Wurzelkanalbehandlungen begünstigen, da Ansammlungen von Mikroleakage bei undichten Füllungen wahrscheinlich sind [55].

Die Länge einer Wurzelfüllung bzw. die Lage des apikalen Stopps wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Bereits 1922 erkannte man, dass die „sorgsame Handhabung“ des apikalen Gewebes bei der Wurzelkanalaufbereitung der Schlüssel zum Erfolg sei [63]. Die terminale Länge einer Wurzelkanalbehandlung gilt als wichtiger Faktor des Behandlungserfolges einer Wurzelkanalbehandlung [22, 71, 72]. Voraussetzung für die Bestimmung der korrekten Länge ist die röntgenologische und endometrische Arbeitslängenbestimmung. Um die Kontaktfläche zum periapikalen Gewebe möglichst klein zu halten ist die Präparation und Obturation auf das Innere des Wurzelkanals zu beschränken [22, 71, 73]. Eine optimale Wurzelfüllung schließt an der engsten Stelle des Wurzelkanals ab – an der sogenannten apikalen Konstriktion. Der Begriff „apikale Konstriktion“ deutet auf eine Verengung des Wurzelkanals über dem Foramen apicale hin [71]. Es ist die engste Stelle des Wurzelkanals. Auf Grund seiner physiologischen Verengung versucht man diesen Bereich als apikalen Stopp für die Wurzelkanalpräparation und Füllung zu nutzen [71]. In den meisten Fällen existiert diese Konstriktion jedoch nicht und lässt sich röntgenologisch nicht bestimmen [71]. Als Orientierung verwendet man alternativ das Foramen apicale [71]. Zwischen apikaler Konstriktion und Foramen apicale liegen ungefähr 0,5-1 mm [74, 75]. Dies ist nur ein geschätzter Wert, durch den man die Wurzelkanalbehandlung möglichst bis an das apikale Foramen bringen soll [71]. Die ESE empfiehlt die Präparation so nahe wie möglich an der apikalen Konstriktion enden zu lassen, welche zwischen 0,5 und 2 mm liegen soll [1]. Hellwig et al. berichten von einem Abstand zwischen der apikalen Konstriktion und dem Foramen apicale durchschnittlich von 0,6 mm, wohingegen der Abstand zwischen der apikalen Konstriktion und

dem röntgenologischen Apex mit ca. 1 mm angegeben wird [76]. Diese Strecke variiert zwischen 0,8 mm bei jüngeren und 1,2 mm bei älteren Patienten [76].

Bei infizierten Pulpitiden ist anzunehmen, dass Mikroorganismen, ihre Toxine und infiziertes Dentin bis zum apikalen Foramen und darüber hinaus vorliegen [71, 77]. Daher sollte die Präparation möglichst nahe dem apikalen Foramen liegen, um verbliebene Bakterien durch Abgrenzung von Substrat an der Vermehrung zu hindern [77]. In solchen Fällen werden bessere Erfolgsquoten erreicht, wenn der apikale Endpunkt direkt an dem röntgenologischen Apex oder maximal 2 mm koronal gelegen davon enden [71].

Empfehlungen, die Präparation an der apikalen Konstriktion enden zu lassen, richten sich nach folgenden allgemeinen Heilungsprinzipien:

Endet die Wurzelkanalfüllung an der apikalen Konstriktion, so besitzt das angrenzende Gewebe die kleinstmögliche Kontaktfläche zu dem Füllungsmaterial. Je kleiner die auszuheilende Fläche ist, umso einfacher kann die Heilung erfolgen [73]. Ein weiterer Vorteil der kleinen Kontaktfläche besteht in dem reduzierten Austausch von Leakage zwischen Gewebe und Wurzelfüllung [71].

Wird die Wurzelfüllung zu kurz gewählt, ist der Kanal unvollständig aufbereitet und infiziertes Gewebe verbleibt im Kanal. Eine Infektion kann aufrecht erhalten werden [78] und die Beschwerdefreiheit des Patienten mindern. Infizierte Zähne haben einen um 20% geringeren Heilungserfolg bei zu kurzer Fülllänge [71].

Überinstrumentierung und Überfüllung der Kanäle können zu Gewebeschädigungen führen. Wurzelfüllmaterial, Sealer, Dentinchips, Debris, Bakterien und deren Stoffwechselprodukte können über das Foramen apicale transportiert werden und eine Entzündung aufrecht erhalten, eine Entzündung neu entflammen oder gar eine Fremdkörperreaktion hervorrufen [79]. Eine Meta-Analyse von Schaeffer et al. konnte zeigen, dass Wurzelkanalfüllungen die über den Apex hinaus enden, geringere Erfolgsquoten erzielen als Wurzelfüllungen, die zu kurz sind (>1 mm koronal des Apex) [72]. Diese wiederum erbringen geringere Erfolgsquoten, als Füllungen, die 0-1 mm koronal des Apex enden [72].

1.7 Fragestellung und Hypothesen

Die Endodontologie ist heute ein Pfeiler der Zahnerhaltung und gehört somit zur Basis der universitären Ausbildung. Das steigende Interesse dieses Fachgebietes zeigt sich seit geraumer Zeit in zunehmenden Angeboten an postgradualen und curricularen Fortbildungsangeboten. Daher befasst sich die vorliegende Dissertationsschrift mit der Evaluation von Qualität und Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen in der studentischen Ausbildung.

Studien, welche die Qualität von Behandlungsmodalitäten und Erfolgsraten begutachten, stellen einen wichtigen Teil für eine evidenzbasierte Medizin dar. Sie sind die Basis für die Planung und die prognostische Einschätzung einer Therapie. Studien dieser Art geben Klinikern die Möglichkeit den Behandlungserfolg für ihre Patienten abzuschätzen. Anhand von prognostischen Anhaltspunkten kann die Entscheidungsfindung zwischen einer Wurzelkanalbehandlung, Implantatversorgung oder einer alternativen prothetischen Versorgung vereinfacht werden.

Wurzelkanalbehandlungen stellen in der studentischen Ausbildung eine Herausforderung dar, insbesondere die Vermeidung von prozeduralen Fehlern bei der Aufbereitung.

Gegenstand dieser Arbeit ist es, den Einfluss von patientenunabhängigen und patientenabhängigen Variablen auf den Erfolg und die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung mit geeigneten statistischen Analysen zu untersuchen. Neben der internen Qualitätssicherung der studentischen Ausbildung an der Charité – Universitätsmedizin Berlin dient eine derartige Analyse einerseits als Prognose von Erfolgsaussichten und andererseits werden qualitätsbeeinflussende Faktoren evaluiert. Wurzelkanalbehandlungen werden am häufigsten an Molaren vorgenommen [80, 81] und gelten als anspruchsvoll. Von den gewonnenen Erkenntnissen dieses Zahntypus können somit die anderen Zahngruppen profitieren.

Ein wichtiger Prädiktor für das Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung stellt in der Literatur der PAI dar. In dieser Arbeit wird geprüft, ob dieser und weitere Faktoren den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung modellieren können. Da ein ständiger Zuwachs von neuen qualitätsverbessernden Technologien den Dentalmarkt überflutet, ist es von besonderem Interesse zu analysieren, in welchem Zusammenhang der Erfolg und die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung stehen.

Gerade patientenunabhängige Variablen stellen im zahnärztlichen Alltag eine wichtige Größe dar. Stellt sich heraus, dass eine solche Variable den Erfolg oder die Qualität einer

Wurzelkanalbehandlung beeinflusst, so kann diese durch den Behandler angepasst und verändert werden. Für den klinischen Alltag bedeutet dies, dass der Zahnarzt beispielsweise durch die Wahl einer anderen Aufbereitungsmethode in der Lage ist, das Behandlungsergebnis und somit auch das Patientenwohl zu verbessern.

Um diese Fragestellung adäquat beantworten zu können wurden folgende Hypothesen entwickelt:

- Beeinflusst der PAI den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung?
- Trägt die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung zu dem Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung bei?
- Gibt es weitere, den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung beeinflussende Faktoren?
- Welche Faktoren beeinflussen die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung?

2. Methodik

2.1 Ethikvotum und Datenhandhabung

Diese Arbeit ist eine retrospektive, epidemiologische Studie. Zu Beginn lag die Genehmigung der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin vor (EA1/327/13).

Die Patientendaten entstammen aus der institutionellen elektronischen Datenbank

„Endodatenbank“ der Charité, welche zwischen November 2011 und Januar 2016 in den Studierendenkursen aufgenommen wurden. Die evaluierten Zähne unterlagen bezüglich des Prozedere der Wurzelkanalbehandlung der Lehrmeinung der konservierenden Abteilung am Institut für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Charité – Universitätsmedizin Berlin.

Die Studierenden sind im Laufe des zahnmedizinischen Studiums in Berlin im ersten klinischen Jahr dazu verpflichtet vier Wurzelkanalfüllungen und im zweiten klinischen Jahr sechs Wurzelkanalfüllungen unter Aufsicht eines erfahrenen Zahnarztes durchzuführen und diese zu dokumentieren. Davon muss mindestens ein mehrwurzeliger Zahn in jedem Kurs behandelt werden.

Der exportierte Datensatz aus der elektronischen Dokumentationsdatenbank „Endodatenbank“ umfasste 1886 endodontische Fälle. Diese wurden pseudonymisiert aus der Datenbank für die weitere Analyse exportiert. Erst- und Revisionsbehandlungen an Molaren wurden unabhängig von Alter und Geschlecht der Patienten betrachtet. Weisheitszähne wurden in das Studiendesign miteinbezogen. Mit der Einschränkung auf nur einen Zahntypen, den Molaren, reduzierte sich der Datensatz auf 831 Fälle. Aus Folgenden Gründen mussten weitere 203 Datensätze entfernt werden:

- Behandlung mehrfach im System angelegt,
- andere Zahntypen als im System angegeben (Incisivii, Caninii oder Praemolaren),
- Patientenstammdaten fehlend,
- Daten fehlerhaft und nicht prüfbar,
- Röntgenbilder fehlend,
- Auflösung der Röntgenbilder unzureichend,
- keine vollständige Abbildung der apikalen Situation auf dem Röntgenbild.

Der Datensatz umfasste nach Ausschluss durch die o.g. Kriterien 628 Fälle.

Um Aussagen über den Verlauf der Behandlung zu treffen, wurden nur Daten betrachtet, die ein röntgenologisches Bild der Nachuntersuchung aufwiesen. Der Datensatz verringerte sich auf 278 Fälle (Stand Januar 2016) (Abb.3). Die Arbeit wurde lediglich mit radiographischen Daten erfasst, da andere Angaben wie Symptomatik, Längenmessangaben, Vitalität u.ä. Angaben retrospektiv nicht objektiv messbar und somit nicht valide nachvollziehbar sind.

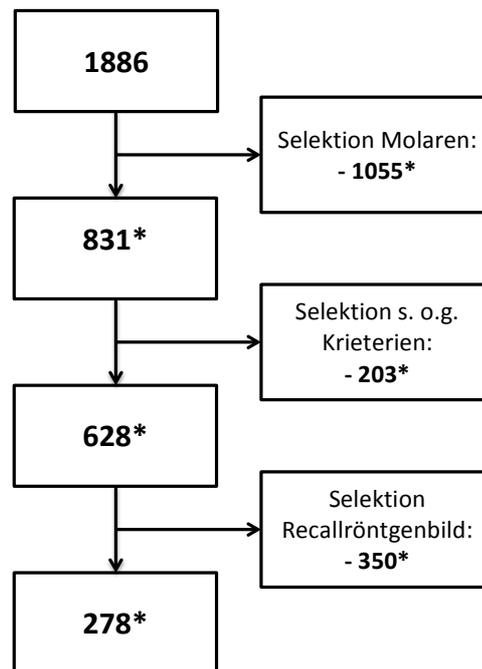


Abbildung 3 Fließdiagramm des Studiendesigns. *=Datensätze pro Patientenfall.

2.2 Radiographische Evaluation

Die Examination der Röntgenbilder wurde von einem Untersucher durchgeführt. Dieser wurde im Rahmen einer Kalibrierung mit zwei Endospezialisten über die Kriterien der radiologischen Befundung aufgeklärt. Diese Kalibrierung erfolgte an 20 Röntgenbildern, die gemeinsam ausgewertet wurden. Bei Unklarheiten bezüglich der Interpretation der Röntgenbilder wurde ein Endospezialist zu Rate gezogen. Die Beurteilung fand in einem dunklen Raum, an einem befundungsfähigen Bildschirm (L246WHX, LG Electronics, Ratingen, Deutschland) mit einer Auflösung von 1920 x 1200 Pixel statt.

Der Zahn stellte die kleinste Einheit dar. Die Wurzel eines Zahnes, welche die schlechteste Bewertung erhielt, stand somit repräsentativ für den gesamten Zahn. Falls nach Abschluss der Wurzelfüllung mehrere Recalluntersuchungen durchgeführt wurden, wurde der aktuellste Röntgenbefund verwendet. Die Röntgenbilder wurden nach Länge, Homogenität und dem Kanalverlauf im Röntgenbild nach Abschluss der Wurzelfüllung beurteilt. Der Periapikale Index (PAI) nach Ørstavik et al. [2] diente der radiologischen Evaluation periapikaler Strukturen im Ausgangsbefund und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

Die technische Qualität der Wurzelkanalfüllung wurde mit den Parametern Länge, Homogenität und Kanalverlauf anhand der Röntgenbilder bewertet. Die Kategorien wurden mit den Zahlen 1-4 durchnummeriert. Mit steigender Zahl nimmt die Qualität der Wurzelfüllung zu. Somit stellt 4 die beste und 1 die geringste Qualität dar.

Bewertung der Länge

Mit der Länge wird betrachtet in welchem Abstand sich das apikale Ende der Wurzelkanalfüllung zu dem röntgenologischen Apex befindet. Die Länge wird in vier Kriterien unterteilt (Abb. 4).

			
4	3	2	1
0,5 – 1,5 mm vom röntgenologischen Apex entfernt	> 1,5 mm vom röntgenologischen Apex entfernt	< 0,5 mm vom röntgenologischen Apex entfernt	Über den röntgenologischen Apex hinausreichend

Abbildung 4 Kriterien 4-1 der Länge einer Wurzelfüllung, visualisiert durch Röntgenbilder.

Bewertung der Homogenität

Mit der Homogenität wird betrachtet, ob die Wurzelfüllmasse gleichmäßig verarbeitet wurde, ob Lücken, Blasen oder Wandunständigigkeiten vorliegen. Die Homogenität der Wurzelfüllung wird in vier Kategorien eingeteilt (Abb. 5):

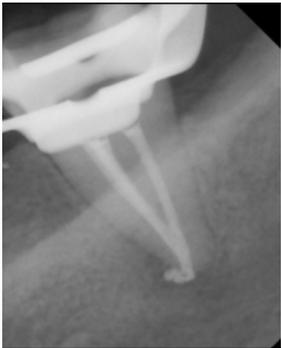
			
4	3	2	1
homogen und wandständig	teilweise inhomogen	Inhomogen und apikal verdichtet	Inhomogen und apikal nicht verdichtet

Abbildung 5 Kriterien 4-1 der Homogenität einer Wurzelfüllung, visualisiert durch Röntgenbilder.

Bewertung des Kanalverlaufes

Mit dem Kanalverlauf wird betrachtet, ob die Wurzelfüllung den originalen anatomischen Verlauf des Kanals beibehält, ob prozedurale Fehler vorliegen und ob die Kanalwand sauber konisch und kontinuierlich bearbeitet ist (Abb. 6).

			
4	3	2	1
Kanalverlauf beibehalten, kontinuierlich und konisch	Kanalverlauf beibehalten, aber nicht kontinuierlich und konisch	kontinuierlich und konisch aber den Kanalverlauf nicht beibehalten	Kanalverlauf nicht beibehalten, nicht kontinuierlich und konisch und/oder Komplikationen

Abbildung 6 Kriterien 4-1 des Verlaufs einer Wurzelfüllung, visualisiert durch Röntgenbilder.

Bewertung des periapikalen Zustandes

Die Betrachtung des periapikalen Status wurde mit dem periapikalen Index (PAI) nach Ørstavik et al. beschrieben [2].

Da ein Unterschied der Knochendestruktion zwischen dem PAI II (=kleine Veränderungen in der knöchernen Struktur ohne Demineralisation) und dem PAI III (=Veränderungen der knöchernen Struktur mit diffusen Mineralverlust) radiologisch häufig schwer zu unterscheiden ist, wurden beide Kategorien zu einer gemeinsamen zusammengefasst: PAI II-III (Abb. 7).

Der PAI wurde jeweils an zwei Röntgenbildern examiniert: zu Beginn der Behandlung im Ausgangsbefund und zu dem Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

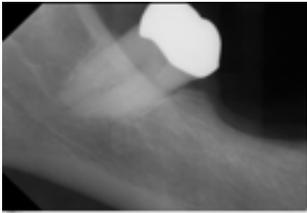
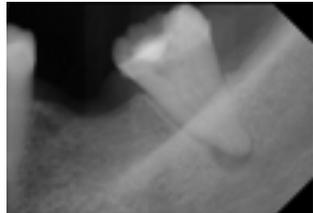
			
PAI I	PAI II - III	PAI IV	PAI V
normale periapikale Strukturen	Veränderung in der knöchernen Struktur	gut abgegrenzte periapikale Osteolyse	schwere apikale Parodontitis mit Zeichen einer Exazerbation

Abbildung 7 Periapikaler Index nach Ørstavik et al.[2] visualisiert durch Röntgenbildern.

Durch den Vergleich des PAI zum Zeitpunkt vor und nach der Wurzelkanalfüllung und in Anlehnung an die Stellungnahme der DGZMK und der ESE konnte das Ergebnis der radiologischen Evaluation bezüglich des Erfolges einer Wurzelkanalbehandlung in drei Kategorien eingeteilt werden [1, 27]:

Tabelle 1 Kriterien zum Ausgang einer Wurzelkanalbehandlung anhand des PAI nach Ørstavik et al. [2].

Erfolgreiches Ergebnis	Unsicheres Ergebnis	Ungünstiges Ergebnis
$PAI_{\text{Recall}} = PAI I$	$PAI_{\text{initial}} > PAI_{\text{Recall}} > PAI I$	$PAI_{\text{initial}} \leq PAI_{\text{Recall}} > PAI I$

2.3 Ablauf der Wurzelkanalbehandlung

Voraussetzung für die Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung an der Charité – Universitätsmedizin Berlin ist eine präoperative suffiziente Aufbaufüllung. Die Behandlung läuft in der Regel stets unter Kofferdamisolation wie folgt ab: Nach der Trepanation des Zahnes wird die Kavität mit einem Batt-Bohrer erweitert und die Überhänge werden mit Rosenbohrern geglättet. Mit Gates-Glidden-Bohrern (VDW, München, Deutschland) der Größen 1-3 findet die koronale Erweiterung der Kanäleingänge mittels der Crown-Down Technik statt. Die Arbeitslängenbestimmung wird mit Hilfe der Endometrie (Raypex, VDW, München, Deutschland) und durch eine röntgenologische Längenmessaufnahme gesichert. Während der Aufbereitung erfolgt eine regelmäßige Spülung der Kanäle mit 1% NaOCl. Die Aufbereitung der Wurzelkanäle wird maschinell durchgeführt und kann durch Handinstrumente (Flexicut Feilen, VDW, München, Deutschland) unterstützt werden. Die maschinelle Aufbereitung lässt sich in zwei Gruppen einteilen: Bis April 2014 erfolgte die Aufbereitung mit dem FlexMaster-System (VDW, München, Deutschland). Anschließend fand in den Studierendenkursen das ProTaper Next-System (Dentsply, Maillefer, Schweiz) Verwendung.

Beide Systeme verwenden die Crown-Down Präparationstechnik. Die Wurzeln, die mit den FlexMaster Feilen aufbereitet werden, werden mittels lateraler Kondensationstechnik abgefüllt. Der zentrale Guttaperchastift wird mit zahlreichen akzessorischen Stiften unter Verwendung eines ISO 15-Spreaders (VDW, München, Deutschland) lateral kondensiert.

Bei dem ProTaper Next-System wird der Kanal mit einer modifizierten lateralen Kondensation mit getaperten Masterpoints gefüllt. Der Kanal wird mit der Einstifttechnik und im koronalen Bereich mit akzessorischen Stiften und einem Spreader gefüllt. Bevor die Kanäle letztendlich mit dem Sealer AH Plus (Dentsply, Maillefer, Schweiz) abgefüllt werden, erfolgt die ultraschallunterstützte Abschlusspülung (2 ml 1% NaOCl, 2 ml 17% EDTA und 1 ml 1% NaOCl). In schwierigen Fällen wird ein Operationsmikroskop zur Hilfe gezogen.

Röntgenaufnahmen

In der röntgenologischen Abteilung wurden die Einzelbilder mit dem Röntgengerät (HeliodontPlus, Sirona, Wals bei Salzburg, Österreich) in der Paralleltechnik aufgenommen. Einige Aufnahmen wurden mit Speicherfolien und andere mit einem digitalen Sensor (XIOS Plus, Sirona, Wals bei Salzburg, Österreich) aufgenommen. Die Speicherfolien wurden von

einem Auslesegerät eingelesen (Vitascanmini, Dürr, Bietingheim-Bissingen, Deutschland). Für beide Varianten wurde die gleiche Software verwendet (Sidexis XG 2.61, Sirona, Wals bei Salzburg, Österreich). Der Film-Fokus-Abstand betrug 20cm bei 70kV und 10mA bei einer Belichtungszeit von 0,18-0,20 Sekunden.

2.4 Statistische Methoden

Die erhobenen patienten- und zahnbezogenen Daten wurden zunächst mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Excel für OS X 2011 Version 14.5.8 (Microsoft, Redmond, Washington, USA) erfasst und anschließend konvertiert, um eine Verarbeitung für das Statistikprogramm SPSS Version 23.0 zu ermöglichen (SPSS, Chicago, Illinois, USA).

Die Daten wurden mittels deskriptiver Statistik (Mittelwerte und Standardabweichungen sowie absolute und relative Häufigkeiten) dargestellt. Grafiken wurden mit Excel (Microsoft, Redmond, Washington, USA) und Tabellen mit Microsoft Word (Microsoft, Redmond, Washington, USA) erstellt.

Um den Einfluss der erhobenen Variablen auf den Erfolg und die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung zu modellieren eignete sich als statistische Methode die ordinale logistische Regression, welche Logit-Modelle verwendet [82].

Regressionsanalysen ermöglichen das Erkennen und Beschreiben von Wirkungsbeziehungen zwischen einer oder mehrerer unabhängiger Variablen auf eine abhängige Variable [83]. Mit der Regressionsgleichung kann man die Zielvariable aus den ermittelten Einflussgrößen bzw. einer Einflussgröße errechnen [84]. Des Weiteren können Hypothesen über Zusammenhänge geprüft und Prognosen erstellt werden [83]. Es ist zu erkennen, mit welchem Einfluss die Parameter die Zielvariable steuern und die abhängige Variable lässt sich mit neu erhobenen Daten zukünftig schätzen [84]. Dabei darf nicht ungeachtet bleiben, dass es sich bei den ermittelten Werten der Zielvariable nur um Schätzwerte handelt, da bei der Regressionsanalyse nur geschätzte Modelle wiedergegeben werden und die Regressionskoeffizienten somit auch nur geschätzt werden [84]. Die Regressionskoeffizienten beschreiben, wie sich die Zielvariable verändert, wenn eine Einflussvariable um eine Einheit zunimmt [84].

In dieser Arbeit wurde die ordinale logistische Regression gewählt, um den Zusammenhang zwischen unabhängigen Variablen und einer kategorialen ordinalskalierten abhängigen Variable darzustellen [85]. Eine Annahme dieses Modells ist, dass die unabhängigen Variablen einen

identischen Effekt auf die verschiedenen Kategorien der Zielvariablen haben („proportional odds assumption“).

Als Kriterium zur Beurteilung der Aussagekraft der Variablen wurde die Signifikanz der Koeffizienten herangezogen. Das Signifikanzniveau wurde bei $\alpha=0,05$ festgelegt. P-Werte unterhalb oder gleich dieses Grenzniveaus wurden als signifikant angesehen ($p \leq 0,05$). Es wurden unabhängige Variablen erhoben und der Einfluss jeder einzelnen auf die Zielvariable (Erfolg, Länge, Homogenität und Verlauf) untersucht (Tab.2).

Tabelle 2 Abhängige und unabhängige Variablen für den Einfluss auf den Erfolg und die Qualität (Länge, Homogenität, Verlauf) einer Wurzelkanalbehandlung.

Zielvariable Unabhängige Variablen	Erfolg	Länge	Homogenität	Verlauf
Patientengeschlecht	✓	✓	✓	✓
Alter Patient	✓	✓	✓	✓
Altersklasse Patient*	✓	✓	✓	✓
Quadrant	✓	✓	✓	✓
Zahntypus	✓	✓	✓	✓
Studierendengeschlecht	✓	✓	✓	✓
Semester	✓	✓	✓	✓
Aufbereitungssystem	✓	✓	✓	✓
Beobachtungszeitraum	✓	–	–	–
Länge	✓	–	✓	–
Homogenität	✓	–	–	–
Kanalverlauf	✓	✓	✓	–
PAI _{initial}	✓	✓	✓	✓
PAI _{Recall}	–	–	–	–

*Altersklasse Patient eingeteilt in: <29 Jahre, 30-39 Jahre, 40-49 Jahre, 50-59 Jahre, 60-69 Jahre und >70 Jahre.

Die unabhängigen Variablen wurden in dem Statistikprogramm SPSS (SPSS, Chicago, Illinois, USA) bezüglich ihres Skalenniveaus aufgeteilt. SPSS-intern wurden die kategorialen Variablen als Faktoren und stetige Variablen als Kovariate unterteilt. Für die Untersuchung des Einflusses von kategorialen unabhängigen Variablen mit mehr als zwei Ausprägungen wurden Dummy-Variablen erstellt. Die Kodierung erfolgte binär mit 0 und 1, wobei eine zutreffende Ausprägung

einer Kategorie mit 1 und eine nichtzutreffende Kategorie mit 0 vergeben wurde. Die dummy-codierten Variablen ließen sich dadurch wie metrische Variablen in die Regression einbringen [83]. Die Prozedur der Variablenselektion für das ordinal logistische Regressionsmodell ließ sich in zwei Schritte gliedern. Zunächst wurde eine univariate Analyse der unabhängigen Variablen durchgeführt, bei welcher der Einfluss von jeweils einer unabhängigen Variable auf die jeweilige Zielvariable betrachtet wurde. Einerseits ließ sich dadurch ein erster Eindruck über potentielle Einflüsse der unabhängigen Variablen gewinnen und zum anderen konnte dadurch eine Vorauswahl für das multiple Modell getroffen werden. Da Zielvariablen in der Regel durch mehrere Einflussgrößen bestimmt werden, wurde im Anschluss eine multiple Regressionsanalyse erstellt. Die Variablen für die multiple Regressionsanalyse wurden durch Rückwärtsselektion ausgewählt. Hierzu wurden zunächst alle in den Einzelmodellen signifikanten Variablen, deren Regressionskoeffizienten einen p-Wert $\leq 0,05$ erreichten, in die multiple ordinale Regressionsanalyse aufgenommen. Von den Variablen wurde im nächsten Schritt diejenige ausgeschlossen, die innerhalb des aktuellen Modells den größten p-Wert aufwies [84]. Aus den verbliebenen Variablen wurde die multiple Regressionsanalyse erneut berechnet. Dieser Prozess der Variablenselektion wurde so lange fortgeführt, bis sich alle verbliebenen Variablen als signifikant erwiesen [84].

Um zu überprüfen, inwiefern sich die einzelnen Kategorien einer kategorialen Variable in Hinsicht auf den Einfluss auf die Zielvariable unterscheiden, wurden sogenannte Kontraste gebildet. Diese Vergleiche der einzelnen Kategorien der unabhängigen ordinalen Variablen wurden (automatisch) durch das Statistikprogramm SPSS (SPSS, Chicago, Illinois, USA) erstellt.

Die Vergleiche der einzelnen unabhängigen ordinalen Variablen wurden (automatisch) durch das Statistikprogramm SPSS (SPSS, Chicago, Illinois, USA) überprüft.

Für jede Kategorie der unabhängigen ordinalen Variablen wurden die Regressionskoeffizienten und die p-Werte ermittelt. Um die Signifikanz der Variablen, welche mehr Kategorien als eine dichotome Ausprägung aufwies als Ganzes zu prüfen, wurden diese manuell in der Syntax mit Hilfe von Dummy-Variablen kodiert und der Gesamtwert der Variable errechnet (Custom hypothesis test).

Da das vorrangige Ziel dieser Arbeit die Identifikation von Einflussfaktoren auf die jeweilige Zielvariable ist, werden in den Ergebnissen nur die Regressionskoeffizienten und zugehörige p-Werte dargestellt. Bevor die Effekte von jeder einzelnen erklärenden Variable betrachtet werden konnten, musste bestimmt werden, ob die Anpassung und Güte des Modells

ausreichend ist, um eine Vorhersage über den Erfolg und die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung liefern zu können. Um zu beurteilen, wie gut eine erstellte ordinale logistische Regressionsgleichung die Daten beschreibt, können verschiedene Gütemaße herangezogen werden.

Die Güte des Gesamtmodells wurden mit dem „Pseudo R^2 “, dem „Likelihood-ratio Test“ und dem „Goodness of fit Test“ überprüft.

Pseudo R^2

Unter diesem Begriff werden Gütemaße von verschiedenen Autoren zusammengefasst, die eine Approximation des in der linearen Regression verwendeten Bestimmtheitsmaßes R^2 darstellen: McFadden's R^2 , Cox & Snell's R^2 und Nagelkerke's R^2 . Sie vergleichen die Schätzmaße des Nullmodells und des Gesamtmodells mit Hilfe der Log-Likelihood Werte. Die Zahlenwerte des Ergebnisses stellen den prozentualen Anteil dar, den der Schätzerfolg des Nullmodells durch den Schätzerfolg des Gesamtmodells verbessert [86]. Somit handelt es sich um ein „modell-relatives“ Gütemaß [86]. Verschiedene Pseudo R^2 können zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen.

Cox & Snell's R^2 und McFadden's R^2 können nicht den Wert 1 erreichen und sollten daher nur vorsichtig interpretiert werden [86].

Die Gütemaße von Nagelkerke's R^2 können den Wert 1 erreichen. Daher dient es häufig zur Beurteilung der Güte der Modellanpassung. Verallgemeinert kann man sagen, dass Werte zwischen 0,2-0,4 akzeptabel und Werte $>0,4$ geeignet sind das Modell zu erklären [85].

Likelihood-ratio Test

Der Likelihood-Ratio Test zieht einen Vergleich zwischen Null- und Gesamtmodell. Im Gegensatz zu dem finalen Modell enthält das Nullmodell keine erklärende Variable. Es wird überprüft, ob das Gesamtmodell zu den erhobenen Daten signifikant besser passt, als das Nullmodell. Der Likelihood-Ratio-Test errechnet die 2-fache Differenz der log-likelihood von Nullmodell und ermitteltem Gesamtmodell. Die resultierende Teststatistik wird mit einem χ^2 -Test geprüft. Ein p-Wert von $p \leq 0,05$ sagt aus, dass das Gesamtmodell eine signifikante Verbesserung gegenüber dem Nullmodell hinsichtlich der Vorhersage der Zielvariablen darstellt.

Goodness-of-fit Test

Goodness-of-fit Tests (Anpassungstests) überprüfen, ob das Modell zu den beobachteten Daten passt. Die Nullhypothese besagt, dass die Modellanpassung geeignet ist. Wird die Nullhypothese nicht verworfen (bei $p < 0.05$), kann daraus geschlossen werden, dass Daten und Modell ähnlich sind und das Modell somit gut ist. Von SPSS ausgegeben wird die Pearson's Chi²-Statistik und die Devianz. P-Werte liegen zwischen 0 und 1, wohingegen höhere Werte für eine bessere Anpassung der Modelle stehen. Die Pearsons Chi²-Statistik vergleicht beobachtete Fälle mit erwarteten Fällen. Die Devianz ist ein Likelihood-Ratio-Test und vergleicht das angepasste Modell mit dem saturierten Modell, d.h., einem Modell, das alle Variablen und Interaktionsterme enthält und somit die Daten perfekt beschreibt.

Entgegengesetzt zu dem o.g. Pseudo R² und dem Likelihood-ratio Test, welche mit größeren Zahlenwerten bessere Ergebnisse beschreiben, werden in diesem Fall die Ergebnisse kleiner oder nahezu 0, wenn die Modellgüte gut ist [83]. Dementsprechend ist ein großer p-Wert $p > 0,05$ besser, der die Hypothesen nicht ablehnt, sondern bestätigt [83].

Odds Ratio

Neben den Regressionskoeffizienten und den p-Werten sind für das Gesamtmodell die Odds-Ratio's errechnet worden. Odds bezeichnen eine Chance, welche durch den Quotienten aus der erwarteten Wahrscheinlichkeit für das Eintreten eines Ereignisses ($=p$) und der Wahrscheinlichkeit des Eintretens des gegenteiligen Ereignisses ($=1-p$) errechnet wird [86].

Eine größere Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses gegenüber dem komplementären Ereignis wird durch $Odds > 1$ ausgedrückt [87]. Wenn die beiden Ereignisse mit der gleichen Wahrscheinlichkeit eintreten, gilt $Odds = 1$. Ist die Wahrscheinlichkeit des Eintretens des komplementären Ereignisses größer, beträgt die $Odds < 1$. Die Odds Ratio ($=OR$) stellt ein Verhältnis zwischen Odds dar [87]. In der Epidemiologie ist das Odds Ratio das Verhältnis der Chancen von Personen mit einem Merkmal zu Personen ohne ein Merkmal. Bei der logistischen Regression kann das an alle anderen unabhängigen Variablen adjustierte Odds Ratio für die Beziehung zwischen unabhängiger und abhängiger Variable bestimmt werden. Der Wert des Odds Ratios bezieht sich auf den Anstieg der erklärenden Variablen um eine Einheit [88]. OR können von 0 bis unendlich (∞) reichen [87]. Werte von $OR = 1$ bedeuten, dass die betrachtete erklärende Variable keinen Effekt auf die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses

hat. Werte von $OR=1$ bedeuten, dass die erklärende Variable keinen Effekt auf die Odds auf die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ereignisses hat [87]. Eine $OR>1$ bezeichnet eine größere Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses für eine unabhängige Variable bei Erhöhung um eine Einheit. Gegenteilig kann dies bei einer $OR<1$ beschrieben werden. Hier ist die Eintrittswahrscheinlichkeit eines Ereignisses für eine unabhängige Variable geringer [87].

3. Ergebnisse

3.1 Deskriptive Statistik

Geschlechterverteilung der Patienten

Die Verteilung der Geschlechter weist n=127 Frauen (45,7%) und n=151 Männern (54,3%) auf (Abb. 8).

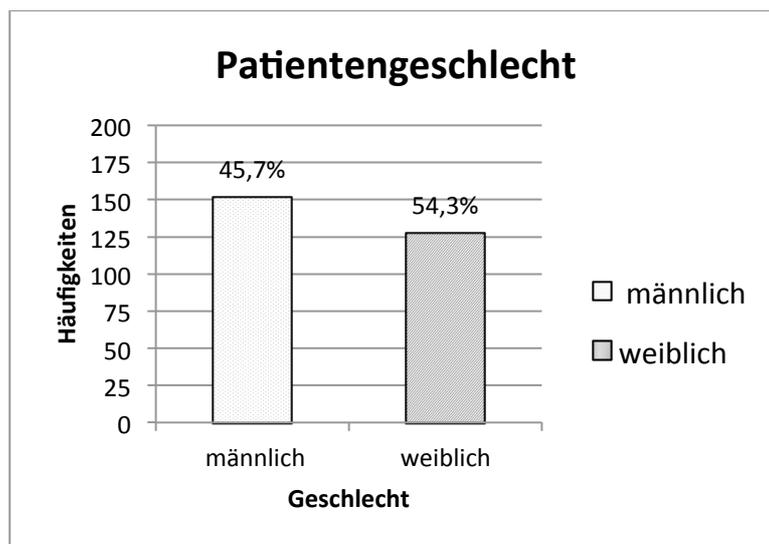


Abbildung 8 Säulendiagramm: Verteilung des Patientengeschlechts.

Altersverteilung der Patienten

Die Altersspanne der Patienten zum Zeitpunkt der Wurzelkanalfüllung umfasst 17 bis 83 Jahre. Der Schwerpunkt der Altersverteilung lässt sich im Bereich der drei Gruppen zwischen den 40- und 69-jährigen erkennen (Abb. 9).

In der Gruppe der 50- bis 59-jährigen liegt der Altersgipfel - demnach wird ein mittleres Alter von 51,58 Jahren ($\pm 15,1$) errechnet. Ein Alter von unter neunzehn Jahren ist zweimal und ein Alter von über achtzig Jahren mit vier Fällen vertreten.

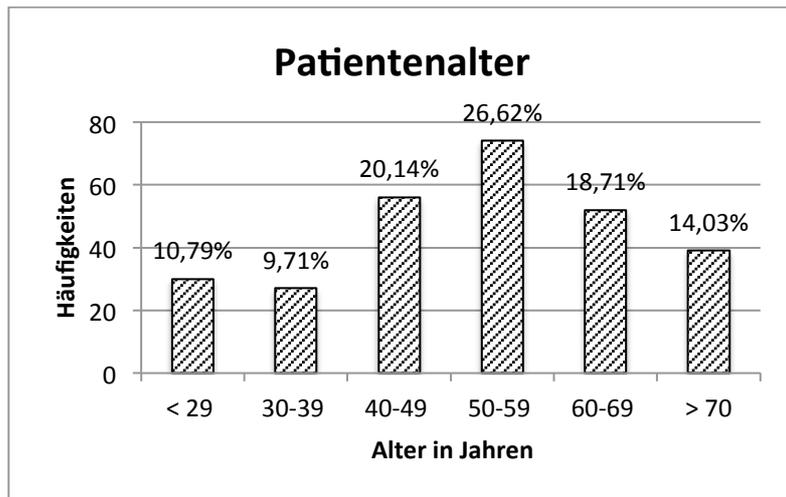


Abbildung 9 Säulendiagramm: Verteilung der Altersklassen der Patienten.

Verteilung der Zähne

Die n=278 Zähne wurden an n=238 Patienten untersucht. Auf einen Patienten kommen im Durchschnitt 1,168 Zähne. Die Distribution der Molaren auf die Quadranten zeigt in dem vierten Quadranten mit n=88 Fällen (31,7%) die meisten Wurzelkanalbehandlungen. Der erste Quadrant ist mit n=63 (22,7%), der zweite Quadrant mit n=60 (21,6%) und der dritte Quadrant mit n=67 (24,1%) vertreten (Tab. 3).

Tabelle 3 Verteilung der Häufigkeiten in Quadranten und Zahntypen.

1. Quadrant			2. Quadrant		
63 (22,7%)			60 (21,6%)		
18	17	16	26	27	28
2	15	46	34	25	1
4	40	44	38	28	1
48	47	46	36	37	38
88 (31,7%)			67 (24,1%)		
4. Quadrant			3. Quadrant		

Der Zahntyp 16 ist am häufigsten mit n=46 Fällen (16,5%) behandelt worden, knapp gefolgt von Zahn 46 mit n=44 Behandlungen (15,8%). Lediglich die Zahntypen 28 und 38 kommen jeweils nur mit n=1 und der Zahn 18 mit n=2 vor (Tab. 3).

Geschlechtsverhältnisse der Studierenden

Die n=278 Zähne haben n=177 (63,7%) weibliche und n=101 (36,3%) männliche Studierende behandelt.

Verteilung der Semester

Die meisten Wurzelkanalbehandlungen mit n=117 (42,1%) sind im 9. Semester durchgeführt worden. Das 8. Semester folgt mit n=80 (28,8%) und das 10. Semester mit n=64 Behandlungen (23%). Nur n=7 Behandlungen (2,5%) fanden im 7. Semester und n=10 (3,6%) während des Staatsexamens statt.

Aufbereitungssystem

Die maschinelle Aufbereitung erfolgte bei n=119 (42,8%) Behandlungen mit dem ProTaper Next-System und bei n=159 (57,2%) Fällen mit dem System FlexMaster (Abb. 10).

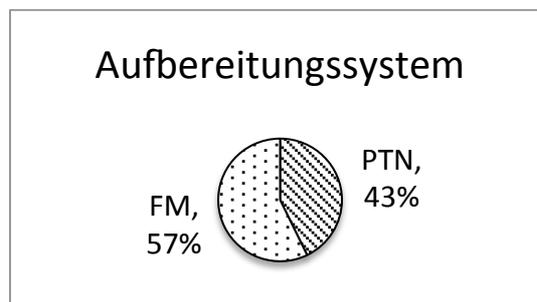


Abbildung 10 Kreisdiagramm: Darstellung der verwendeten Aufbereitungstechnik mit FM und PTN.

Nachuntersuchungszeitraum

Der Zeitraum zwischen Abschluss der Wurzelkanalbehandlung und dem Recall liegt bei einem durchschnittlichen Nachuntersuchungszeitraum von 10,71 Monaten ($\pm 10,24$).

Länge der Wurzelkanalfüllung

Die Längen der gefüllten Kanäle reichen bei n=31 Molaren (11,2%) über den röntgenologischen Apex hinaus und sind in n=36 Fällen (12,9%) <0,5 mm vom röntgenologischen Apex entfernt. Bei n=92 (33,1%) Zähnen betrug der Abstand zwischen dem Ende der Wurzelfüllung und dem röntgenologischen Apex >1,5 mm. Die Gruppe der optimalen Fülllänge von 0,5-1,5 mm Entfernung vom röntgenologischen Apex ist mit n=119 (42,8%) am häufigsten vertreten (Abb. 11).

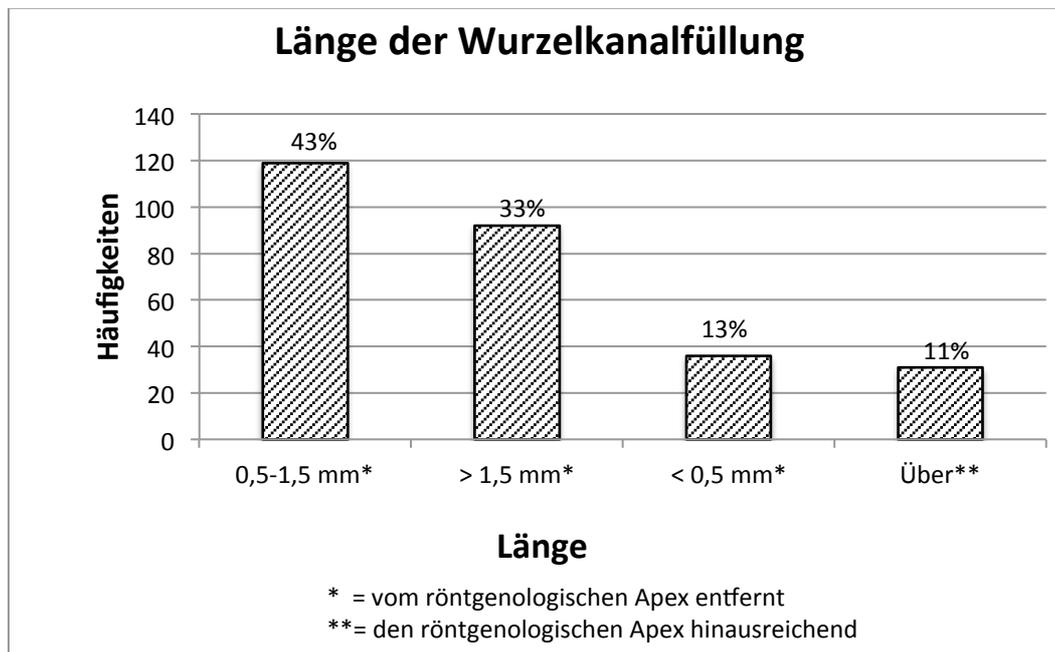


Abbildung 11 Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Längenkategorien.

Homogenität der Wurzelfüllung

Es sind n=112 Zähne (40,3%) mit homogenen und wandständigen Wurzelkanalfüllungen versehen. n=116 Wurzelkanalbehandlungen (41,7%) weisen teilweise homogene Wurzelfüllungen auf, die wandunständig sein können. Es gibt n=43 Fälle (15,5%) bei denen die Füllung inhomogen ist und dennoch einen apikalen Verschluss aufweisen. Mangelnde apikale Verdichtungen und inhomogene Füllungen erscheinen lediglich in n=7 Röntgenbildern (2,5%) (Abb. 12)

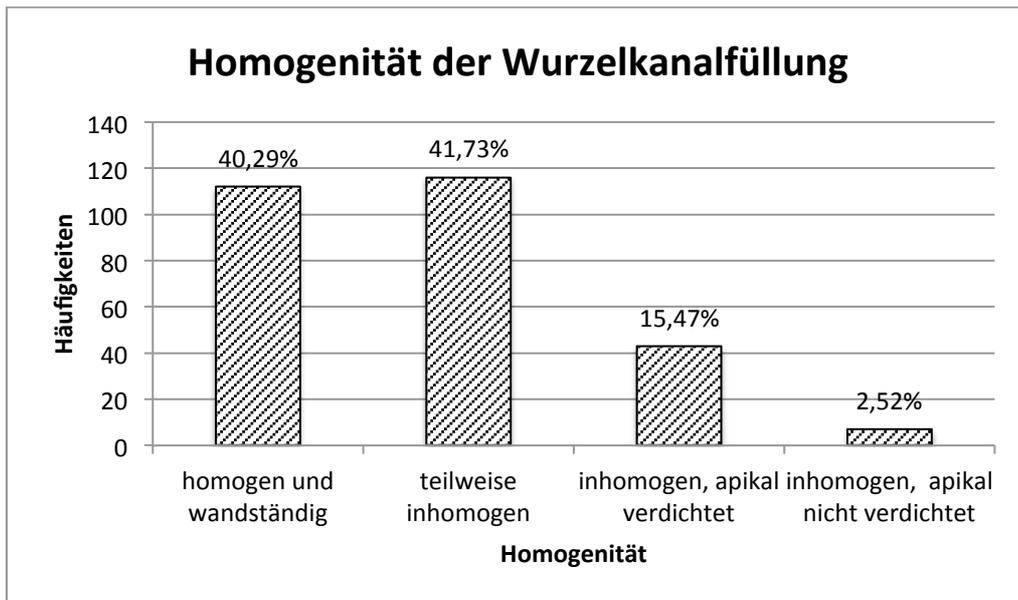


Abbildung 12 Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Homogenitätskategorien.

Kanalverlauf der Wurzelkanalfüllung

Die Wurzelkanalfüllungen sind in n=83 Fällen (29,9%) nicht den Kriterien entsprechend gefüllt und/oder weisen Komplikationen auf. Bei n=77 Zähnen (27,7%) ist der Verlauf des Kanals kontinuierlich und konisch, der Kanalverlauf konnte jedoch nicht eingehalten werden. n=46 Mal (16,5%) ist der Kanalverlauf in seinem ursprünglichen Verlauf beibehalten und nicht kontinuierlich und konisch. Alle postulierten Kriterien zum Kanalverlauf können bei n=72 Molaren (25,9%) erfüllt werden (Abb. 13).

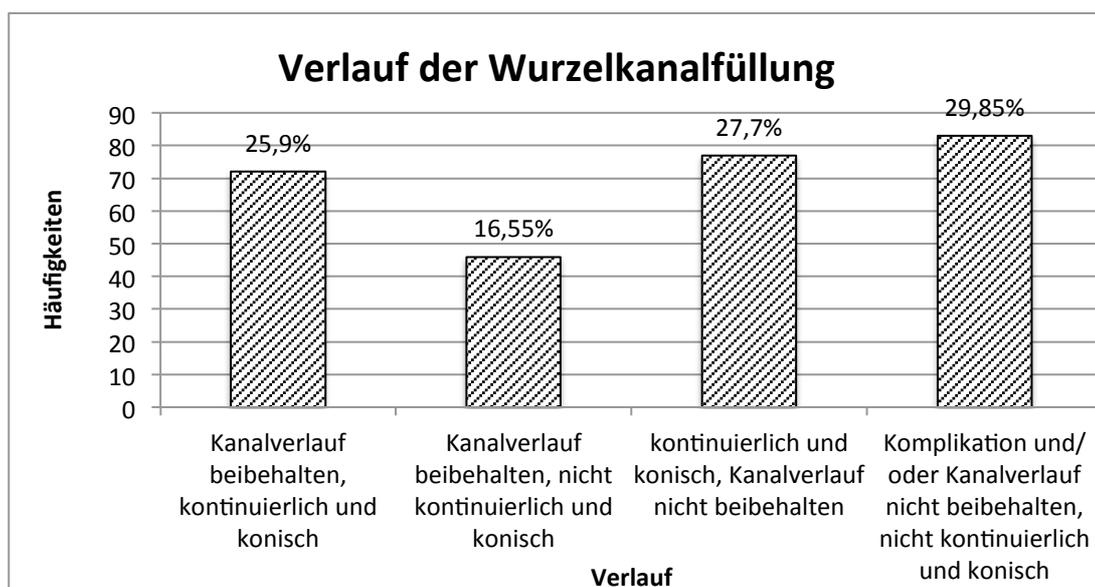


Abbildung 13 Säulendiagramm: Häufigkeitsverteilung der Verlaufskategorien .

Ausgangsbefund

Röntgenologisch können im Ausgangsbefund n=216 Aufhellungen von insgesamt n=282 Fällen betrachtet werden (77,7%). Den Ausgangsbefund einer periapikalen Struktur ohne pathologische Veränderungen weisen n=62 Zähne auf (22,3%).

Periapikaler Index zum Zeitpunkt des Ausgangsbefundes

Der Periapikale Index (PAI) weist zum Zeitpunkt des Ausgangsbefundes für Gruppe PAI V n=48 Radioluzenzen (17,3%) auf. Röntgenologisch zählen zur Gruppe PAI IV n=95 Fälle (34,2%) und zur Gruppe PAI II n=72 (25,9%) Fälle. n=63 Mal (22,7%) lässt sich der radiologische Befund in die Gruppe PAI I einordnen.

Periapikaler Index zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung

In folgender Nachuntersuchung verzeichnete der PAI für die V. Gruppe eine Häufigkeit von n=18 (6,5%). Gruppe PAI IV erzielt n=76 Fälle (27,3%). Der PAI lässt sich bei n=75 Röntgenbildern in Gruppe PAI II (27%) einteilen. Am häufigsten ist die erste Gruppe PAI I mit n=109 Fällen vertreten (39,2%) (Abb. 14).

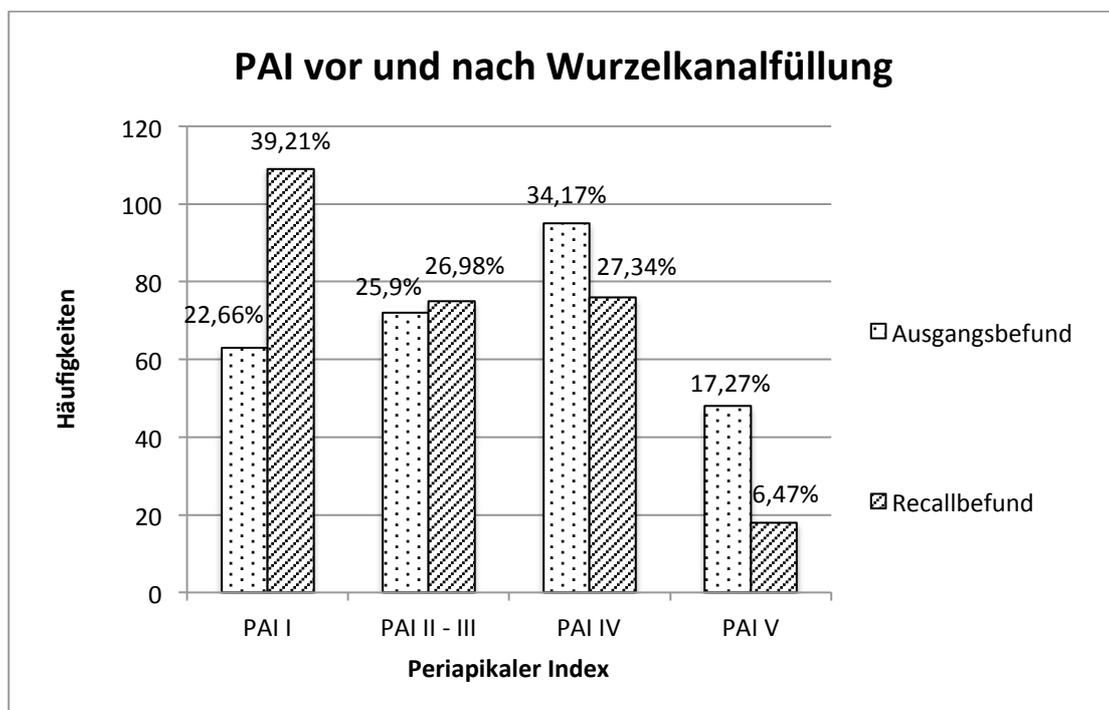


Abbildung 14 Gruppierendes Säulendiagramm: Darstellung der Verteilung der periapikalen Indizes zum Zeitpunkt des Ausgangsbefundes und zum Zeitpunkt der Nachuntersuchung.

Entwicklung des PAI

Bei n=66 Untersuchungen (23,7%) ist ein unsicheres Ergebnis und bei n=103 (37,1%) ein ungünstiges Ergebnis nach den Recalluntersuchungen zu beobachten. Der häufigste Ausgang einer Wurzelkanalbehandlung in dieser Studie lässt sich als erfolgreiches Ergebnis mit n=109 (39,2%) verzeichnen (Tab.4).

Tabelle 4 Verteilung der Ergebnisse der Wurzelkanalbehandlungen in drei Kategorien.

Erfolg	Teilerfolg	Misserfolg
$PAI_{\text{Recall}} = PAI \text{ I}$	$PAI_{\text{initial}} > PAI_{\text{Recall}} > PAI \text{ I}$	$PAI_{\text{initial}} \leq PAI_{\text{Recall}} > PAI \text{ I}$
109 (39,2%)	66 (23,7%)	103 (37,1%)

3.2 Ergebnisse der ordinalen logistischen Regression

3.2.1 Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung

Univariate ordinale logistische Regressionsanalyse mit der Zielvariable Erfolg

Der Einfluss der o.g. Variablen (s. 2.4 Tab. 2) auf die kategoriale Zielvariable Erfolg wurde zunächst mittels univariater Modelle evaluiert.

Die Variablen Quadrant, Länge, Verlauf und PAI_{initial} erweisen sich in den univariaten Modellen auf den Einfluss des Erfolges einer Wurzelkanalbehandlung als signifikant.

Der Regressionskoeffizient der unabhängigen Variable Quadrant ist mit dem Gesamtwert $p=0,029$ signifikant (Tab. 5). Bei genauerer Untersuchung der Unterschiede im Einfluss der Kategorien des Quadranten auf den Erfolg weist sowohl der 1. Quadrant, als auch der 2. Quadrant einen signifikanten Unterschied zu der Referenzkategorie, dem 4. Quadranten, auf. Der p-Wert von dem 1. zu dem 4. Quadranten kann mit $p_1=0,025$ und einer $OR_1=1,988$ und der p-Wert von dem 2. zu dem 4. Quadranten mit $p_2=0,044$ und einer $OR_2=1,878$ angegeben werden. Die Odds Ratio's verdeutlichen eine um das 1,988- bzw. 1,878-fache bessere Chance bei einer Wurzelkanalbehandlung im 1. bzw. 2. Quadranten im Vergleich zu einer

Wurzelkanalbehandlung im 4. Quadranten in eine höhere Erfolgskategorie zu gelangen. Die Erfolgswahrscheinlichkeit einer Behandlung ist demnach für den 1. und 2. Quadranten größer, als in dem 4. Quadranten. Ein Vergleich zwischen dem 3. Quadranten und dem Referenzwert führt zu keinem signifikanten Unterschied mit $p=0,886$ (Tab. 6).

Die Analyse der Länge einer Wurzelkanalfüllung zeigt einen signifikanten Zusammenhang auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. Der p-Wert für die gesamte Variable liegt bei $p=0,009$ (Tab. 5). Eine über den Apex hinausreichende Wurzelfülllänge (Länge 1) weist einen signifikanten Unterschied mit $p=0,001$ und einer $OR=0,262$ zu dem Referenzwert mit einer Länge von 0,5-1,5 mm Entfernung vom röntgenologischen Apex (Länge 4) auf. Da die Odds Ratio kleiner 1 ist ($OR<1$), ist die Erfolgswahrscheinlichkeit bei einer Wurzelfülllänge der Kategorie Länge 4 höher. Füllungen, die $<0,5$ mm (Länge 2) und $>1,5$ mm (Länge 3) des röntgenologischen Apex enden sind nicht signifikant verschieden ($p_2=0,516$ und $p_3=0,913$) zu einer Wurzelfülllänge der Kategorie Länge 4 (Tab. 6).

Einen weiteren signifikanten Einfluss in einem univariaten Modell auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung kann mit der Variable Verlauf beschrieben werden. Der p-Wert liegt bei $p=0,014$ (Tab. 5). Eine von einer Komplikation gezeichneten Wurzelkanalbehandlung und/oder eine Wurzelkanalbehandlung die weder die ursprüngliche Kanalanatomie noch eine kontinuierliche und konische Aufbereitung haben (Verlauf 1), besitzen einen signifikanten Unterschied gegenüber einem optimalen Kanalverlauf (Verlauf 4) mit $p=0,002$ und $OR=0,390$. Somit deutet ein optimaler Kanalverlauf auf eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit einer Wurzelkanalbehandlung hin. Genauer gesagt hat ein Verlauf der Kategorie Verlauf 1 lediglich eine 0,390-fach so große Chance in eine höhere Erfolgskategorie zu gelangen, als eine Füllung, auf die eine Kategorie Verlauf 4 zutrifft. Die Kategorien Verlauf 2 und Verlauf 3 weisen keinen signifikanten Unterschied zu der Referenzvariable Verlauf 4 auf ($p_2=0,425$ und $p_3=0,171$) (Tab. 6).

Einen stark signifikanten Einfluss mit $p<0,001$ hat der $PAI_{initial}$ als Gesamtvariable auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung (Tab. 5). Bei genauerer Betrachtung der Variable lässt sich ein signifikanter Unterschied zwischen dem $PAI_{initial}$ I und $PAI_{initial}$ V mit $p<0,001$ und $OR=16,472$ darstellen. $PAI_{initial}$ V dient als Referenzvariable. Die Chance in eine höhere Kategorie des Erfolges zu gelangen, ist demnach bei Wurzelkanalbehandlungen, die zu Beginn der Behandlung

einen $PAI_{initial}$ I aufweisen um das 16,472-fache höher als bei einem Ausgangsbefund mit einem $PAI_{initial}$ von V. $PAI_{initial}$ II-III und $PAI_{initial}$ IV weisen keinen signifikanten Unterschied zu dem $PAI_{initial}$ V auf ($p_2=0,222$ und $p_3=0,425$) (Tab. 6).

Die in den univariaten Modellen nicht signifikanten Variablen bezogen auf den Einfluss des Erfolges können aus folgender Tabelle entnommen werden (Tab. 5).

Tabelle 5 Univariante Modelle mit der Zielvariable Erfolg: Darstellung der signifikanten und nicht signifikanten Variablen als Gesamtvariable.

Variablen	p-Wert
Patientengeschlecht	0,091
Alter Patient	0,528
Altersklasse	0,362
Quadrant	0,029
Zahntypus	0,093
Studierendengeschlecht	0,651
Semester	0,976
Aufbereitungssystem	0,625
Nachuntersuchungszeitraum	0,506
Länge	0,009
Homogenität	0,838
Verlauf	0,014
$PAI_{initial}$	<0,001

Tabelle 6 Univariante Modelle: Darstellung der signifikanten Variablen in Kategorien mit Regressionskoeffizient, p-Wert und Odds Ratio.

Variablen	Regressionskoeffizient	p-Wert	Odds Ratio
1. Quadrant	0,692	0,025	1,998
2. Quadrant	0,630	0,044	1,878
3. Quadrant	-0,043	0,886	0,958
4. Quadrant	0*	.	1
Länge 1	-1,338	0,001	0,262
Länge 2	-0,229	0,516	0,796
Länge 3	-0,028	0,913	0,972
Länge 4	0*	.	1
Verlauf 1	-0,942	0,002	0,39
Verlauf 2	-0,245	0,425	0,783
Verlauf 3	-0,481	0,171	0,618
Verlauf 4	0*	.	1
$PAI_{initial}$ I	2,802	<0,001	16,472
$PAI_{initial}$ II-III	-0,424	0,222	0,654
$PAI_{initial}$ IV	-0,262	0,425	0,77
$PAI_{initial}$ V	0*	.	1
*=Referenzkategorie			

Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse mit der Zielvariable Erfolg

Bei einem p-Wert größer als $p=0.05$ im univariaten Modell gibt es keine statistische Evidenz für einen Einfluss der unabhängigen Variablen auf die abhängige Variable. Es gibt daher keinen Hinweis darauf, dass eine Änderung der unabhängigen Variablen eine tendenzielle Änderung der Erfolgskategorie zur Folge hat. Daher werden diese Variablen im Gesamtmodell der ordinalen logistischen Regressionsanalyse nicht berücksichtigt.

Die Werte der Variablen Quadrant, Länge, Verlauf und $PAI_{initial}$ weisen im univariaten Modell einen kleinen p-Wert ($p \leq 0,05$) auf und werden daher weiter in einem Gesamtmodell überprüft.

Der $PAI_{initial}$ verbleibt bei der Erstellung eines multiplen Modells nach einer Rückwärtsselektion als alleinige Variable. Um zu überprüfen, welche Variablen noch einen Einfluss haben, wenn man den $PAI_{initial}$ nicht im Gesamtmodell erfasst, zeigt sich dann im multiplen Modell, welches sich aus Länge, Verlauf und Quadrant zusammensetzt.

Die Variablen Länge, Verlauf und Quadrant weisen in dem Likelihood-Quotienten-Test für das Gesamtmodell einen Wert von 0,001 auf. Somit ist das finale Modell signifikant unterschiedlich von einem Modell ohne erklärende Variablen. Das Einbringen der Variablen liefert somit eine bessere Voraussage der Ergebnisse. Der Goodness-of-fit Test weist einen Wert über $p > 0,05$ auf und verdeutlicht somit, dass die Modellvoraussage und die tatsächlichen Daten zueinander passen und das Modell gut an die Daten angepasst ist. Die Werte für das Pseudo R^2 sind relativ klein, was darauf hindeutet, dass es noch weitere unbeobachtete Faktoren gibt, die einen Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung haben, jedoch in dieser Studie nicht erhoben wurden (Tab. 8).

Die Variable Länge hat eine Gesamtsignifikanz von $p=0,033$. Bei der Analyse der kategorialen Zusammenhänge dieser Variable, lässt sich ein signifikanter Unterschied $p=0,006$ zwischen der zu über den Apex hinausreichenden Länge (Länge 1) und der Referenzkategorie der Wurzelfülllänge, die 0,5-1,5 mm vom röntgenologischen Apex entfernt endet (Länge 4), feststellen. Die Odds Ratio liegt hier bei $OR=0,317$. Daraus hervorgehend hat eine Füllung der Länge 1 gegenüber der Kategorie Länge 4 lediglich eine 0,317-fach so hohe Chance in eine höhere Erfolgskategorie zu gelangen. Eine über den Apex hinausreichende Wurzelkanalfüllung

weist demnach eine niedrigere Erfolgswahrscheinlichkeit als eine Wurzelkanalfüllung mit einer Länge, die 0,5-1,5 mm des röntgenologischen Apex entfernt endet auf. Zwischen Füllungen, die <0,5 mm (Länge 2) und weniger als <1,5 mm des röntgenologischen Apex enden (Länge 3) ist kein signifikanter Unterschied zu Wurzelfüllungen der Kategorie Länge 4 festzustellen ($p_2=0,714$ und $p_3=0,793$) (Tab. 7).

Die Variable Verlauf der Wurzelkanalfüllung hat einen p-Wert von $p=0,040$. Ein mit Komplikationen behafteter und/oder ein nicht dem ursprünglichen Kanalverlauf entsprechender und weder kontinuierlich noch konischer Verlauf (Verlauf 1) unterscheidet sich signifikant mit $p=0,006$ von einem Verlauf, welcher diese Kriterien erfüllen kann (Verlauf 4). Die Odds Ratio beträgt in diesem Zusammenhang $OR=0,407$. Die Chance in eine höhere Erfolgskategorie zu gelangen, ist bei der Kategorie Verlauf 1 lediglich 0,407-fach so hoch als bei einem optimalen Verlauf der Kategorie Verlauf 4. Die Ausprägungen Verlauf 2 und Verlauf 3 des Kanalverlaufes weisen auf keine signifikante Unterscheidung zu dem optimalen Verlauf (Verlauf 4) hin ($p_2=0,298$ und $p_3=0,105$) (Tab.7).

Mit einem signifikanten p-Wert $p=0,016$ im Gesamtmodell zeichnet sich die Variable Quadrant aus. Eine genauere Betrachtung lässt deutlich einen signifikanten Unterschied zwischen dem 1. Quadranten und dem 2. Quadranten gegenüber der Referenzkategorie dem 4. Quadrant mit $p_1=0,008$ und $p_2=0,025$ verdeutlichen. Die Odds Ratio liegt bei Ersterem $OR_1=2,344$ und bei Letzterem $OR_2=2,064$. Die Odds Ratios besagen, dass die Chance in eine höhere Erfolgskategorie zu gelangen bei einer Wurzelkanalbehandlung im 1. Quadranten um das 2,344-fache und in dem 2. Quadranten um das 2,964-fache höher als bei einer Behandlung in dem 4. Quadranten ist. Eine Wurzelkanalbehandlung innerhalb von Quadrant 1 und 2 deutet auf eine höhere Erfolgswahrscheinlichkeit als eine Behandlung innerhalb des 4. Quadranten hin. Der 3. Quadrant weist keinen signifikanten Unterschied zu dem 4. Quadranten auf (Tab. 7).

Tabelle 7 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung.

	Regressions- koeffizient	Standardfehler	Wald	Signifikanz p	Odds Ratio	Unteres KI (OR)	Oberes KI (OR)
Länge 1	-1,148	0,422	7,409	0,006	0,317	0,139	0,725
Länge 2	-0,134	0,356	0,134	0,714	0,875	0,428	1,790
Länge 3	0,071	0,272	0,069	0,793	1,074	0,630	1,831
Länge 4	0*	.	.	.	1	.	.
Verlauf 1	-0,899	0,324	7,692	0,006	0,407	0,216	0,768
Verlauf 2	-0,337	0,323	1,085	0,298	0,714	0,379	1,345
Verlauf 3	-5,87	0,362	2,631	0,105	0,556	0,273	1,130
Verlauf 4	0*	.	.	.	1	.	.
1. Quadrant	0,852	0,321	7,021	0,008	2,344	1,248	4,400
2. Quadrant	0,752	0,324	5,004	0,025	2,064	1,094	3,896
3. Quadrant	0,091	0,314	0,084	0,772	1,095	0,597	2,025
4. Quadrant	0*	.	.	.	1	.	.

*=Dieser Parameter bildet die Referenzkategorie und wird gleich „null“ gesetzt.

Tabelle 8 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. „Likelihood-ratio Test“, „Goodness of fit Test“ und „Pseudo-R²“ Werte.

Likelihood-ratio Test	Goodness of fit Test		Pseudo R ²		
	Pearson	Deviance	Cox und Snell	Nagelkerke	Mcfadden
<0,001	0,630	0,167	0,103	0,116	0,050

3.2.2 Einfluss auf die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung

Analog zu der ordinalen logistischen Regressionsanalyse des Erfolges einer Wurzelkanalbehandlung (s. 3.2.1) werden in diesem Abschnitt Einflüsse auf die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung überprüft. Zunächst wird in univariaten Modellen die Signifikanz der einzelnen Variablen getestet und diese anschließend durch den rückwärtsgerichteten Variablenselektionsmechanismus in ein multiples Modell gefügt.

3.2.2.1 Einfluss auf die Länge einer Wurzelkanalfüllung

Univariate ordinale logistische Regressionsanalyse mit der Zielvariable Länge

Im univariaten Modell werden die unabhängigen Variablen mit der Zielvariable Länge auf ihre Signifikanz geprüft. Die unabhängigen Variablen Verlauf und Altersklasse deuten durch ihren p-Wert $p < 0,05$ auf einen signifikanten Zusammenhang mit der Zielvariable Länge hin.

Der Verlauf einer Wurzelkanalfüllung lässt sich in dem Gesamtwert durch $p < 0,001$ beschreiben (Tab. 9). Einen signifikanten Unterschied zwischen einem optimalen Verlauf (Verlauf 4) und einer komplizierten und/oder nicht den Kriterien eines optimalen Verlaufes entsprechenden Wurzelfüllung (Verlauf 1) lässt sich mit $p < 0,001$ und $OR = 0,316$ erkennen. Auch die Kategorie Verlauf 2 weist mit $p = 0,007$ und $OR = 0,431$ einen signifikanten Unterschied zu der Referenzkategorie Verlauf 4 auf. Dieser Zusammenhang stellt für einen Verlauf der Kategorie 1 eine 0,316-fach und für Kategorie 2 eine 0,431-fach so hohe Chance in eine bessere Qualitätskategorie gegenüber einem optimalen Verlauf zu gelangen dar. Die Wahrscheinlichkeit bei dem Abschluss einer Wurzelkanalbehandlung ein besseres Ergebnis in der Qualität der Länge zu erhalten ist demnach für einen optimalen Verlauf besser, als für Wurzelkanalfüllungen, die einen Verlauf der Kategorie 1 oder 2 aufweisen (Tab. 10).

Ein p-Wert von $p = 0,022$ weist auf einen Einfluss der unabhängigen Variable Altersklasse auf die Länge einer Wurzelkanalbehandlung hin (Tab. 9). Bei genauerer Untersuchung des Einflusses der einzelnen Alterskategorien auf die Zielvariable Länge hat sich zwischen den 50- bis 59-Jährigen und der Referenzgruppe der über 70-Jährigen ein signifikantes Ergebnis mit $p = 0,033$ ergeben. Die Odds Ratio beträgt in diesem Zusammenhang $OR = 2,187$. Dadurch ergibt sich für

die Altersklasse der 50- bis 59-Jährigen eine um das 2,187-fach bessere Chance in eine höhere Kategorie der Zielvariable Länge zu gelangen als bei den über 70-Jährigen (Tab.10).

Die übrigen überprüften unabhängigen Variablen weisen keinen signifikanten Einfluss auf den Einfluss auf die Länge einer Wurzelkanalfüllung in den univariaten Modellen hin (Tab.9).

Tabelle 9 Univariante Modelle der Zielvariable Länge: Darstellung der signifikanten und nicht signifikanten Variablen als Gesamtvariable.

Variablen	p-Wert
Patientengeschlecht	0,552
Alter Patient	0,253
Altersklassen	0,022
Quadrant	0,711
Zahntyp	0,193
Studierendengeschlecht	0,458
Semester	0,430
Behandlungssystem	0,073
Verlauf	<0,001
PAI _{initial}	0,076

Tabelle 10 Univariante Modell: Darstellung der signifikanten Variablen in Kategorien mit Regressionskoeffizient, p-Wert und Odds Ratio.

Variablen	Regressionskoeffizient	p-Wert	Odds Ratio
<29 Jahre	0,773	0,106	2,081
30-39 Jahre	-0,438	0,333	0,645
40-49 Jahre	0,528	0,169	1,696
50-59 Jahre	0,783	0,033	2,187
60-69 Jahre	0,050	0,897	1,051
>70 Jahre	0*	.	1,000
Verlauf 1	-1,153	<0,001	0,316
Verlauf 2	-0,841	0,007	0,431
Verlauf 3	<0,001	1,000	1,000
Verlauf 4	0*	.	1,000

*=Referenzkategorie

Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse mit der Zielvariable Länge

Die zuvor durchgeführte Regressionsanalyse anhand von univariaten Modellen zeigt einen signifikanten Zusammenhang der erklärenden Variablen Verlauf und Altersklasse auf die Zielvariable Länge.

Im Gesamtmodell ergibt sich für den Verlauf eine Signifikanz von $p=0,001$ und für die Altersklasse ein p-Wert $p=0,084$. Der p-Wert der Variable Altersklasse ist $p>0,05$ und daher nicht signifikant. Aus diesem Grund wird die Variable Altersklasse nicht mit in das Gesamtmodell genommen und nur der Verlauf einer Wurzelkanalbehandlung verbleibt als erklärende Variable im Gesamtmodell.

Der Likelihood-ratio Test ist $p < 0,001$ signifikant und bestätigt somit die Einbeziehung der Variable im multiplen Modell gegenüber einem Nullmodell. Mit einem Signifikanzwert über 0,05 beschreibt der Goodness-of-fit Test die Kongruenz zwischen der Modellvoraussage und den tatsächlichen erhobenen Daten. Das Gesamtmodell ist somit geeignet. Das „Pseudo-R²“ nimmt relativ kleine Werte an und deutet auf zusätzliche beeinflussende Faktoren hin, die in dieser Arbeit nicht erhoben wurden (Tab. 12).

Da die Variable Verlauf als alleinige Kategorie übrig bleibt, können die genauen Zusammenhänge dieser Variable aus dem Abschnitt „univariates Modell – Einfluss auf die Länge einer Wurzelkanalfüllung“ (s. 3.2.2.1) und folgender Tabelle entnommen werden (Tab.11).

Tabelle 11 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf die Länge einer Wurzelkanalfüllung.

	Regressions- koeffizient	Standardfehler	Wald	Signifikanz p	Odds Ratio	Unteres KOI (OR)	Oberes KOI (OR)
Verlauf 1	-1,153	0,308	14,019	<0,001	0,316	0,173	0,577
Verlauf 2	-0,841	0,312	7,284	0,007	0,431	0,234	0,794
Verlauf 3	-4,653E-5	0,368	0,000	1	1	,486	2,056
Verlauf 4	1	.	.
*=Dieser Parameter bildet die Referenzkategorie und wird gleich „null“ gesetzt.							

Tabelle 12 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf die Länge einer Wurzelkanalfüllung. „Likelihood-Ratio Test“, „Goodness of fit Test“ und „Pseudo-R²“ Werte.

Likelihood-ratio Test	Goodness of fit Test		Pseudo R ²		
	Pearson	Deviance	Cox und Snell	Nagelkerke	McFadden
<0,001	0,033	0,037	0,069	0,075	0,029

3.2.2.2 Einfluss auf die Homogenität einer Wurzelkanalfüllung

Univariate ordinale logistische Regressionsanalyse mit der Zielvariable Homogenität

Es werden Untersuchungen des Einflusses der unabhängigen Variablen auf die abhängige Zielvariable Homogenität im univariaten Modell gemacht. Die Variablen Patientenalter zum Zeitpunkt der Wurzelkanalbehandlung, Altersklasse und Verlauf einer Wurzelkanalfüllung erweisen sich in den univariaten Modellen mit der Untersuchung auf den Einfluss auf die Homogenität als signifikant.

Das Patientenalter zum Zeitpunkt der Wurzelkanalbehandlung ist mit $p=0,008$ signifikant (Tab. 13).

Die Variable Altersklasse zeichnet sich durch eine Signifikanz von $p=0,004$ aus (Tab. 13). Dabei weisen Patienten in einem Alter von <29 Jahren mit $p<0,001$ ($OR=0,182$) und einem Alter von 40-49 Jahren mit $p=0,006$ ($OR=0,332$) ein signifikantes Ergebnis gegenüber der Referenzkategorie der >70 -jährigen auf (Tab. 14).

Die Variable Verlauf besitzt einen signifikanten Einfluss von $p<0,001$ auf die Homogenität einer Wurzelkanalfüllung (Tab. 13).

Die drei Kategorien Verlauf 1, Verlauf 2 und Verlauf 3 sind mit jeweils $p_1<0,001$ $OR_1=0,229$, $p_2=0,019$ $OR_2=0,475$ und $p_3=0,005$ $OR_3=0,361$ signifikant verschieden zu der Referenzvariable optimaler Verlauf (Verlauf 4). Demnach ist für diese Kategorien die Chance in eine höhere Homogenitätskategorie zu gelangen lediglich um das 0,229-, 0,475- und das 0,361-fache so hoch gegenüber einem optimalem Verlauf (Tab. 14).

Die restlichen in dieser Analyse untersuchten Variablen weisen keinen signifikanten Einfluss auf den Einfluss der Homogenität einer Wurzelkanalfüllung in den univariaten Modellen hin (Tab. 13).

Tabelle 13 Univariate Modelle der Zielvariable Homogenität: Darstellung der signifikanten und nicht signifikanten Variablen als Gesamtvariable.

Variablen	p-Wert
Patientengeschlecht	0,466
Alter Patient	0,008
Altersklassen	0,004
Quadrant	0,520
Zahntypus	0,159
Sudierendengeschlecht	0,183
Semester	0,364
Aufbereitungssystem	0,196
Länge	0,147
Verlauf	0,000
PAI _{initial}	0,504

Tabelle 14 Univariate Modell: Darstellung der signifikanten Variablen in Kategorien mit Regressionskoeffizient, p-Wert und Odds Ratio.

Variablen	Regressionskoeffizient	p-Wert	Odds Ratio
Alter Patient	0,023	0,003	1,023
<29 Jahre	-1,703	<0,001	0,182
30-39 Jahre	-0,323	0,505	0,724
40-49 Jahre	-1,102	0,006	0,332
50-59 Jahre	-0,701	0,068	0,496
60-69 Jahre	-0,426	0,300	0,653
>70 Jahre	0*	.	1,000
Verlauf 1	-1,472	<0,001	0,229
Verlauf 2	-0,746	0,019	0,475
Verlauf 3	-1,019	0,005	0,361
Verlauf 4	0*	.	1,000
*=Referenzkategorie			

Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse mit der Zielvariable Homogenität

Die in den univariaten Modellen als signifikant erwiesenen Variablen Patientenalter, Altersklasse und Verlauf werden im multiplen Modell geprüft.

Im Rahmen der Rückwärtsselektion stellt sich ein p-Wert $p > 0,05$ für die unabhängige Variable Patientenalter zum Zeitpunkt der Wurzelkanalfüllung heraus. Diese Variable wird somit aus dem finalen Modell genommen.

Die beiden übrigen Variablen werden in einem gemeinsamen Modell getestet. Beide verbleiben signifikant und können zur Erklärung herangezogen werden.

Der Likelihood-Ratio Test von $p < 0,001$ beschreibt einen Informationsgewinn dieser beiden Variablen gegenüber einem Nullmodell. Der Goodness of fit test liegt bei $> 0,05$ und beschreibt einen passenden Zusammenhang der Datenlage und der Modellvoraussage. Das Pseudo R^2 liefert geringe Werte und deutet damit auf weitere, hier nicht aufgeführte Faktoren hin, die den Einfluss auf die Homogenität einer Wurzelkanalfüllung beeinflusst haben können (Tab. 16).

Die erklärende Variable Altersklasse stützt das Modell mit einem signifikanten p-Wert von $p=0,001$. Bei Betrachtung der einzelnen Alterskategorien bezogen auf die Referenzkategorie Altersklasse >70 Jahre lassen sich folgende Vergleiche ziehen: Zu der Kategorie der >70-jährigen weisen die Altersklasse 20-29 Jahre einen p-Wert von $p<0,001$ und eine $OR=0,161$ auf. Die Altersklasse 40-49 Jahre hat einen p-Wert von $p=0,002$ und eine $OR=0,276$. Die Altersklasse 50-59 Jahre weist mit $p=0,030$ und $OR=0,424$ eine Signifikanz auf. Die Chance im Ergebnis eine höhere Kategorie in der Zielvariable Homogenität zu erzielen, ist für Patienten unter 29 Jahren lediglich um das 0,161-fache, für 30 bis 39-jährige um das 0,276-fache und in der Altersspanne der 50 bis 59-jährigen um das 0,424-fache so hoch, wie bei den über 70-jährigen Patienten (Tab. 15).

Mit einem p-Wert von $p<0,001$ zeichnet sich die Variable Verlauf im Gesamtmodell aus. Die ersten drei Variablen des Verlaufes weisen zu ihrer Referenzkategorie Verlauf 4 (optimaler Verlauf) eine Signifikanz auf. Verlauf 1 mit $p_1<0,001$ $OR_1=0,198$, Verlauf 2 mit $p_2=0,010$ $OR_2=0,424$ und Verlauf 3 mit $p_3=0,008$ $OR_3=0,370$. Ein Verlauf 1 hat eine lediglich 0,198-fache, ein Verlauf 2 eine 0,424-fache und ein Verlauf 3 eine 0,008-fach so hohe Chance in eine bessere Kategorie der Homogenität zu gelangen. Die Wahrscheinlichkeit eine Wurzelfüllung mit einer besseren Homogenität zu erreichen ist demnach für solche, die keinen optimalen Verlauf aufweisen können geringer (Tab. 15).

Tabelle 15 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf die Homogenität einer Wurzelkanalfüllung.

	Rregressions- koeffizient	Standardfehler	Wald	Signifikanz p	Odds Ratio	Unteres KI (OR)	Oberes KI (OR)
<29 Jahre	-1,824	0,480	14,454	<0,001	0,161	0,063	0,413
30-39 Jahre	-0,257	0,497	0,268	0,605	0,773	0,292	2,046
40-49 Jahre	-1,287	0,416	9,578	0,002	0,276	0,122	0,624
50-59 Jahre	-0,858	0,395	4,713	0,030	0,424	0,195	0,920
60-69 Jahre	-0,645	0,427	2,280	0,131	0,525	0,227	1,212
>70 Jahre	0*	.	.	.	1	.	.
Verlauf 1	-1,620	0,328	24,436	0,000	0,198	0,104	0,376
Verlauf 2	-0,858	0,331	6,725	0,010	0,424	0,222	0,811
Verlauf 3	-0,994	0,374	7,067	0,008	0,370	0,178	0,770
Verlauf 4	0*	.	.	.	1	.	.

*=Dieser Parameter bildet die Referenzkategorie und wird gleich „null“ gesetzt.

Tabelle 16 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf Homogenität einer Wurzelkanalbehandlung. „Likelihood-Ratio Test“, „Goodness of fit Test“ und „Pseudo-R²“ Werte.

Likelihood-ratio Test	Goodness of fit Test		Pseudo R ²		
	Pearson	Deviance	Cox und Snell	Nagelkerke	McFadden
<0,001	0,035	0,061	0,145	0,163	0,071

3.2.2.3 Einfluss auf den Verlauf einer Wurzelkanalfüllung

Univariate ordinale logistische Regressionsanalyse mit der Zielvariable Verlauf

Bei der Betrachtung der unabhängigen Variablen in univariaten Modellen zeigen die Variablen Zahntypus, Geschlecht der Studierenden und Aufbereitungssystem einen signifikanten Zusammenhang mit der Zielvariable Verlauf auf.

Das Geschlecht der Studierenden scheint einen signifikanten Einfluss auf den Kanalverlauf einer Wurzelkanalfüllung zu haben. Dabei unterscheiden sich die weiblichen Studierenden mit $p=0,040$ signifikant von ihrer Referenzkategorie, den männlichen Studierenden (Tab. 17, Tab. 18). Das Odds Ratio für dieses Verhältnis liegt bei $OR=0,630$. Die Chance bei weiblichen Studierenden in eine höhere Kategorie für den Verlauf einer Wurzelkanalfüllung zu gelangen ist 0,630-mal so groß wie bei männlichen Studierenden.

Als Ergebnis lässt sich für die Variable Zahntypus ein p-Wert $p=0,011$ beschreiben (Tab. 17). Die Kategorie 6er Molar und 7er Molar weisen keine signifikanten Unterschied zu der Referenzkategorie 8er Molar auf, weshalb der Schluss naheliegt, dass es einen signifikanten Unterschied zwischen Kategorie 6er Molar und 7er Molar geben muss (Tab. 18). Eine Auswahl anderer Referenzkategorien war in SPSS nicht möglich.

Das Aufbereitungssystem ProTaper Next deutet auf einen signifikanten Unterschied von $p=0,020$ gegenüber dem FlexMaster-System hin (Tab. 17, Tab. 18). Die Odds' Ratio beträgt $OR=1,666$. Dem zu Folge steigt die Chance für PTN um das 1,666-fache in eine höhere Verlaufskategorie zu gelangen, als bei FM. Die Wahrscheinlichkeit einen besseren Verlauf bei einer Wurzelkanalbehandlung zu erlangen ist mit dem PTN-System höher, als bei einer Behandlung mit dem FM-System.

Die übrigen hier nicht weiter erwähnten Variablen sind bezüglich des Einflusses auf den Verlauf einer Wurzelkanalfüllung in den univariaten Modellen nicht signifikant (Tab. 17).

Tabelle 17 Univariate Modelle des Verlaufes: Darstellung der signifikanten und nicht signifikanten Variablen als Gesamtvariable.

Variablen	p-Wert
Patientengeschlecht	0,858
Alter Patient	0,202
Altersklassen	0,334
Quadrant	0,293
Zahntypus	0,011
Studierendengeschlecht	0,040
Semester	0,218
Aufbereitungssystem	0,020
Nachuntersuchung	0,953
PAI _{initial}	0,157

Tabelle 18 Univariate Modell: Darstellung der signifikanten Variablen in Kategorien mit Regressionskoeffizient, p-Wert und Odds Ratio.

Variablen	Regressionskoeffizient	p-Wert	Odds Ratio
6. Molar	0,516	0,442	1,676
7. Molar	1,142	0,093	3,132
8. Molar	<0,001	.	1,000
weibliche Studierende	-0,463	0,040	0,630
männliche Studierende	<0,001	.	1
PTN	0.510	0,020	1,666
FM	0*	.	1
*=Referenzkategorie			

Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse mit der Zielvariable Verlauf

Zunächst gelangen alle signifikanten Variablen: Zahntypus, Geschlecht der Studierenden und Aufbereitungssystem durch Rückwärtsselektion in die multiple ordinale logistische Regressionsanalyse. Es zeigt sich, dass die Variable Geschlecht des Studierenden in Kombination mit den o.g. Variablen nicht mehr signifikant ist ($p=0,059$) und somit aus dem Modell genommen wird. In einem weiteren Schritt wird nun die Signifikanz der beiden verbleibenden Variablen getestet. Die beiden Variablen Zahntyp und Aufbereitungssystem verbleiben signifikant im finalen Modell.

Der Likelihood-ratio Test beträgt 0,004 und bestätigt dadurch die Beschreibung des finalen Modells mit diesen Variablen gegenüber einem Nullmodell.

Mit $p>0,05$ für den Goodness of fit Test kann die Güte des Modells durch den Vergleich mit den erhobenen Daten bestätigt werden.

Ähnlich wie in den vorangegangenen Analysen liegen relativ kleine Werte für das Pseudo- R^2 vor. Ein Einfluss von nicht erhobenen Variablen wird vermutet (Tab. 20).

Die erklärende Variable Zahntypus weist im Gesamtwert einen signifikanten p-Wert von $p=0,018$ auf. Wie bereits im univariaten Modell beschrieben, weisen der 6. und 7. Molar keinen signifikanten Unterschied zu Referenzkategorie des 8. Molaren auf. Dies deutet auf einen signifikanten Unterschied zwischen dem 6. und 7. Molaren hin (Tab. 19).

Das Aufbereitungssystem des PTN weist einen signifikanten Unterschied mit $p=0,034$ zu dem FM-System auf. Die Odds Ratio beträgt für dieses Verhältnis $OR=1,600$. Demnach ist die Chance in eine bessere Verlaufskategorie zu kommen für Behandlungen, die mit dem PTN-System ausgeführt werden um das 1,6-fache höher als bei Behandlung mit dem FM-System. Die Wahrscheinlichkeit ein besseres Ergebnis im Kanalverlauf einer Wurzelkanalbehandlung zu erhalten ist bei Aufbereitungen mit dem PTN größer (Tab. 19).

Tabelle 19 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf den Verlauf einer Wurzelkanalfüllung.

	Regressions- koeffizient	Standardfehler	Wald	Signifikanz p	Odds Ratio	Unteres KI (OR)	Oberes KI (OR)
6. Molar	0,619	0,674	0,844	0,358	1,857	0,496	6,957
7. Molar	1,191	0,681	3,059	0,080	3,289	0,866	12,492
8. Molar	0*	.	.	.	1	.	.
PTN	0,407	0,222	4,477	0,034	1,600	1,035	2,472
FM	0*	.	.	.	1	.	.

*=Dieser Parameter bildet die Referenzkategorie und wird gleich „null“ gesetzt.

Tabelle 20 Multiple ordinale logistische Regressionsanalyse: Einfluss auf den Verlauf einer Wurzelkanalbehandlung. „Likelihood-ratio Test“, „Goodness of fit Test“ und „Pseudo-R²“ Werte.

Likelihood-ratio Test	Goodness of fit Test		Pseudo R ²		
	Pearson	Deviance	Cox und Snell	Nagelkerke	McFadden
0,004	0,482	0,408	0,047	0,050	0,018

4. Diskussion

4.1 Diskussion der Methodik

4.1.1 Zusammensetzung des Patientengutes

Die Patienten dieser retrospektiven Arbeit wurden unabhängig von personenbezogenen Angaben wie Geschlecht, Alter, Konfession, Nationalität und unabhängig einer Erst- oder Revisionsbehandlung ausgewählt. Es wurden nur Molaren betrachtet. Eine Recallinformation in Form eines Röntgenbildes musste für jeden Fall vorliegen. Ausgeschlossen wurden Patienten, welche eine chirurgische Wurzelspitzenresektion erhielten. Die Auswertung erfolgte von einem unabhängigen Betrachter, der kein Behandler ist und in keinem Angestelltenverhältnis zu der Charité – Universitätsmedizin Berlin steht.

Die Daten des Patientengutes entstammen dem Zeitraum von November 2011 bis Januar 2016 aus der institutseigenen endodontischen Datenbank. Die Studienpopulation stellt kein Gesamtkollektiv der Berliner Gesellschaft dar, sondern repräsentiert nur einen Ausschnitt aus dieser.

Der Zahntypus Molar ist am häufigsten mit einer endodontischen Therapie assoziiert [5, 81]. Die Wurzelkanalbehandlung gilt an dieser Zahngruppe als komplex und herausfordernd. Hier gewonnene Erkenntnisse können somit auch von anderen Zahngruppen genutzt werden. Demnach ist die Analyse der Qualität von Wurzelkanalbehandlungen und des Erfolges von besonderem Interesse.

4.1.2 Studiendesign:

Arbeiten die in ihrem Studiendesign different sind, können nur begrenzt miteinander verglichen werden [89]. Dies mag an der Durchführung, den Auswahlkriterien, dem Beobachtungszeitrum, der unterschiedlichen Behandlungsart und der Anzahl der erhobenen Fälle liegen. Die Definition und Evaluation von Erfolg und Qualität, so wie die Wahl der zu untersuchenden einflussgebenden Faktoren variieren häufig in der Literatur.

Kriterien für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung

Eine einheitliche Definition von Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung findet man in der Literatur bis heute nicht. Diese Arbeit hat sich an den Leitlinien der DGZMK, die sich auf die „quality guidelines for endodontic treatment“ der ESE bezieht, orientiert [1] [27]. Als röntgenologisches Erfolgskriterium wurde eine vollständige knöcherne Regeneration ohne Verbreiterung des Parodontalspaltens bei intakter Lamina dura vorausgesetzt. Dies entspricht einem PAI I. In der Literatur ist der Vergleich des PAI nach Ørstavik et al.[2] vor und nach der Behandlung eine häufige gewählte Methode, um den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung zu messen [42, 44].

Einige Studien fassen den PAI dichotom als Erfolg (PAI I + II) und Misserfolg (PAI III+IV+V) zusammen [22, 43, 44, 90-94]. Binäre Erfolgskriterien „Erfolg/Misserfolg“ können nur unzureichend interindividuelle Reproduzierbarkeiten darstellen und sind daher zum Vergleich zwischen Studien nicht geeignet [6].

Der PAI II wird oft mit PAI I zu der Kategorie Erfolg gewertet [52, 68]. Boucher et al. empfehlen jedoch die wie in vorliegender Arbeit gewählte Einteilung. So soll ein PAI I als Erfolg und >PAI I als Misserfolg gezählt werden [68]. Die Begründung der Autoren liegt zum einen darin, dass Radioluzenzen immer unterdimensioniert erscheinen. Zum anderen liegt bei einem PAI II ein aufgeweitetes periapikales Ligament vor. Das geweitete Ligament kann im Prozess einer Heilung, einer Irritation sein oder in einen pathologischen Zustand übergehen [68]. Alle drei Möglichkeiten entsprechen keinem ausgeheilten Zustand. Oft wird die Größenreduktion der periapikalen Transluzenz als ein langsam wählender Heilungsprozess angesehen [90]. Die Regredienz einer Läsion ist jedoch röntgenologisch nur schwer festzustellen. Eine Studie aus dem Jahre 1997 hat röntgenologische Ergebnisse histopathologisch überprüft. Keines der Ergebnisse konnte auf eine (so oft erhoffte) narbende Heilung hindeuten [95]. Die röntgenologische Unterscheidung zwischen verschiedenen Graden pathologisch veränderter Strukturen ist schwerer zuzuordnen, als eine klaren Unterscheidung zwischen „gesund“ und „erkrankt“ zu treffen (Interobserver agreement) [96]. Um unsichere Ergebnisse auszuschließen wurde aus diesem Grund nur der PAI I als Erfolg bewertet.

Kirkevang et al. haben für jeden PAI Wert eine prognostische Aussagekraft feststellen können [42]. Nach 5 Jahren besitzt ein PAI III eine 33%ige Chance zu einem PAI I oder II aufzusteigen und eine 57%ige Chance sich zu verschlechtern oder unverändert zu bleiben. Für 10% besteht das Risiko einer Extraktion [42]. Demnach gehen hohe PAI Werte nach 5 Jahren mit einem

erhöhten Extraktionsrisiko gegenüber solchen mit einem niedrigerem PAI einher. Dieses Ergebnis verdeutlicht wie wichtig es ist, den PAI nicht dichotom zu verwenden, sondern, dass jeder PAI Wert eine diagnostische Aussagekraft besitzt [42].

Kriterien für die Länge einer Wurzelkanalbehandlung

Die meisten erfolgsbetrachtenden Publikationen von Wurzelkanalbehandlungen beruhen auf retrospektiven Auswertungen [71]. Aus diesem Grund können keine exakten Angaben zu der Solllänge von Wurzelfüllungen angegeben werden [71]. Für infizierte Kanäle soll die Arbeitslänge nicht kürzer als das tiefste Level der bakteriellen Kontamination sein [71]. Da in der vorliegenden Arbeit vor Behandlungsbeginn bei weit über 50% der Zähne (77%) eine periapikale Läsion vorlag, ist davon auszugehen, dass diese bakteriell infiziert sind. Bei den übrigen Zähnen, ohne apikale Aufhellung, kann man im Umkehrschluss nicht davon ausgehen, dass diese nicht infiziert sind. Die Länge der Wurzelfüllung wurde in vier Kategorien unterteilt. Ein direkter Vergleich auf Grund unterschiedlicher Studiendesigns ist daher erschwert. Häufig wird eine Länge von 0-2 mm vom röntgenologischen Apex als akzeptabel bemessen. Diese Arbeit traf eine „engere“ Einteilung, um zu überprüfen, ob diese einen Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung haben. Andere Studien weisen noch „engere“ Einteilung von 0-1 mm, 1-3 mm, >1 mm vom röntgenologischen Apex auf [25, 72, 97, 98]. Vergleichend zu vorliegender Arbeiten beschreiben Studien eine Einteilung von 0,5-1,5 mm, > 1,5mm und <0,5 mm vom röntgenologischen Apex endend und über den Apex hinaus reichend [60, 99, 100].

Kriterien für die Homogenität einer Wurzelkanalbehandlung

Die Homogenität als Maß zur Qualitätsbeurteilung fand bereits in zahlreichen Publikationen Verwendung [59, 65-67]. Davon wurde auch die Homogenität in Studierendenkursen untersucht [56, 59-62]. Die Homogenität einer Wurzelkanalfüllung wird in einigen Studien dichotom als adäquat oder inadäquat (akzeptabel/inakzeptabel) bewertet [57, 62]. Die Einteilung in vier Kategorien der Homogenität möchte genauer untersuchen, ob die einzelnen Kategorien einen Einfluss auf das Ergebnis zeigen. Ist es beispielsweise möglich, ein gutes Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung zu erhalten, wenn die Füllung zwar inhomogen, aber durch einen Stopp apikal verdichtet ist?

Kriterien für den Verlauf einer Wurzelkanalbehandlung

Viele Studien berücksichtigen lediglich die Länge und die Homogenität, um die Qualität einer Wurzelfüllung zu beschreiben [57, 65-68, 81]. Studien, die den Taper mit einbeziehen, betrachten diesen lediglich als Maß für die Konizität. In dieser Arbeit wurden der Erhalt des natürlichen Kanalverlaufs und eine kontinuierliche und konische Präparation gefordert. Auch Kanalaberrationen und Aufbereitungsfehler wurden betrachtet. Annäherungsweise beschreibt eine klinische Studie die Kategorie Taper mit einer konischen Füllung, die den ursprünglichen Kanalverlauf möglichst enthalten soll, als akzeptabel [61]. Dabei wird in den Qualitätsrichtlinien der ESE eine kontinuierliche konische Präparationsform, die den ursprünglichen Kanal umfasst, gefordert [1]. Ebenso befürwortet dies bereits Schilder 1974 in seinem „funnel shaped design“, der möglichst den originalen Kanalverlauf nachgehen soll [13]. Durch fehlende kompatible Studien ist ein Vergleich erschwert.

Röntgenbilder

Die Auswertung von Erfolg und Qualität erfolgte an Hand von Röntgenbildern. Auch andere Studien beziehen sich lediglich auf die röntgenologische Auswertung [23, 50, 62, 68]. Eine routinierte Bewertung der periapikalen Region und die Beurteilung der Wurzelfüllung in vivo ist nur auf der Basis bildgebender Verfahren möglich [50, 67].

Neben der initialen Diagnosestellung, der Erkennung von Kanälen und Krümmungen, dient das Röntgenbilder als forensische Absicherung. Die Auswertung erfolgte von dem gleichen Betrachter und kann daher standardisiert betrachtet werden. Einige Studien werten zu der röntgenologischen Bildgebung noch klinische Symptome aus [33, 93, 94]. Klinische Informationen sind zwar in der Endodatenbank gespeichert, diese sind jedoch nicht valide. Somit wurde das Auswertungsgut auf Röntgenbilder beschränkt.

Die Röntgenbilder sind limitierend. Wurzelkrümmungen in vestibulo-oraler Richtung können röntgenologisch nur unzureichend bewertet werden. Mesio-distale Abbildungen von Zähnen gewährleisten keine valid Information über die Qualität eines dreidimensionalen Objektes [101]. Selbst bei röntgenologisch einwandfrei erscheinende Füllungen verbleiben für gewöhnlich nicht erfasste und nicht instrumentierte Abschnitte des Wurzelkanalsystems unbehandelt [102, 103]. Es können Substanzen wie Mikroorganismen, Debris, Dentinabrieb, nekrotisches Gewebe oder steriles Pulpagewebe ohne vaskulären Anschluss enthalten sein

[103]. Periapikale Läsionen können im Röntgenbild (falschpositiv) interpretiert unterschätzt und unterdimensioniert dargestellt werden [104]. So würden beispielsweise an extrahierten Molaren Eindringprüfungstests (dye-penetration test) die falsch positiven Ergebnisse röntgenologisch einwandfreier Wurzelfüllungen aufdecken [50, 101]. Dies wäre jedoch in vivo nicht möglich durchzuführen. Brynolf konnte bei ihrer histologischen Studie nur an 7% aller wurzelkanalbehandelten Oberkiefer Frontzähnen entzündungsfreies Gewebe feststellen [45]. Konträr sieht dies eine spätere Studie von Green et al., die das Röntgenbild als „akkuraten Indikator“ einer Entzündung definiert. An fast allen radiologisch einwandfreien Wurzelfüllungen konnte kein entzündungsfreies Gewebe festgestellt werden (74%) [95].

4.1.3 Statistik

Wahl des statistischen Modells

Die Wahl der statistischen Analyse dieser Arbeit bediente sich der Regressionsanalyse. Diese ist ein Analyseverfahren, das den Zusammenhang zwischen einer Zielvariable und einer oder mehrerer erklärenden Variablen beschreibt [105].

Neben zahlreichen Studien mit endodontischen Fragestellungen, die eine logistische Regressionsanalyse verwenden [106-108], befassen sich einige Studien gezielt mit der Untersuchung von Faktoren welche die Qualität [50, 52], den periapikalen Status [41, 42, 109, 110] und das Ergebnis [22, 40, 43, 90, 94, 111-113] einer Wurzelkanalbehandlung beeinflussen bzw. vorhersagen.

Wie in den vorherigen Abschnitten dargelegt wird (s. 2.4), sind einerseits patientenbezogene und nicht patientenbezogene Daten ermittelt worden. Ziel ist es, den Einfluss dieser Variablen auf ein bestimmtes Ereignis, den Erfolg und die Qualität einer Wurzelkanalbehandlung zu bestimmen.

Die ordinale logistische Regression wurde gewählt, da mit ihrer Hilfe mehr Informationen aus den Daten gewonnen werden können als mit einfachen statistischen Tests wie dem Chi²-Test oder dem Mann-Whitney-U Test. Zwar könnte mit ihnen auf einen signifikanten Unterschied zwischen zwei Variablen getestet werden, jedoch kann hierdurch nur eine Aussage darüber getroffen werden, ob die untersuchten Variablen assoziiert sind, aber es kann keine Aussage über die Richtung des Effekts getroffen werden. Es ist zudem auch anzunehmen, dass die in dieser Arbeit modellierten abhängigen Variablen Erfolg und Qualität von mehr als einer

Variable abhängen, was mit den genannten Tests gar nicht berücksichtigt werden könnte. Regressionsmodelle hingegen sind gerichtet, können mehrere Variablen und ihren gemeinsamen Einfluss berücksichtigen und lassen auch eine Aussage über die Stärke des Einflusses einer unabhängigen Variable auf die abhängige Variable zu. Zudem kann überprüft werden, inwiefern sich der Einfluss von unabhängigen Variablen sich ändert, wenn eine weitere Variable in das Modell hinzugefügt oder herausgenommen wird.

Das Bestreben dieser Arbeit ist es jedoch, den Einfluss der Variablen auf ein Ereignis zu modellieren. Durch die erwähnten Testverfahren würde man den Einfluss nicht bestimmen können. Aus diesem Grunde nahmen diese Methoden in der vorliegenden Arbeit keine Verwendung.

Als alternatives statistisches Verfahren hätte auch die Diskriminanzanalyse Verwendung finden können. Umgekehrt zur logistischen Regressionsanalyse variieren bei der Diskriminanzanalyse die unabhängigen Variablen zufällig und die Zielvariable bleibt fixiert [83].

Die logistische Regression ist zwar rechnerisch aufwendiger, ihr großer Vorteil liegt jedoch darin, dass weniger Annahmen für die Analyse benötigt werden. Dadurch ist sie auf große Ausreißer weniger störanfällig und robuster als die Diskriminanzanalyse [83].

Bei den Regressionsanalysen lassen sich mehrere Varianten unterscheiden. Die bekanntere lineare Regression benötigt eine normalverteilte und stetige Skalierung der Zielvariablen [84, 105]. Die Beziehung der Variablen sollten annäherungsweise linear sein und zudem muss die Varianz der Verteilung der abhängigen Variablen für alle Werte der unabhängigen Variablen konstant sein (Homoskedastizität). Diese Voraussetzungen für die lineare Regression sind den vorliegenden Daten dieser Arbeit nicht gegeben.

Im Unterschied zur binären logistischen Regression kann die abhängige Variable der ordinalen logistischen Regression mehr als zwei Ausprägungen besitzen, die ordinal skaliert sind.

Da der zugrunde liegende Datensatz nicht linear ist und die Zielvariablen Erfolg, Länge, Homogenität und Verlauf jeweils mehr als zwei Ausprägungen besitzen, kann auch die binäre logistische Regression nicht als statistische Methode gewählt werden. Durch die Ausschlusskriterien wird somit die Wahl der ordinalen logistischen Regression bestätigt.

Zudem besitzt die ordinale logistische Regression den Vorteil, dass die unabhängigen Variablen nicht normalverteilt sein müssen [86].

Mit 278 Patientenfällen kann die vorliegende Arbeit den Ansprüchen an die erforderliche große Fallzahl für die logistische Regression genügen. Für jede freie Variable sollten ungefähr

10, besser 20-30 Fälle vorliegen. Für genauere Schätzungen der Regressionskoeffizienten werden 50 Fälle benötigt [84].

Limitation der Statistik

Die Daten sind sowohl bei der Modellierung des Erfolges wie auch der Qualität (Länge, Homogenität und Verlauf) unter der Annahme analysiert worden, dass die ordinale logistische Regression die Daten angemessen modelliert. Bei der Auswertung hat sich ergeben, dass die Annahme der proportionalen Odds in einigen Fällen möglicherweise nicht angemessen sein könnte. Ein Test zu dieser Vermutung kann mit den vorliegenden Daten jedoch nicht angewendet werden, da zu diesem Zweck eine große Zahl von Parametern benötigt werden, die sich aus diesem Datensatz nicht zuverlässig bestimmen lassen.

Um eine eindeutige Güte der Regressionsanalyse zu bestimmen und um einen Zirkelschluss zu vermeiden, ist es notwendig die Regressionsanalyse mit anderen Daten zu validieren [84].

Man könnte den vorliegenden Datenbestand durch ein Data-Splitting trennen. Ein Teil der Daten könnte zur Erstellung eines Regressionsmodells herangezogen werden und der andere könnte dieses dann validieren [84]. Da die Datenmenge durch das Data-Splitting verkleinert wird, wurde dieses Verfahren in vorliegender Arbeit nicht verwendet.

Denkbar wäre auch eine interne Validierung mit dem gleichen Datensatz. Durch Resampling der Daten könnten neue Teilmengen gebildet werden [84]. Die Ergebnisse dieses Vorgehens sind dennoch nicht so aussagekräftig wie durch die interne Validierung oder durch die Validierung mit externen Daten, da diese aus einem unabhängigen Datensatz stammen [84].

Daher wäre die Erhebung weiterer Daten in einer neuen Studie denkbar, um die Nutzbarkeit des Regressionsanalyse mit einer externen Validierung zu prüfen.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Deskriptive Ergebnisse

4.2.1.1 Deskriptive Ergebnisse des Erfolges

Zahlreiche Studien haben den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen untersucht [22-25, 44, 114, 115]. Erfolgsquoten von 70-80% [24] und bis zu über 90% [22, 26, 28] wurden berichtet. Eine systematische Literaturübersicht aus dem Jahre 2007 untersuchte 63 Studien und konnte eine durchschnittliche Erfolgsrate von 31%-96% für Studien mit „strikeren“ Erfolgskriterien erkennen[26]. Studien mit „lockeren“ Erfolgskriterien kamen laut der Studie auf eine Erfolgsrate von 60%-100% [26]. In dieser Arbeit wurde als röntgenologisches Erfolgskriterium eine vollständige knöcherne Regeneration ohne Verbreiterung des Parodontalspaltes bei intakter Lamina dura vorausgesetzt. Dies entspricht einem PAI I und wurde in 39,2% der Behandlungen erreicht. Als unsicheres Ergebnis wurden Wurzelkanalbehandlungen angesehen, die sich um ihren vorausgegangenen PAI-Wert verbessert haben und nicht PAI I entsprachen. 23,7% erreichten ein unsicheres Ergebnis. Ein ungünstiges Ergebnis wurde in 37,1% der Fälle gezählt. Der Ausgangswert hatte sich verschlechtert oder blieb unverändert (PAI<I). Die im internationalen Vergleich publizierten Arbeiten variieren in ihren Erfolgsraten. Dies mag einerseits an der Definition von Erfolg und andererseits an dem unterschiedlichen Studiendesign liegen. Nicht zu unterschätzen ist die Tatsache, dass Studierende die Wurzelkanalbehandlung durchgeführt haben. Bei anderen Studien sind die Behandlungen meist von Spezialisten oder von erfahrenen Zahnärzten durchgeführt worden. Vergleiche zu anderen Studien können daher nur mit Vorsicht getroffen werden. Eine einheitliche Definition von Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung findet man in der Literatur bis heute nicht. Diese Arbeit hat sich an die Leitlinien der DGZMK, die sich auf die „quality guidelines for endodontic treatment“ der ESE bezieht, orientiert [1, 27]. Einige Studien fassen den PAI dichotom als Erfolg (PAI I + II) und Misserfolg (PAI III+IV+V) zusammen [22, 43, 44, 90-94] und werten PAI I und PAI II als erfolgreich.

In vorliegender Arbeit wurde eine strengere Einteilung vorgenommen und nur der PAI I als günstiges Ergebnis gewertet. Wäre diese Arbeit angelehnt an die Definition von einigen anderen Studien vorgenommen worden, PAI I und PAI II gemeinsam als Erfolg gewertet, so würde der Erfolg dieser Arbeit 66,2% betragen.

Bei Überlebensstudien steht die Funktionalität des Zahnes im Vordergrund. Salehrabi et al. erzielen eine 97% Überlebenswahrscheinlichkeit für Zähne, welche in situ vorliegen [116]. Unabhängig von röntgenologischen oder klinischen Befunden werden Zähne, die noch in Funktion im Kiefer vorhanden sind als Erfolg bewertet. Extrahierte oder nach erfolgter Wurzelkanalbehandlung nicht mehr vorhandene Zähne werden als Misserfolg bezeichnet [116-118]. Zu dem Zeitpunkt der Recalluntersuchung lagen in dieser Arbeit nur drei extrahierte Zähne vor. Dies würde in einer Überlebensstudie einem Erfolg von 93% entsprechen.

Andere Studien fassen bereits eine Verbesserung der Ausgangssituation als Erfolg zusammen [119]. Eine Verbesserung von beispielsweise einem PAI V auf einen PAI IV wird als Erfolg gewertet. Überträgt man diese Definition auf die vorliegende Arbeit, so würde diese eine Erfolgsrate von 62,9% erreichen. Klinische Erfolgsstudien sind häufig nicht auf einen speziellen Zahntypen beschränkt, sondern analysieren alle Zahntypen wie Front- und Eckzähne, Prämolaren und Molaren [22, 23, 25, 42, 64, 73, 112, 120]. Mit der Beschränkung auf Molaren sind Vergleiche zu anderen Publikationen erschwert. Wurzelkanalbehandlungen an Molaren gelten als anspruchsvoll. Sie heben sich durch multiple Kanäle, Krümmungen und akzessorische Kanäle gegenüber anderen Zahntypen hervor. Das Auffinden der Kanäleingänge ist durch den posterioren Zugang erschwert, welche auch die Aufbereitung und die Obturation beeinflusst. Benenati et al. berichtet von einem statistisch signifikanten Unterschied im Behandlungsergebnis zwischen den Zahntypen ($p=0,003$) [23]. Die Oberkiefer Frontzähne erzielen die höchste, wohingegen die Unterkiefer Molaren die geringste Erfolgsrate erzielen [23]. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch andere Arbeiten [41, 64, 66, 121]. Die Wahrscheinlichkeit eines Mislingens ist allein durch die erhöhte Anzahl an Wurzeln bei Molaren, gegenüber einwurzeligen Zähnen erhöht [41]

Kerekes und Tronstad untersuchten im Studierendenkurs der Universität in Oslo den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen. 91% der Behandlungen waren erfolgreich, 4% gingen mit einem unsicheren Ergebnis hervor und 5% waren von Misserfolg gekennzeichnet [25]. Im Gegensatz zu dieser Arbeit verwendeten die Untersucher die Zahnwurzel als kleinste Beobachtungseinheit [25]. Da die Auswirkung einer erfolgslosen Wurzelkanalbehandlung meist nicht nur eine einzelne Wurzel betrifft, sondern der gesamte Zahn betroffen ist (der gesamte Zahn wird extrahiert) und es zu dem noch deutlich schwierig ist, den verursachenden Wurzelkanal bzw. die verursachende Wurzel aufzufinden, wurde der Zahn – analog zu anderen Studien [33, 64], als kleinste Untersuchungseinheit angesehen. Studien, welche die Wurzel als kleinste Einheit

verwenden [22, 25, 112, 122], gehen mit höheren Erfolgsraten einher [27]. So kann beispielsweise ein Erfolg für zwei Wurzeln und ein Misserfolg für eine Wurzel verzeichnet werden, obwohl der Zahn als Ganzes als Misserfolg zu bewerten ist [27].

Die höchste Erfolgsrate überhaupt ist 1981 bei Hession et al. mit 98,7% beschrieben worden [123]. Zum einen variiert hier die Behandlungsart, zum anderen wurden ein bis zwei wurzelige Zähne betrachtet und die Auswertung erfolgte nicht unabhängig von dem gleichen Behandler [89]. Zähne mit bereits vorhandener Parodontitis apicalis weisen geringere Erfolgsraten auf [25, 28, 112]. Umso höher die präoperative Anzahl an Parodontitis apicalis ist, desto niedriger ist in der Regel der Erfolg der Behandlung [89]. Bei 77,7% der Zähne dieser Arbeit lag eine röntgenologische periapikale Läsionen zu Untersuchungsbeginn vor. Häufig fehlen derartige Angaben in Studien oder weisen deutlich geringere Werte auf. Bei Jordal et al. weisen 48% der Zähne vor der Behandlung eine periapikale Transluzenz auf [44]. Bei Friedman et al. sind es 55% [24] und bei Ørstavik et al. insgesamt 28% [40]. Mit der erhöhten Anzahl der periapikalen Läsionen nimmt die Wahrscheinlichkeit von Differentialdiagnosen zu einer Parodontitis apicalis zu. Differentialdiagnostisch kommen radikuläre Zysten und osteolytische Tumore wie Riesenzellgranulome, eosinophile Granulome, Ameloblastome und Mukoepidermoidtumore in Frage. Diese sind gegenüber einer Wurzelkanalbehandlung therapieresistent und können demnach nicht zu dem Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung beitragen. Sie werden chirurgisch interveniert. Eine genaue Abklärung kann nur histopathologisch erfolgen.

Im Studiendesign erfolgte keine Unterscheidung zwischen einer initialen endodontischen Therapie oder einer Revisionsbehandlung. Studien zu Revisionsbehandlungen zeigen geringere Erfolgsaussichten als Erstbehandlungen. Sjögren et al. berichten von 62% Erfolg nach einem Beobachtungszeitraum von 8-10 Jahren [22]. Wohingegen Danin et al. 28% Erfolg bei Revisionsbehandlungen erhalten [92]. Als Grund für dieses Ergebnis führt Danin et al. die geringe Observationsdauer auf [92]. In vorliegender Arbeit beträgt der Nachuntersuchungszeitraum 10,71 Monaten ($\pm 10,24$). Ørstavik et al. sehen eine Observationsdauer von 0,5-1 Jahr als akzeptabel [40, 122]. Bei Kerekes und Tronsted beginnt die Recalluntersuchung nach einem halben Jahr [25]. Eine Verbesserung des Behandlungsergebnis mit steigender Beobachtungszeit wird in einer Studie von Peak et al. beschrieben [64]. Zähne mit einer Beobachtungszeit von drei oder mehr Jahren zeigten ein höheres Erfolgsergebnis gegenüber einem Recallzeitraum von weniger als drei Jahren. Zu einem ähnlichem Ergebnis kam die Studie von Molven et al. [124]. Hier wurde das Patientenkollektiv

im Studierendenkurs der Bergen Universität Norwegen zuerst nach 10-17 Jahren und nach 20-27 Jahren bewertet. Die Nachuntersuchung nach 20-27 Jahren zeigte deutlich bessere Heilungsergebnisse, als nach der ersten Untersuchung nach 10-17 Jahren [124].

Recallraten sind nicht immer in der Literatur angegeben und zum Teil nur mit sehr geringen Werten mit weniger als 10% [125] und 36% [126] angegeben. Durch hohe „drop-outs“ gelangen weniger Zähne in die Nachuntersuchung. Dementsprechend werden weniger schlechte Ergebnisse in die Auswertung mit einbezogen. In vorliegender Arbeit wurden nur Fälle mit Recall bewertet. Die Recallrate beträgt 100%. Es ist anzunehmen, dass Patienten mit Symptomaten und Schwierigkeiten nach abgeschlossener Wurzelkanalbehandlung eher zu einem Kontrolltermin erscheinen, als symptomfreie Patienten.

Durch Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der Endodontologie sind die Möglichkeiten und das Behandlungsspektrum erweitert. Zähne mit geringen Erfolgsaussichten werden heute wenn möglich nicht extrahiert, sondern einer Wurzelkanalbehandlung unterzogen [89]. Es wird von einem Anstieg von komplexeren Patientenfällen berichtet [81]. An Zahnkliniken ist die Zahl der schwierigeren Behandlungen häufig höher und die Behandlung im Studierendenkurs benötigt oftmals mehrere Behandlungstermine. Die mangelnde Übung und Erfahrung der Studierenden, stellen eine Herausforderung dar, die zu niedrigeren Erfolgsraten führen kann [89]. Meist stammen Studien von Studierenden aus der postgradualen Ausbildung, wohingegen die Studierenden dieser Arbeit kaum praktische Erfahrungen haben. Für einige Studierende dieser Arbeit war die Wurzelkanalbehandlung die erste am Patienten. Neben der Nervosität, spielt vor allem die mangelnde Erfahrung und Übung eine große Rolle, die das Ergebnis beeinflusst haben kann. Auch ein Faktor, der in dieser Arbeit nicht weiter untersucht wurde ist die Desinfektion der Wurzelkanäle. Die chemische Aufbereitung trägt einen entscheidenden Teil dazu bei, Mikroorganismen zu eliminieren. Verkürzte Spülzeiten, nicht ausreichend tief in den Kanal eingeführte Kanülen, so wie eine nicht korrekt ausgeführte Abschlusspülung können den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung minimieren.

4.2.1.2 Deskriptive Ergebnisse der Länge

Eine Länge von 0,5-1,5 mm vom röntgenologischen Apex erreichten 42,8% der behandelten Zähne. Ein besseres Ergebnis erreichen Kalantar et al., deren Molarenfüllungen mit 52,1% bei einer Länge von 0,5-1,5 mm vom röntgenologischen Apex enden [60]. Deutlich besser ist noch

das Ergebnis von Parchami, die in 73% der Füllungen eine Länge von 0,5-1,5 mm erreicht [100]. Kerekes und Tronstad erreichen ihre ideale Länge von 0-1 mm vom röntgenologischen Apex in 97% der Fälle [25]. 217 von 647 Füllungen waren >1 mm vom Apex entfernt und demnach zu kurz [25]. 33,1% der Zähne in vorliegender Arbeit sind >1,5 mm vom röntgenologischen Apex entfernt. Studien weisen häufig bei gekrümmten Kanälen eine erhöhte Anzahl zu kurzer Füllungen auf [57, 62]. Hingegen erreichten Kalantar et al. nur 18,7% Füllungen, die >1,5 mm von röntgenologischen Apex entfernt waren [60]. Ähnlich das Ergebnis von Parchami mit 19,6% Füllungen, die >1,5 mm vom röntgenologischen Apex enden [100].

In dieser Arbeit endeten 12,9% der Füllungen direkt am röntgenologischen Apex. Bei Kalantar et al. endeten 14,3% der Molaren am röntgenologischen Apex [60].

11,2% der Füllungen dieser Arbeit reichten über den Apex hinaus. Er et al. ermittelten in einem Studierendekurs ein ähnliches Ergebnis [62]. Molaren wiesen im Oberkiefer 11,6% zu lange Füllungen auf und 11,7% für Molaren im Unterkiefer [62]. Ähnlich auch das Ergebnis aus der Phase II der Toronto Studie, hier waren 12% der Füllungen zu lang [90]. 13,7% der Molaren waren bei Kalantar et al. zu lang [60].

Deutlich bessere Ergebnisse erreichte eine Studie aus dem Studierendekurs in Jordanien [61]. 4,6% der Oberkiefermolaren und 3,2% der Unterkiefermolaren reichten über den Apex [61]. In einem Studierendekurs in Nizza erzielten 6,3% der Molaren im Oberkiefer und 4,4% der Molaren im Unterkiefer zu lange Wurzelfüllungen [57]. Deutlich mehr Füllungen, die über den Apex reichen erzielte Peak et al. mit 18% [64].

4.2.1.3 Deskriptive Ergebnisse der Homogenität

40,29% der Füllungen waren wandständig und homogen. Einige Studien bezeichnen Füllungen, die wandständig und dicht sind als adäquat und fassen alle sichtbaren Inhomogenitäten als inadäquate Füllung zusammen. Die vorliegende Arbeit hat weitere Kategorien vorgenommen: 41,7% waren teilweise inhomogen, 15,5% waren inhomogen aber apikal verdichtet und 2,5% waren inhomogen und apikal undicht. Würde man diese 3 Kategorien angepasst an die Einteilung anderer Studien orientieren, so würde der Anteil der inadäquaten Füllungen bei 59,7% liegen. Dieser Wert ist höher als bei den meisten anderen Studien. Bei der Studie von Er et al. waren 52,1% der Oberkiefermolaren und 50,9% der Unterkiefermolaren inadäquat [62].

Ähnlich zu dem Ergebnis der vorliegenden Arbeit haben Lupi-Pegurier et al. für 41% der Füllungen an Oberkiefermolaren eine adäquate Homogenität erreicht [57]. Für die Unterkiefermolaren fiel das Ergebnis besser aus und lag bei 55% [57]. Hingegen waren 59% der Molaren im Oberkiefer und 45% der Molaren im Unterkiefer inadäquat [57]. Eine andere Studie berichtet von einem weniger guten Ergebnis der Homogenität von Studierenden im 4. und 5. Ausbildungsjahr [56]. 13,9% der Füllungen wiesen eine adäquate und 86,1% eine inadäquate Homogenität bei Molaren auf [56].

4.2.1.4 Deskriptive Ergebnisse des Verlaufs

Die meisten Studien betrachten unter der Kategorie Taper nur die Konizität einer Füllung [56, 59, 60, 62]. Ein konkreter Vergleich ist daher schwierig. Barriehsi-Nusair et al. betrachten neben der Konizität der Füllung noch den „guten Erhalt“ des Kanalverlaufs [61]. 81,8% erreichten bei gekrümmten Kanälen einen akzeptablen Kanalverlauf und Taper. 18,2% waren nicht akzeptabel [61]. In vorliegender Arbeit erreichten 25,9% der Zähne einen optimalen Verlauf (Verlauf 4) und 16,55% einen Verlauf der Kategorie 3 und 27,7% der Kategorie Verlauf 2. In der Studie von Er et al. erreichen 58,8% gekrümmte Kanäle einen adäquaten Taper und 40,2% sind inadäquat [62]. Ein Vergleich zwischen der Kategorie Verlauf 2 (kontinuierlich und konisch) ist schwer mit der Kategorie Taper aus anderen Studiendesigns vergleichbar.

Studien haben gezeigt, dass Zähne mit komplexer Morphologie und gekrümmten Wurzeln größere Komplikationsraten aufweisen, als ohne diese [61, 62, 69]. Da diese Arbeit nur Molaren betrachtet, kann dies eine Erklärung sein, weshalb 29,9% der Zähne einen Verlauf 1 aufweisen. Komplikationen werden auch begünstigt bei Zähnen mit vorangegangenen Wurzelkanalbehandlungen [69]. Diese Arbeit trifft keine Unterscheidung zwischen initialer Wurzelkanalbehandlung und Revisionsbehandlung. Dies könnte eine weitere Erklärung für die relativ hohe Anzahl an Zähnen sein, die in Kategorie Verlauf 1 fallen.

Eine bedeutende Rolle für die verhältnismäßig geringe Qualität von Länge, Homogenität und Verlauf mag die mangelnde Erfahrung und Übung der Studierenden sein. In den präklinischen Kursen wurde bisher nur Wurzelkanalbehandlungen an extrahierten Molaren geübt. Die Aufbereitung erfolgte nur mit Handinstrumenten. Mit Eintritt in den klinischen Kurs kommt die Verwendung maschineller Systeme hinzu. Die fehlende Übung mit diesen Instrumenten und die

richtige Umsetzung der anatomischen Kenntnisse in der Praxis sind vermutlich Faktoren, welche die Qualität unerfahrener Behandler beeinflusst. Zusätzlich wird die Behandlung durch Faktoren wie Kofferdam, der posteriore Zugang und die Mundöffnung im Vergleich zu extrahierten Molaren erschwert.

4.2.2 Ordinale logistische Regressionsanalyse

4.2.2.1 Ordinale logistische Regressionsanalyse auf den Erfolg

Der Erhalt eines Zahnes ist von einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung abhängig. Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist multifaktoriell bedingt. Um diesen vorauszusagen bedarf es an definierten Kriterien und erfordert einen gesunden Patienten [114]. Ziel ist es, den Einfluss verschiedener Faktoren auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung zu überprüfen.

Viele Studien befassen sich mit dieser Thematik und analysieren mögliche Faktoren, die den Erfolg beeinflussen [22, 41, 90, 93, 94, 112]. Für viele Autoren ist eine präoperative apikale Parodontitis der stärkste prognostische Faktor einer Wurzelkanalbehandlung [22, 25, 40-43, 112, 122].

Der PAI_{initial} verbleibt in der multiplen ordinalen logistischen Regression als alleinige Variable ($p < 0,001$). Der PAI_{initial} hat demnach eine so überragende Bedeutung als Prädiktor, dass das Einbringen des PAI_{initial} dazu führt, dass nur dieser als einzige erklärende Größe im Modell verbleibt. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommt eine Studie von Kirkevang et al., welche an 330 Zähnen den PAI vor- und nach der Behandlung verglichen hat [42]. Mit Hilfe einer ordinalen logistischen Regression konnten sie die prognostische Aussagekraft des PAI auf den periapikalen Zustand bestimmen [42]. Ebenso in den Toronto Studien wurde mit Hilfe logistischer Regressionsanalysen der präoperative Befund von periapikalen Läsionen als der wichtigste prognostische Faktor einer Wurzelkanalbehandlung beschrieben [90, 93, 94]. Sjögren et al. zeigten 1990, dass Zähne ohne periapikale Läsion eine bessere Prognose gegenüber einer vorhandenen Läsion haben ($p < 0,0001$) und die Erfolgsrate vom präoperativen Zustand abhängig ist [22]. In weiteren Publikationen wird von besseren Ergebnissen für Zähne ohne ein apikal radiologisches Geschehen berichtet [127]. Die Analyse von Peak et al. berichtet hingegen, dass eine periapikale Transluzenz keinen Einfluss auf den Erfolg einer mit lateraler Kondensationstechnik gefüllten Wurzelkanalbehandlung hat [64].

Der Heilungsprozess einer periapikalen Läsion ist ein dynamischer Prozess, der unterschiedliche Bedürfnisse an Zeit für jedes Individuum benötigt [94]. Die Mikroorganismen sind bei einer apikalen Parodontitis nicht nur im Wurzelkanal ansässig, sondern befinden sich auch im periapikalen Gewebe [94, 128], penetrieren Dentintubuli [129] [130] und besiedeln in einem Biofilm die Wurzeloberfläche [128]. Die Unzugänglichkeit der Bakterien einer periapikalen Läsion mit der konventionellen endodontischen Therapie ist der Hauptgrund, weshalb diese so schlecht abheilen [8].

Um zu überprüfen, welche Variablen noch einen Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung haben, wenn man den PAI_{initial} nicht im Gesamtmodell erfasst, zeigt sich dann nachfolgend aus Länge, Verlauf und Quadrant.

Ähnlich wird es in einer Studie von Kirkevang et al. berichtet [41]. Auch hier wird mit einer ordinalen logistischen Regressionsanalyse der präoperative PAI als bedeutendster Prädiktor des Erfolges analysiert [41]. Sobald der Prädiktor PAI aus der Analyse genommen wurde, erwies sich die Qualität als signifikant. Die Länge der Wurzelfüllung ($p < 0,001$) und Homogenität ($p < 0,001$) wiesen einen signifikanten Zusammenhang zu dem Ergebnis auf [41]. Zudem zeigte der Zahntyp und Kiefer einem signifikanten Einfluss auf den Erfolg (Molaren UK $p < 0,001$ und Molaren OK $p < 0,003$) [41].

Eine logistische Regressionsanalyse nutzte ebenso die prospektive Studie von Ng et al. um den Einfluss von verschiedenen Faktoren auf die Heilung zu untersuchen [112]. Die Studie zeigte, dass der periapikale Status einen größeren Effekt auf die Heilung besitzt, als der Zustand der Pulpa. Die Größe der Läsion war ebenso entscheidend. Ebenso reduzierten Komplikationen wie Perforationen signifikant den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. Dies ist auf die Kontamination durch Bakterien zurückzuführen. Die Länge der Wurzelfüllung zeigte auch einen signifikanten Einfluss auf den Erfolg [112].

Die aus dem Jahre 2005 stammende Studie von Marending et al. ermittelte mit einer univariaten schrittweisen rückwärtsgerichteten logistischen Regression Faktoren, die das Behandlungsergebnis einer Wurzelkanalbehandlung beeinflussen [43]. Unter anderem stellten sich die technische Qualität einer Wurzelkanalfüllung ($p = 0,01$) und der initiale Zustand des PAI ($p = 0,04$) als die wichtigsten Faktoren heraus [43].

In der Phase II der Toronto Studien zeigten das Patientengeschlecht, die Aufbereitungstechnik ($p = 0,031$ Chi²Test), die Anzahl an Wurzeln ($p = 0,146$ Fisher) und die Füllungslänge einen signifikanten Zusammenhang mit der Heilungsrate [90]. Auch hier wurde ein signifikant

besseres Heilungsergebnis (81% Heilungsrate) bei Zähnen ohne Parodontitis apicalis festgestellt.

Eine Zusammenfassung der Daten aus den ersten drei Toronto Studien zeigt mit Hilfe einer multivariaten logistische Regressionsanalyse ein erhöhtes Risiko ausbleibender Heilungen bei Zähnen mit periapikalen Läsionen, mehrwurzeligen Zähnen und intraoperativen Komplikationen [94].

Bereits 1979 konnte gezeigt werden, dass eine verbesserte Technik zu einem signifikant besseren Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung führt [25].

Jordal et al. berichten über einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem radiologischen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung und einer technisch adäquaten Qualität einer Wurzelkanalfüllung [44]. Auch andere Autoren sehen einen Zusammenhang zwischen qualitativ guten Wurzelfüllungen und einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung [48, 49, 52, 55, 70].

Smith et al. berichten von einem signifikanten Zusammenhang der Präparationsart und der Länge der Wurzelkanalfüllung auf den Erfolg einer konventionellen Wurzelkanalbehandlung [131].

Die Qualität der Wurzelkanalbehandlung stellt für viele Autoren ein unabdingbarer Faktor dar, der den Erfolg des Zahnes beeinflusst.

Zwischen zu langen Füllungen (Länge 1) und solchen die 0,5-1,5 mm vom röntgenologischen Apex entfernt (Länge 4) sind, konnte ein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p=0,006$). Aus der OR ($OR=0,317$) geht hervor, dass überpresste Füllungen eine niedrigere Erfolgswahrscheinlichkeit gegenüber der Referenzkategorie einer optimalen Länge aufweisen.

Der Einfluss der Wurzelfülllänge auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung wird zahlreich untersucht. Bereits in einer Publikation der 1960er Jahre konnte eine schlechtere Prognose von überextendierten Wurzelfüllungen in der Anwesenheit periradikulärer Läsionen gezeigt werden [132]. Knapp 15 Jahre später zeigten Kerekes und Tronsted, dass das apikale Level der Wurzelfüllung ein signifikanter Faktor für das Ergebnis einer Wurzelfüllung ist [25]. Bereits in Phase II der Toronto Studie stand die Länge in einem signifikanten Zusammenhang mit einer besseren Heilungsrate [90]. Im Gegensatz dazu sieht die Studie von Lin et al. keinen signifikanten Einfluss der Länge auf das Behandlungsergebnis [133].

Ng et al. ermittelten mit einer logistischen Regressionsanalyse prognostische Einflussfaktoren auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. Die Länge zählte zu den signifikanten prognostischen Faktoren [112]. Darunter erzielten zu lange Füllungen das schlechteste

Ergebnis. Dadurch reduzierten sie die Odds ratio des Erfolges um 62% (OR=0,38) [112]. Zu lange Füllungen mit periapikalen Läsionen zeigten auch bei Sjögren et al. die geringste Erfolgsrate von 76%, im Vergleich dazu lag der Erfolg bei einer optimalen Fülllänge bei 94% [22]. Mit $p=0,031$ beeinflusst eine zu lange Füllung bei Ørstavik et al. das Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung [40]. Einer Studie von Swartz et al. zufolge führen über den Apex reichende Füllungen viermal mehr zu einem Misserfolg, als zu kurze Füllungen [127]. Die Versagensquote von zu langen Füllungen lag bei 36,59% [127]. Eine Studie von Segura-Egea et al. hat im Zusammenhang mit überextendierten Wurzelfüllungen eine erhöhte Inzidenz für periapikale Läsionen beobachtet [52]. Bemerkenswert hingegen ist das Ergebnis von Peak et al. aus der Royal Air force bei dem zu lange Füllungen bei Anwesenheit einer Parodontitis apicalis bessere Erfolgsergebnisse aufweisen, als ohne eine apikale Läsion [64]. Überstopfte Füllungen mit periradikulärer Läsion erreichten 93% Erfolg und solche ohne apikales Geschehen nur 75% [64]. Ebenso berichtet die Meta-Analyse von Kojima et al. die geringste Erfolgsrate bei zu langen Füllungen [134].

Die Meta-Analyse von Schaeffer et al. zeigte für zu lange Wurzelkanalfüllungen geringere Erfolgsquoten gegenüber zu kurzen Wurzelfüllungen (>1 mm koronal des Apex) [72]. Diese wiederum erbrachten geringere Erfolgsquoten, als Füllungen, die 0-1 mm koronal des Apex endeten [72]. 1980 zeigte eine histologische Studie an Hundezähnen, dass infizierte Dentinspäne, die über das Füllmaterial in das umliegende Gewebe herausragt die periapikale Heilung verhindert [135]. Überinstrumentierung und Überfüllung der Kanäle können zu Gewebeschädigungen führen. Wurzelfüllmaterial, Sealer, Dentinchips, Debris, Bakterien und deren Stoffwechselprodukte können über das Foramen apicale transportiert werden und eine Entzündung aufrecht erhalten, eine Entzündung neu entflammen, oder gar eine Fremdkörperreaktion hervorrufen [79]. Yusuf zeigte, dass periapikale Granulome in Fällen von missglückten Wurzelkanalbehandlungen häufig Fremdmaterial enthält [79]. Die opake Farbe des Sealers kann möglicherweise nach einiger Zeit absorbiert sein, weshalb die Befundung extrudierten Füllmaterials erschwert ist [112]. Ein ungünstiges Ergebnis wird meist durch die bakterielle Kontamination anstatt durch die Zytotoxizität des Füllmaterials hervorgerufen [136].

Ein präparierter Kanal, der von der ursprünglichen Anatomie abweicht, weder kontinuierlich und konisch verläuft und/oder prozedurale Fehler aufweist (Verlauf 1), zeigt einen signifikanten Unterschied ($p=0,006$) gegenüber einem Verlauf, welcher diese Kriterien erfüllt. (Verlauf 4). Die Odds Ratio beträgt in diesem Zusammenhang OR=0,407. Demnach ist die Chance für den

Verlauf 1 0,407-fach so hoch in eine bessere Erfolgskategorie zu gelangen, als ein optimaler Verlauf 4. Die Arbeit von Sjögren et al. zeigt mit Hilfe einer schrittweisen logistischen Regressionsanalyse, dass Komplikationen wie Perforationen bei nekrotischen Zähnen für die Vorhersagbarkeit eines Misserfolges bedeutsam sind. Durch die Perforation wird ein Kontakt mit dem infizierten Gewebe aufrecht erhalten [22]. In einer Meta-Analyse von Ng et al. reduzierten Perforationen die Odds Ratio des Erfolges um 70% [112]. In der Phase II der Toronto Studie zeigten Komplikationen keinen signifikanten Einfluss auf das Heilungsergebnis [90]. In der IV. Phase beeinflusste jedoch unter anderen dieser Faktor die Heilung einer endodontischen Therapie [93]. Frakturierte Instrumente konnten in logistischen Regressionsanalysen keinen signifikanten Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung zeigen [21, 33]. Eine klinische Studie von Pettite et al. aus dem Jahre 2001 evaluierte Wurzelkanalbehandlungen aus einem Studierendenkurs der University of North Carolina [137]. Das Ergebnis zeigte einen signifikanten Unterschied des Erfolges zwischen Edelstahl- und NiTi-Handinstrumenten ($p < 0,03$). Da NiTi-Handinstrumente den ursprünglichen Kanalverlauf besser beibehalten konnten, kamen die Autoren zu der Annahme, dass der Erhalt des originalen Kanalverlaufes zu einem besseren Erfolgsergebnis und somit zu einer besseren Prognose für den jeweiligen Zahn führt [137]. Eine Studie von Cheung et al. ermittelte mit einer schrittweisen logistischen Regressionsanalyse den Einfluss von prozeduralen Fehlern auf das Behandlungsergebnis von Wurzelkanalbehandlung die von Studierenden und postgraduierten Studierenden durchgeführt wurden [33]. Die „Stufenbildung“ zeigte einen signifikanten Einfluss auf den Misserfolg zu haben. Die Odds Ratio zeigte eine 2.0 so hohe Chance einen Misserfolg zu haben, wenn eine Stufe vorlag [33].

Die Ziele einer endodontischen Behandlung (s. 1.2) können bei einer Abweichung der ursprünglichen Kanal Anatomie nicht eingehalten werden. Verlässt die Präparation den ursprünglichen Kanal, wird die Dentinwand übermäßig reduziert und der Zahn geschwächt. Nicht bearbeitete Bereiche bleiben zurück, die infiziertes oder auch nekrotisches Gewebe, Mikroorganismen und ihre Stoffwechselprodukte enthalten können. Es wurde gezeigt, dass die Anzahl der Mikroorganismen durch Zunahme des Aufbereitungsdurchmessers verringert wird [138]. Da sich Mikroorganismen bis in die Dentintubuli etablieren, erfordert dies eine gleichmäßige zirkumferente Präparation über den gesamten Kanalverlauf. Es ist unmöglich alle Bakterien aus nicht aufbereiteten Bereichen zu eliminieren [78]. Die Mikroorganismen vermögen selbst nach einer medikamentösen Einlage über Monate hinweg zu überleben [139].

Vor allem Spezies mit dentinadhärenten Charakteristika, führen wahrscheinlich in nicht instrumentierten Hohlräumen zur Bildung von Biofilmen [103].

Die uninstrumentierten Gebiete können die Entzündung weiter unterhalten, neu entflammen und die Heilung letztendlich unterbinden. Verbliebener Debris, vor allem wenn dieser sich apikal befindet hat einen schlechten Einfluss auf die Heilung [77]. Eine Wurzelfüllung kann bei Aberration oder Komplikationen wie apikalen Zips, sanduhrförmiger Präparation, Perforation, Stripping oder Instrumentenfraktur nicht dicht abgefüllt werden.

Ebenso verhindern Pulpareste eine dichte Wurzelkanalfüllung, die in diesem Bereich eine vollständige Abdichtung von Flüssigkeiten und Mikroorganismen liefern sollte [10].

Dichte Wurzelfüllungen führten in einer Studie von Ng et al. zu einem verbesserten Behandlungsergebnis und zu verminderten Entzündungen [70]. Ein Flüssigkeitsaustausch, Mikroleakage, ist bei undichten Füllungen wahrscheinlich und kann folglich ungünstige Ergebnisse hervorrufen [55]. Kirkevang et al. folgern, dass inadäquate Wurzelfüllungen Misserfolge von Wurzelkanalbehandlungen begünstigen, da Ansammlungen von Mikroleakage bei undichten Füllungen wahrscheinlich sind [55]. Die von Herbert Schilder geforderte Präparationsform eines „continuously tapering funnel“ [13], ermöglicht einen effizienten Abtrag und die Zufuhr der Spülkanüle bis in apikale Bereiche. Die Desinfektion kann somit besser wirken.

Ein signifikanter Unterschied zwischen Wurzelkanalbehandlungen im 1. ($p=0,008$) und 2. Quadranten ($p=0,025$) gegenüber dem 4. Quadrant liegt vor. Die jeweiligen Odds Ratio's ($OR_1=2,344$; $OR_2=2,064$) deuten darauf hin, dass für Behandlungen im 1. und 2. Quadranten die Chance höher ist in eine bessere Erfolgskategorie zu gelangen. Wurzelkanalbehandlungen an Molaren im Unterkiefer schneiden häufig schlechter als im Oberkiefer ab. Ähnlich zu vorliegendem Ergebnis zeigen Smith et al. in einer Publikation, welche die Einflussfaktoren für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung untersucht, dass für den 4. Quadranten eine 12,51% höhere Fehlerrate gegenüber den anderen Quadranten vorliegt [131].

Da der 3. Quadrant keinen signifikanten Unterschied zu der Referenzkategorie, dem 4. Quadranten aufweist, ist vorsichtig anzunehmen, dass zwischen dem 3. und dem 4. Quadranten kein großer Unterschied im Einfluss auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung liegt. So besitzen laut einer Studie von Ricucci et al. Unterkiefermolaren eine verminderte Prognose bei Wurzelkanalbehandlungen [140]. So erzielen in einer anderen Arbeit von Benenati et al.

Unterkiefermolaren, welche im Studierendekurs der University of Oklahoma behandelt wurden, die geringste Erfolgsrate (57,2%) [23]. Ørstavik et al. berichten in einer multivariaten Analyse einen signifikanten Einfluss der Kiefer auf den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ($p < 0,001$) [40]. Im Gegensatz zu vorliegender Arbeit deuten die Ergebnisse auf ein besseres Behandlungsergebnis der Unterkieferzähne gegenüber den Oberkieferzähnen hin [40]. Die Autoren vermuten, dass in den Kiefern unterschiedliche biologische Konditionen vorliegen, die eine Heilung (in diesem Fall) im Unterkiefer begünstigen [40]. Denkbar wäre, dass durch die spongiöse Knochenstruktur des Oberkiefers eine bessere Blutversorgung herrscht und somit die Heilung im Oberkiefer erleichtert wird. In einer anderen Studie erzielten Studierende ein signifikant besseres Behandlungsergebnis für Zähne im Oberkiefer als im Unterkiefer ($p < 0,05$) [33]. Im Vergleich derselben Studie zeigten postgraduierte Studierende kein signifikantes Ergebnis zwischen beiden Kiefern ($p > 0,05$) [33]. Dies deutet darauf hin, dass erfahrenere Behandler durch Übung und Erfahrung auch schwere anatomische Gegebenheiten meistern können, welche für Studierende meist eine Herausforderung darstellt. Die Autoren der Studie ziehen die Morphologie der Unterkieferzähne für dieses Ergebnis in Verantwortung, insbesondere die c-förmigen Kanäle des 2. Molaren [33].

So nimmt die Anatomie der Unterkiefermolaren wahrscheinlich die bedeutendste Rolle ein. Neben c-förmigen Kanälen sind die Molaren des Unterkiefers in besonderem Maße durch ihre mesiale Wurzel mit einer der komplexesten internen Anatomien gekennzeichnet [141]. Kurvaturen, Seitenkanäle, Isthmusse und sich trennende und wiedervereinigende Kanäle wären hier zu nennen [141]. Das Auffinden und Sondieren, die Reinigung und Desinfektion, so wie die Obturation sind bei diffizilen morphologischen Gegebenheiten erschwert und können die Heilung negativ beeinflussen.

4.2.2.2 Ordinale logistische Regressionsanalyse des Einflusses auf die Länge

Der Abstand der Wurzelfüllung zum röntgenologischen Apex stellt schon fast ein standardisiertes Maß zur Beurteilung der Qualität von Wurzelkanalbehandlungen dar [63, 72, 73]. Zahlreiche Studien bemessen die Qualität ihrer endodontischen Behandlung an diesem Parameter [63, 65, 66, 72, 73]. Auch das Interesse der Beurteilung der Länge in studentischer Ausbildung ist Gegenstand einiger Publikationen [56, 59-62]. Die Länge einer Wurzelfüllung wird in dieser Arbeit durch den Verlauf einer Wurzelkanalbehandlung signifikant beeinflusst ($p < 0,001$). Ein signifikanter Unterschied wird dabei zwischen Verlauf 1 ($p < 0,001$) und Verlauf 2 ($p = 0,007$) gegenüber der Referenzkategorie Verlauf 4 beschrieben. Zwischen Verlauf 4 und Verlauf 3 liegt kein signifikanter Unterschied vor. Demnach ist anzunehmen, dass ein Verlauf, der zumindest noch den ursprünglichen Kanalverlauf beibehält, die Länge nicht negativ beeinflusst. Liegt hingegen eine Aberration des ursprünglichen Kanalverlaufs vor, kann in manchen Fällen die gewünschte Länge nicht eingehalten werden. So kann die Bildung einer Stufe während der Präparation oder die Blockade des Kanals durch Dentinspäne zu Verkürzungen führen [62]. Aufbereitungsfehler wie Perforationen, Instrumentenfrakturen o.ä. führen zu inadäquater Instrumentierung und Obturation. So hindert eine Instrumentenfraktur die Aufbereitung auf voller Länge. Bei einer *via falsa* oder einer Perforation kann das Füllmaterial über den Apex extrudieren und somit den apikalen Stopp verhindern. Das. Einige Studien sehen einen signifikanten Zusammenhang zwischen Zähnen mit gekrümmten Wurzeln und der Länge einer Füllung ($p < 0,001$) [61, 62, 142]. In vorliegender Arbeit konnte in diesem Zusammenhang kein signifikantes Ergebnis festgestellt werden. Eine Studie von 2011 untersuchte mit logistischer Regressionsanalyse anatomische Faktoren, welche die Länge einer Wurzelfüllung beeinflussen. Signifikant erschien in diesem Zusammenhang die Krümmung und die Kalzifikation der Kanäle ($p < 0,001$) [143]. Der Zahntyp zeigte wie in dieser Arbeit keinen signifikanten Einfluss auf die Länge ($p = 0,066$) [143]. In der univariaten logistischen Regressionsanalyse zeigte neben dem Verlauf auch das Alter des Patienten ein signifikantes Ergebnis auf die Länge einer Wurzelfüllung. Mit zunehmendem Alter treten häufiger Dentikel und Kalzifikationen auf. Kalzifikationen sind morphologische Irregularitäten, die zu Obliterationen führen und die Aufbereitung auf voller Länge erschweren [143].

4.2.2.3 Ordinale logistische Regressionsanalyse des Einflusses auf die Homogenität

Die Variablen Verlauf und Altersklassen zeichneten sich in der ordinalen logistischen Regressionsanalyse durch einen signifikanten Einfluss auf die Homogenität heraus.

Die Kategorien 1-3 des Verlaufs sind gegenüber der Referenzkategorie dem optimalen Verlauf 4 signifikant. Demnach können Wurzelfüllungen mit einem optimalen Verlauf bessere Ergebnisse für die Homogenität erzielen. Alsulaimani et al. stellten 2015 in einer multivariaten logistischen Regressionsanalyse fest, dass die Homogenität und der Taper sich gegenseitig beeinflussen [69].

Eine Stufe, ein Zip, gar eine Perforation oder Instrumentenfraktur erschwert eine wanddichte und blasenfreie Obturation. Ist der Verlauf nicht kontinuierlich und konisch, so erscheinen Lücken zwischen Kanalwand und Füllmaterial. In Hülsmann's Zusammenfassung von Herbert Schilder's „cleaning and shaping the root canal“ ist beschrieben, dass unregelmäßig aufbereitete Kanalwände eine vollständige und somit gleichmäßige Obturation verhindern können [16]. Neben der Reinigungsmöglichkeit des Kanallumens ermöglicht die Formgebung eines „continuously tapering funnel“ eine ausgezeichnete Homogenität [16]. Die verjüngende Form lässt lateral ausgerichteten Druck apikal wirksam werden und umgekehrt wird apikal ausgerichteter Druck lateral wirksam. Die Füllung wird dadurch verdichtet und erscheint homogen [16].

Bei den Altersklassen stellte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Altersgruppen der <29-jährigen und der 40-59-jährigen im Vergleich zu den über 70-jährigen heraus. Demnach haben Erstere eine verringerte Chance in eine bessere Kategorie für die Homogenität zu gelangen als Patienten, die über 70 Jahre alt sind. Dieses Ergebnis scheint zunächst schwer zu erklären, da Wurzelkanäle bei jüngeren Menschen in der Regel einfacher aufzufinden und aufzubereiten sind. Ältere Patienten haben oft Dentikel, verengte oder gar obliterierte Kanäle, die Hindernisse für die Aufbereitung darstellen. Andere Ergebnisse lieferte die Arbeit von Weine, der eine verbesserte Prognose von Wurzelkanalbehandlungen älterer Patienten auf Grund von diesen spezifischen anatomischen Gegebenheiten feststellen konnte [144]. Ältere Patienten verfügen über kleinere Kanalforamina und weniger Seitenkanäle [144]. Die geringere Anzahl der Seitenkanäle und die kleineren Kanalforamina lassen die Kanalwand ebenmäßiger erscheinen. Dies könnte ein Grund sein, weshalb das Ergebnis der Homogenität in höherem Alter besser ist.

4.2.2.4 Ordinale logistische Regressionsanalyse des Einfluss auf den Kanalverlauf

Der Taper einer Wurzelfüllung tritt bei neueren Studien immer mehr neben der Länge und der Homogenität in den Vordergrund qualitätsorientierter Studien [56, 59-62]. Die Variablen Zahntypus und Aufbereitungssystem erweisen in der ordinalen logistischen Regressionsanalyse einen signifikanten Zusammenhang mit dem Verlauf. Molaren erweisen einen p-Wert von $p=0,018$. Zwar konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen den Molarentypen erkannt werden, dennoch ist ein Unterschied zwischen dem 6. und 7. Molaren wahrscheinlich. Auch die AAE (American Association of Endodontics) unterteilt in ihren Richtlinien „Endodontic Case Difficulty Assessment Form“ den 1. Molaren in einen moderaten Schwierigkeitsgrad, wohingegen der 2. und 3. Molar in einen hohen Schwierigkeitsgrad eingestuft werden [145]. Hingegen berichten Swartz et al. von signifikant schlechteren Ergebnissen für den 1. mandibulären Molaren [127]. Einige Studien haben einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Konizität (Taper), dem Zahntypus und Wurzelkrümmungen entdeckt [61, 62, 142]. Rafeek et al. erzielen in geraden Kanälen eine signifikant bessere Qualität des Tapers gegenüber gekrümmten Kanälen ($p<0,05$) [142]. Die Unterkiefermolaren schneiden in der Kategorie Taper mit dem schlechtesten Ergebnis ab (36,4%) [142]. Er et al. beschreibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Taper einer Wurzelfüllung und Kanalkrümmungen [62]. Bezogen auf den Taper konnten sie einen signifikanten Unterschied zwischen oberen Frontzähnen und Molaren ($p<0,001$) feststellen [62]. Auch die Studie von Barrieshi-Nusair et al. beschreibt einen signifikanten Zusammenhang zwischen dem Taper des Kanals und dem der gekrümmten Wurzelkanäle [61]. Die Kategorie Taper umfasst in dieser Studie neben der Konizität auch den ursprünglichen Kanalverlauf [61]. Alsulaimani et al. konnten mit einer logistischen Regressionsanalyse einen Zusammenhang zwischen Komplikationen bei der Wurzelkanalbehandlung und dem Zahntypen feststellen [69]. Die Odds Ratio für inadäquate Füllungen und Komplikationen erhöhte sich signifikant mit zunehmender posteriorer Lage im Kieferbogen [69]. Der posteriore Zugang, die komplexe Morphologie mit s-förmigen Wurzelkrümmungen und c-förmigen Kanalkonfigurationen erschweren die chemo-mechanische Aufbereitung und das Füllen der Wurzel [70, 94]. Zudem steigt mit der Anzahl an Kanälen gegenüber einzähligen Kanälen die Wahrscheinlichkeit eines Misslingens.

Das PTN-System weist ein signifikantes Ergebnis gegenüber dem FM-System auf ($p=0.034$, $OR=1.6$). Beide Aufbereitungsinstrumente zeigen in Publikationen gute Ergebnisse [146-148]. Ein direkter Vergleich der beiden Instrumente ist bisher weder *in vivo*, noch *in vitro* vorgenommen worden. Hülsmann et al. konnten 2003 einen guten Erhalt des originalen Kanalverlaufs von FM feststellen [147]. Weiger et al. berichten zwar von guten Fähigkeiten von FM gekrümmte Wurzelkanäle zu präparieren, diese bergen jedoch ein erhöhtes Risiko einer Verlagerung [149]. FM konnte das Dentin nicht gleichmäßig zirkumferent abtragen [149]. Die Generationen der Aufbereitungsinstrumente sind zeitlich nacheinander entwickelt worden und bauen aufeinander auf. Jede neue Generation versucht den Fehlern und Anforderungen der vorangegangenen Generation nachzukommen. FM entstammt der 2. und PTN aus der 5. Generation. Konstruktionsmerkmale des PTN wie die progressiven Konizitäten vermindern den Kontakt zur Kanalwand und ermöglichen eine gute Schneidleistung [30]. Das Hineinschrauben in das Dentin wird vermindert und der Taper-Lock Effekt reduziert [30]. Der ursprüngliche Verlauf kann dadurch einfacher verfolgt werden. Die nano-kristalline Mikrostruktur der thermisch behandelten M-Wire Legierung sorgen für eine Erhöhung von Flexibilität, Festigkeit und Resistenz gegenüber zyklischen Ermüdungsfrakturen bei gleichbleibender Schneidleistung [37-39]. Johnson et al. haben an $n=360$ Feilen verschiedene Nitinole untersucht [39]. Im Ergebnis konnte M-Wire NiTi-Legierungen signifikant bessere Drehmomenteigenschaften ($p<0,001$) und eine signifikant höhere Frakturresistenz ($p<0,001$) gegenüber dem „stock“ 508 Nitinol mit nahezu 400% erweisen [39]. Da alle Untersuchungen mit dem gleichen Feilendesign durchgeführt wurden (Profile 25/.04), ermöglicht dies auch Rückschlüsse auf die Materialeigenschaften von M-Wire NiTi anderer Instrumente (wie z.B. ProTaper Next). Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen Ye et al., die eine höhere Festigkeit und Resistenz der M-Wire NiTi-Legierungen auf Grund ihrer einzigartige nanokristallinen martensischen Mikrostruktur festgestellt haben [38].

Die Flexibilität des PTN wird zusätzlich durch den rektangulären exzentrischen Querschnitt erhöht. Durch die erhöhte Flexibilität kann das Instrument einfacher den Kanalverlauf entlang gleiten. Die Wellenbewegung und der vergrößerte Spanraum vermindern eine apikale Blockade [30]. Diese Designmerkmale der 5. Generation bieten klare Vorteile in der Sicherheit und dem Erhalt des ursprünglichen Kanalverlaufs. Die Reduktion der Feilenanzahl von PTN verringert die Aufbereitungszeit und mindert potentielle Fehlerquellen durch weniger wechselnde Instrumente. Anzunehmen ist auch, dass der signifikante Unterschied zwischen den beiden

Aufbereitungssystemen durch die verschiedenen Obturationstechniken zustande gekommen ist. Hörsted-Bindslev et al. untersuchten den Unterschied zwischen lateraler Kompaktions- und Single-cone-Technik und konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden Techniken feststellen [50]. Der Winkelstückchaft des PTN ist gegenüber anderen Instrumenten um 15% verkürzt, dieser beträgt nur 13 mm anstatt 15,34 mm [35]. Der Zugang besonders bei Molarenbehandlungen im posterioren Bereich ist dadurch gegenüber FM vereinfacht.

4.3 Schlussfolgerung und Ausblick

Die Analyse dieser Arbeit ist mit röntgenologischem Datenmaterial retrospektiv durchgeführt worden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass der initiale periapikale Zustand eines Zahnes der bedeutendste prognostische Faktor einer Wurzelkanalbehandlung ist. Dieser Faktor ist eine Gegebenheit, die nicht direkt durch den Behandler beeinflusst werden kann. Bereits zu Beginn der Behandlung kann durch Betrachtung des röntgenologischen periapikalen Zustandes eine Prognose gemacht werden. Es ist ratsam gemeinsam mit dem Patienten die Chancen und Risiken zu erwägen und gegebenenfalls einen anderen Therapieweg (z.B. Brückenrestauration oder Implantatprothetik) einzuschlagen. Ferner beeinflussen Faktoren wie die Zahnlage im Quadranten, sowie Länge und Verlauf der Wurzelfüllung den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. Die Lokalisation des Zahnes kann wie der präoperative PAI nicht durch den Behandler beeinflusst werden. Hier ist eine Abschätzung der Erfolgsprognose vor Behandlungsbeginn möglich. Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung wird auch durch die Qualität (Länge und Verlauf) beeinflusst. Die beiden Parameter Länge und Verlauf sind patientenunabhängig und können aktiv beeinflusst werden. Voraussetzungen hierfür sind die Auswertung der präoperativen Bilder, Verwendung von Hilfsmitteln wie der elektronischen Längenmessbestimmung und eine korrekte Arbeitsweise mit den Aufbereitungsinstrumenten. Die Qualität der Länge und der Homogenität wird maßgeblich durch den Verlauf einer Wurzelfüllung beeinflusst. Der Verlauf selbst wird in dieser Arbeit durch den Zahntypen und das Aufbereitungssystem beeinflusst. Fundierte anatomische Kenntnisse zu jedem Zahntypen sind eine Voraussetzung für das Gelingen einer Wurzelkanalbehandlung. Das Aufbereitungssystem ProTaper Next entspricht der 5. Instrumentengeneration. Bis April 2014 fanden die Aufbereitungen im Studierendenkurs mit dem FlexMaster-System, ein Wurzelkanalinstrument

der 2. Generation, statt. Im Vergleich zu diesem System scheint PTN den originalen Kanalverlauf zumindest für praktisch unerfahrene Behandler besser zu erhalten. Die Ergebnisse dieser Arbeit bestärken die in der Vergangenheit getroffene Entscheidung, das Aufbereitungssystem im Studierendenkurs zu wechseln. In regelmäßigen Abständen sollten neue Instrumentensysteme für den Studierendengebrauch geprüft und gegebenenfalls der Erwerb in Erwägung gezogen werden. Die Ursache für die oft schlechten Ergebnisse der Studierenden sehen die Autoren meist in den kurzen Übungseinheiten und einem ungenügendem Verhältnis der Anzahl zwischen Studierenden und Betreuern. Im Vergleich zu anderen klinischen Kursen ist das Fach Endodontologie nur ein Teil des konservierenden Kurses. Die Betreuung und die Wochenstunden sollten bereits im präklinischen Phantom III Kurs als auch in den späteren klinischen Kursen intensiviert werden. Das Interesse an Wurzelkanalbehandlungen wird im Rahmen des demographischen Wandels und mit zunehmender Zahl eigener Zähne im hohen Alter [7] in Zukunft wachsen. Kommende Generationen werden sich noch mehr mit der Thematik der Wurzelkanalbehandlung auseinandersetzen. Das Interesse an curriculären Fortbildungsangeboten auf diesem Gebiet wächst. Daher sind Studien, welche die Qualität und den Erfolg von Wurzelkanalbehandlungen evaluieren von bedeutendem Interesse. Um noch genauere Aufschlüsse über die Zusammenhänge zu erhalten, wäre eine histologische Analyse mit Einbezug klinischer Symptome von wissenschaftlichem Interesse. Bisher ist im klinischen Alltag die Umsetzung einer solchen Arbeit nur schwer umzusetzen.

5. Literaturverzeichnis:

1. European Society of Endodontology, Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. *Int Endod J*, 2006. **39**(12): p. 921-30.
2. Orstavik, D., K. Kerekes, and H.M. Eriksen, The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol*, 1986. **2**(1): p. 20-34.
3. KZBV, Statistisches Jahrbuch. 2015: p. 90-93.
4. Marthaler, T.M., Changes in dental caries 1953-2003. *Caries Res*, 2004. **38**(3): p. 173-81.
5. Bjørndal, L., M.H. Laustsen, and C. Reit, Root canal treatment in Denmark is most often carried out in carious vital molar teeth and retreatments are rare. *Int Endod J*, 2006. **39**(10): p. 785-90.
6. Hülsmann, M., Epidemiologische Aspekte der Parodontitis apicalis. *Endodontie*, 2008. **17** (1): p. 19-21.
7. Jordan, R.A., W. Micheelis, C. Cholmakow-Bodechtel, K. Hertrampf, T. Hoffmann, T. Kocher, I. Nitschke, U. Schiffner, H. Stark, and S. Zimmer, Fünfte Deutsche Mundgesundheitsstudie (DMS V). 2016, Köln: Institut der Deutschen Zahnärzte. 363-594.
8. Bystrom, A., R.P. Happonen, U. Sjogren, and G. Sundqvist, Healing of periapical lesions of pulpless teeth after endodontic treatment with controlled asepsis. *Endod Dent Traumatol*, 1987. **3**(2): p. 58-63.
9. Bürklein, S. and E. Schäfer, Präparationsbedingte Wurzelkanalbegradigungen - Eine kritische Bewertung. *Endodontie Quintessenz Verlag*, 2015. **24**(1): p. 37-50.
10. Hülsmann, M., O. Peters, and P. Dummer, Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endodontic Topics* 2005. **10**: p. 30-76.
11. Young, G.R., P. Parashos, and H.H. Messer, The principles of techniques for cleaning root canals. *Aust Dent J*, 2007. **52**(1 Suppl): p. S52-63.
12. Weine, F.S., R.F. Kelly, and P.J. Lio, The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod*, 1975. **1**(8): p. 255-62.
13. Schilder, H., Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am*, 1974. **18**(2): p. 269-96.
14. Zarrabi, M.H., M. Bidar, and H. Jafarzadeh, An in vitro comparative study of apically extruded debris resulting from conventional and three rotary (Profile, Race, FlexMaster) instrumentation techniques. *J Oral Sci*, 2006. **48**(2): p. 85-8.
15. Bystrom, A. and G. Sundqvist, Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. *Scand J Dent Res*, 1981. **89**(4): p. 321-8.
16. Hülsmann, M., Herbert Schilder "Cleaning and shaping the root canal". *Endodontie* 2006. **15**(3): p. 253-258.

17. Wu, M.K., B. Fan, and P.R. Wesselink, Leakage along apical root fillings in curved root canals. Part I: effects of apical transportation on seal of root fillings. *J Endod*, 2000. **26**(4): p. 210-6.
18. Walia, H.M., W.A. Brantley, and H. Gerstein, An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod*, 1988. **14**(7): p. 346-51.
19. DGZ, AGET, and DGZMK, Stellungnahme: Die Fraktur von Wurzelkanalinstrumenten. 1.0. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift*, 2007. **62**(8).
20. Hülsmann, M., *Endodontie*. 2008, Stuttgart: Thieme. 142-143.
21. Spili, P., P. Parashos, and H.H. Messer, The impact of instrument fracture on outcome of endodontic treatment. *J Endod*, 2005. **31**(12): p. 845-50.
22. Sjogren, U., B. Hagglund, G. Sundqvist, and K. Wing, Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod*, 1990. **16**(10): p. 498-504.
23. Benenati, F.W. and S.S. Khajotia, A radiographic recall evaluation of 894 endodontic cases treated in a dental school setting. *J Endod*, 2002. **28**(5): p. 391-5.
24. Friedman, S., C. Lost, M. Zarrabian, and M. Trope, Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *J Endod*, 1995. **21**(7): p. 384-90.
25. Kerekes, K. and L. Tronstad, Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. *J Endod*, 1979. **5**(3): p. 83-90.
26. Ng, Y.L., V. Mann, S. Rahbaran, J. Lewsey, and K. Gulabivala, Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature - part 1. Effects of study characteristics on probability of success. *Int Endod J*, 2007. **40**(12): p. 921-39.
27. DGZMK and DGZ, Stellungnahme: Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen 1.0. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift*, 2001. **56**(1).
28. Friedman, S. and C. Mor, The success of endodontic therapy--healing and functionality. *J Calif Dent Assoc*, 2004. **32**(6): p. 493-503.
29. Andreasen, G.F. and R.E. Morrow, Laboratory and clinical analyses of nitinol wire. *Am J Orthod*, 1978. **73**(2): p. 142-51.
30. Ruddle, C.J., P. Machtou, and J.D. West, The shaping movement: fifth-generation technology. *Dent Today*, 2013. **32**(4): p. 94, 96-9.
31. Thompson, S.A., An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry. *Int Endod J*, 2000. **33**(4): p. 297-310.
32. Schafer, E., U. Schulz-Bongert, and G. Tulus, Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod*, 2004. **30**(6): p. 432-5.
33. Cheung, G.S. and C.S. Liu, A retrospective study of endodontic treatment outcome between nickel-titanium rotary and stainless steel hand filing techniques. *J Endod*, 2009. **35**(7): p. 938-43.
34. Capar, I.D. and H. Arslan, A review of instrumentation kinematics of engine-driven nickel-titanium instruments. *Int Endod J*, 2016. **49**(2): p. 119-35.
35. Baumann, M.A., ProTaper - eine neue Generation von Ni-Ti-Feilen. *Endodontie*, 2001. **4**: p. 351-364.

36. VDW. FlexMaster - das rotierende NiTi-System für alle Fälle. (Accessed February 4, 2017, at http://www.vdw-dental.com/fileadmin/redaktion/downloads/produkte/Flexmaster_anwender_rev12.pdf.)
37. Gao, Y., J.L. Gutmann, K. Wilkinson, R. Maxwell, and D. Ammon, Evaluation of the impact of raw materials on the fatigue and mechanical properties of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod*, 2012. **38**(3): p. 398-401.
38. Ye, J. and Y. Gao, Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod*, 2012. **38**(1): p. 105-7.
39. Johnson, E., A. Lloyd, S. Kuttler, and K. Namerow, Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *J Endod*, 2008. **34**(11): p. 1406-9.
40. Orstavik, D., V. Qvist, and K. Stoltze, A multivariate analysis of the outcome of endodontic treatment. *Eur J Oral Sci*, 2004. **112**(3): p. 224-30.
41. Kirkevang, L.L., D. Orstavik, G. Bahrami, A. Wenzel, and M. Vaeth, Prediction of periapical status and tooth extraction. *Int Endod J*, 2015: p. 1-8.
42. Kirkevang, L.L., D. Orstavik, A. Wenzel, and M. Vaeth, Prognostic value of the full-scale Periapical Index. *Int Endod J*, 2015. **48**(11): p. 1051-8.
43. Marending, M., O.A. Peters, and M. Zehnder, Factors affecting the outcome of orthograde root canal therapy in a general dentistry hospital practice. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2005. **99**(1): p. 119-24.
44. Jordal, K., A. Valen, and D. Orstavik, Periapical status of root-filled teeth in Norwegian children and adolescents. *Acta Odontol Scand*, 2014. **72**(8): p. 801-5.
45. Brynolf, I., A histological and roentgenological study of the periapical region of human upper incisors. *Odontol Revy*, 1967. **18** (11): p. 1-176.
46. Sobin, L., M. Gospodarowicz, and C. Wittekind, TNM Classification of Malignant Tumours. 2016. **8**: p. 272.
47. Pitts, N., "ICDAS"--an international system for caries detection and assessment being developed to facilitate caries epidemiology, research and appropriate clinical management. *Community Dent Health*, 2004. **21**(3): p. 193-8.
48. Estrela, C., R. Holland, C.R. Estrela, A.H. Alencar, M.D. Sousa-Neto, and J.D. Pécora, Characterization of successful root canal treatment. *Braz Dent J*, 2014. **25**(1): p. 3-11.
49. Kirkevang, L.L. and P. Horsted-Bindslev, Technical aspects of treatment in relation to treatment outcome. *Endod Topic*, 2002. **2**: p. 89-102.
50. Horsted-Bindslev, P., M.A. Andersen, M.F. Jensen, J.H. Nilsson, and A. Wenzel, Quality of molar root canal fillings performed with the lateral compaction and the single-cone technique. *J Endod*, 2007. **33**(4): p. 468-71.
51. Tronstad, L., K. Asbjornsen, L. Doving, I. Pedersen, and H.M. Eriksen, Influence of coronal restorations on the periapical health of endodontically treated teeth. *Endod Dent Traumatol*, 2000. **16**(5): p. 218-21.

52. Segura-Egea, J.J., A. Jimenez-Pinzon, M. Poyato-Ferrera, E. Velasco-Ortega, and J.V. Rios-Santos, Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in an adult Spanish population. *Int Endod J*, 2004. **37**(8): p. 525-30.
53. Di Filippo, G., S.K. Sidhu, and B.S. Chong, Apical periodontitis and the technical quality of root canal treatment in an adult sub-population in London. *Br Dent J*, 2014. **216**(10): p. E22.
54. Song, M., M. Park, C.Y. Lee, and E. Kim, Periapical status related to the quality of coronal restorations and root fillings in a Korean population. *J Endod*, 2014. **40**(2): p. 182-6.
55. Kirkevang, L.L., D. Orstavik, P. Horsted-Bindslev, and A. Wenzel, Periapical status and quality of root fillings and coronal restorations in a Danish population. *Int Endod J*, 2000. **33**(6): p. 509-15.
56. Balto, H., S. Al Khalifah, S. Al Mugairin, M. Al Deeb, and E. Al-Madi, Technical quality of root fillings performed by undergraduate students in Saudi Arabia. *Int Endod J*, 2010. **43**(4): p. 292-300.
57. Lupi-Pegurier, L., M.F. Bertrand, M. Muller-Bolla, J.P. Rocca, and M. Bolla, Periapical status, prevalence and quality of endodontic treatment in an adult French population. *Int Endod J*, 2002. **35**(8): p. 690-7.
58. Eriksen, H.M., E. Bjertness, and D. Orstavik, Prevalence and quality of endodontic treatment in an urban adult population in Norway. *Endod Dent Traumatol*, 1988. **4**(3): p. 122-6.
59. Elemam, R.F., Z.S. Abdul Majid, M. Groesbeck, and A.F. Azevedo, Quality of Root Canals Performed by the Inaugural Class of Dental Students at Libyan International Medical University. *Int J Dent*, 2015. **2015**: p. 1-9.
60. Kalantar Motamedi, M.R., S.H. Davoodi, A. Saeidi, B. Barekatin, H. Noormohammadi, and H. Razavian, Technical quality of root canal therapies performed by novice dental students in preclinical practice. *Dent Res J (Isfahan)*, 2015. **12**(4): p. 365-71.
61. Barrieshi-Nusair, K.M., M.A. Al-Omari, and A.S. Al-Hiyasat, Radiographic technical quality of root canal treatment performed by dental students at the Dental Teaching Center in Jordan. *J Dent*, 2004. **32**(4): p. 301-7.
62. Er, O., B. Sagsen, M. Maden, S. Cinar, and Y. Kahraman, Radiographic technical quality of root fillings performed by dental students in Turkey. *Int Endod J*, 2006. **39**(11): p. 867-72.
63. Ricucci, D., Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. *Int Endod J*, 1998. **31**(6): p. 384-93.
64. Peak, J.D., S.J. Hayes, S.T. Bryant, and P.M. Dummer, The outcome of root canal treatment. A retrospective study within the armed forces (Royal Air Force). *Br Dent J*, 2001. **190**(3): p. 140-4.
65. Adebayo, E.T., L.E. Ahaji, R.N. Nnachetta, O. Nwankwo, N. Akabogu-Okpeseyi, M.O. Yaya, and N.A. Hussain, Technical quality of root canal fillings done in a Nigerian general dental clinic. *BMC Oral Health*, 2012. **12**: p. 42-7.

66. Chueh, L.H., S.C. Chen, C.M. Lee, Y.Y. Hsu, S.F. Pai, M.L. Kuo, C.S. Chen, B.R. Duh, S.F. Yang, Y.L. Tung, and C.K. Hsiao, Technical quality of root canal treatment in Taiwan. *Int Endod J*, 2003. **36**(6): p. 416-22.
67. Weiger, R., S. Hitzler, G. Hermle, and C. Lost, Periapical status, quality of root canal fillings and estimated endodontic treatment needs in an urban German population. *Endod Dent Traumatol*, 1997. **13**(2): p. 69-74.
68. Boucher, Y., L. Matossian, F. Rilliard, and P. Machtou, Radiographic evaluation of the prevalence and technical quality of root canal treatment in a French subpopulation. *Int Endod J*, 2002. **35**(3): p. 229-38.
69. Alsulaimani, R.S., K.K. Al-Manei, A.A. S, R.S. AlAqeely, A.M.A.-S. S, and M.A.-M. E, Effects of Clinical Training and Case Difficulty on the Radiographic Quality of Root Canal Fillings Performed by Dental Students in Saudi Arabia. *Iran Endod J*, 2015. **10**(4): p. 268-73.
70. Ng, Y.L., V. Mann, S. Rahbaran, J. Lewsey, and K. Gulabivala, Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature -- Part 2. Influence of clinical factors. *Int Endod J*, 2008. **41**(1): p. 6-31.
71. Wu, M.K., P.R. Wesselink, and R.E. Walton, Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2000. **89**(1): p. 99-103.
72. Schaeffer, M.A., R.R. White, and R.E. Walton, Determining the optimal obturation length: a meta-analysis of literature. *J Endod*, 2005. **31**(4): p. 271-4.
73. Ricucci, D. and K. Langeland, Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J*, 1998. **31**(6): p. 394-409.
74. Kuttler, Y., Microscopic investigation of root apexes. *J Am Dent Assoc*, 1955. **50**(5): p. 544-52.
75. Gutmann, J.L. and J.E. Leonard, Problem solving in endodontic working-length determination. *Compend Contin Educ Dent*, 1995. **16**(3): p. 288-294.
76. Hellwig, E., J. Klimek, and T. Attin, Einführung in die Zahnerhaltung - Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Vol. 5. 2009, Köln: Deutscher Ärzte-Verlag. 351-352.
77. Nair, P.N., U. Sjogren, G. Krey, K.E. Kahnberg, and G. Sundqvist, Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long-term light and electron microscopic follow-up study. *J Endod*, 1990. **16**(12): p. 580-8.
78. Nair, P.N., S. Henry, V. Cano, and J. Vera, Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2005. **99**(2): p. 231-52.
79. Yusuf, H., The significance of the presence of foreign material periapically as a cause of failure of root treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1982. **54**(5): p. 566-74.

80. Bjorndal, L., M.H. Laustsen, and C. Reit, Root canal treatment in Denmark is most often carried out in carious vital molar teeth and retreatments are rare. *Int Endod J*, 2006. **39**(10): p. 785-90.
81. Kirkevang, L.L., P. Horsted-Bindslev, D. Orstavik, and A. Wenzel, A comparison of the quality of root canal treatment in two Danish subpopulations examined 1974-75 and 1997-98. *Int Endod J*, 2001. **34**(8): p. 607-12.
82. Behnke, J., *Logistische Regressionsanalyse: eine Einführung. Methoden der Politikwissenschaft*. 2015, Wiesbaden: Springer VS. 23-98.
83. Backhaus, K., B. Erichson, W. Plinke, and R. Weiber, *Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung*. Vol. 14. 2016, Berlin, Heidelberg: Springer. 63-282.
84. Gaus, W. and R. Muhe, *Medizinische Statistik - angewandte Biometrie für Ärzte und Gesundheitsberufe*. 2014, Stuttgart: Schattauer. 126-463.
85. Janssen, J. and W. Laatz, *Statistische Datenanalyse mit SPSS: eine anwendungsorientierte Einführung in das Basissystem und das Modul Exakte Tests*. Vol. 8. 2013, Berlin u.a.: Springer Gabler. 359-539.
86. Urban, D. and J. Mayerl, *Regressionsanalyse: Theorie, Technik und Anwendung*. Vol. 4. 2011, Wiesbaden: Springer. 13-354.
87. O'Connell, A.A., *Logistic regression models for ordinal response variables. Quantitative applications in the social sciences*. 2006, Thousand Oaks, Calif.: SAGE Publications. 1-107.
88. Bender, R., A. Ziegler, and S. Lange, *Logistische Regression Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 2002. **127**: p. T11-T13.
89. Hülsmann, M., Eine vergleichende Bewertung aktueller Studien zur Erfolgsquote endodontischer Behandlungen. *Endodontie - Quintessenz*, 2005. **14**(3): p. 231-251.
90. Farzaneh, M., S. Abitbol, H.P. Lawrence, S. Friedman, and S. Toronto, Treatment outcome in endodontics-the Toronto Study. Phase II: initial treatment. *J Endod*, 2004. **30**(5): p. 302-9.
91. Farzaneh, M., S. Abitbol, and S. Friedman, Treatment outcome in endodontics: the Toronto study. Phases I and II: Orthograde retreatment. *J Endod*, 2004. **30**(9): p. 627-33.
92. Danin, J., T. Stromberg, H. Forsgren, L.E. Linder, and L.O. Ramskold, Clinical management of nonhealing periradicular pathosis. Surgery versus endodontic retreatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 1996. **82**(2): p. 213-7.
93. de Chevigny, C., T.T. Dao, B.R. Basrani, V. Marquis, M. Farzaneh, S. Abitbol, and S. Friedman, Treatment outcome in endodontics: the Toronto study--phase 4: initial treatment. *J Endod*, 2008. **34**(3): p. 258-63.
94. Marquis, V.L., T. Dao, M. Farzaneh, S. Abitbol, and S. Friedman, Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase III: initial treatment. *J Endod*, 2006. **32**(4): p. 299-306.

95. Green, T.L., R.E. Walton, J.K. Taylor, and P. Merrell, Radiographic and histologic periapical findings of root canal treated teeth in cadaver. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 1997. **83**(6): p. 707-11.
96. Reit, C. and L. Hollender, Radiographic evaluation of endodontic therapy and the influence of observer variation. *Scand J Dent Res*, 1983. **91**(3): p. 205-12.
97. Matsumoto, T., T. Nagai, K. Ida, M. Ito, Y. Kawai, N. Horiba, R. Sato, and H. Nakamura, Factors affecting successful prognosis of root canal treatment. *J Endod*, 1987. **13**(5): p. 239-42.
98. Harty, F.J., B.J. Parkins, and A.M. Wengraf, Success rate in root canal therapy. A retrospective study of conventional cases. *Br Dent J*, 1970. **128**(2): p. 65-70.
99. Santos, S.M., J.A. Soares, C.A. Cesar, M. Brito-Junior, A.N. Moreira, and C.S. Magalhaes, Radiographic quality of root canal fillings performed in a postgraduate program in endodontics. *Braz Dent J*, 2010. **21**(4): p. 315-21.
100. Parchami, S., Der Einfluss verschiedener Parameter auf den klinischen Langzeiterfolg von Wurzelfüllungen am Zentrum für ZMK der Philipps-Universität Marburg als Beitrag zur internen Qualitätssicherung. Dissertation. 2011, Philipps-Universität Marburg: Marburg. p. 40.
101. Kersten, H.W., P.R. Wesselink, and S.K. Thoden van Velzen, The diagnostic reliability of the buccal radiograph after root canal filling. *Int Endod J*, 1987. **20**(1): p. 20-4.
102. Peters, O.A., Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod*, 2004. **30**(8): p. 559-67.
103. Reuver, H., Nicht erfasste und nicht erschließbare endodontische Hohlräume - Teil 3: Mögliche Folgen für das Behandlungsergebnis und Wege zu einer vollständigen Erschließung. *Endodontie - Quintessenz* 2005. **14**(4): p. 345-361.
104. Wu, M.K., H. Shemesh, and P.R. Wesselink, Limitations of previously published systematic reviews evaluating the outcome of endodontic treatment. *Int Endod J*, 2009. **42**(8): p. 656-66.
105. Hosmer, D.W. and S. Lemeshow, *Applied logistic regression*. 2nd ed. Wiley series in probability and statistics Texts and references section. 2000, New York: Wiley. xii, 373 p.
106. Iqbal, M., S. Chan, and J. Ku, Relative frequency of teeth needing conventional and surgical endodontic treatment in patients treated at a graduate endodontic clinic--a Penn Endo database study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2008. **106**(1): p. e62-7.
107. Iqbal, M., E. Kurtz, and M. Kohli, Incidence and factors related to flare-ups in a graduate endodontic programme. *Int Endod J*, 2009. **42**(2): p. 99-104.
108. Egan, M.W., D.A. Spratt, Y.L. Ng, J.M. Lam, D.R. Moles, and K. Gulabivala, Prevalence of yeasts in saliva and root canals of teeth associated with apical periodontitis. *Int Endod J*, 2002. **35**(4): p. 321-9.
109. Iqbal, M.K., A.A. Johansson, R.F. Akeel, A. Bergenholtz, and R. Omar, A retrospective analysis of factors associated with the periapical status of restored, endodontically treated teeth. *Int J Prosthodont*, 2003. **16**(1): p. 31-8.

110. Kirkevang, L.L. and A. Wenzel, Risk indicators for apical periodontitis. *Community Dent Oral Epidemiol*, 2003. **31**(1): p. 59-67.
111. Azim, A.A., J.A. Griggs, and G.T. Huang, The Tennessee study: factors affecting treatment outcome and healing time following nonsurgical root canal treatment. *Int Endod J*, 2016. **49**(1): p. 6-16.
112. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment: part 1: periapical health. *Int Endod J*, 2011. **44**(7): p. 583-609.
113. Kirkevang, L.L., M. Vaeth, and A. Wenzel, Ten-year follow-up of root filled teeth: a radiographic study of a Danish population. *Int Endod J*, 2014. **47**(10): p. 980-8.
114. Estrela, C., R. Holland, C.R. Estrela, A.H. Alencar, M.D. Sousa-Neto, and J.D. Pecora, Characterization of successful root canal treatment. *Braz Dent J*, 2014. **25**(1): p. 3-11.
115. Ricucci, D. and J.F. Siqueira, Anatomic and microbiologic challenges to achieving success with endodontic treatment: a case report. *J Endod*, 2008. **34**(10): p. 1249-54.
116. Salehrabi, R. and I. Rotstein, Endodontic treatment outcomes in a large patient population in the USA: an epidemiological study. *J Endod*, 2004. **30**(12): p. 846-50.
117. Alley, B.S., G.G. Kitchens, L.W. Alley, and P.D. Eleazer, A comparison of survival of teeth following endodontic treatment performed by general dentists or by specialists. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2004. **98**(1): p. 115-8.
118. Lazarski, M.P., W.A. Walker, 3rd, C.M. Flores, W.G. Schindler, and K.M. Hargreaves, Epidemiological evaluation of the outcomes of nonsurgical root canal treatment in a large cohort of insured dental patients. *J Endod*, 2001. **27**(12): p. 791-6.
119. Selden, H.S., Pulpoperiapical disease: diagnosis and healing. A clinical endodontic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1974. **37**(2): p. 271-83.
120. Koch, M., E. Wolf, A. Tegelberg, and K. Petersson, Effect of education intervention on the quality and long-term outcomes of root canal treatment in general practice. *Int Endod J*, 2015. **48**(7): p. 680-9.
121. Ng, Y.L., V. Mann, and K. Gulabivala, A prospective study of the factors affecting outcomes of non-surgical root canal treatment: part 2: tooth survival. *Int Endod J*, 2011. **44**(7): p. 610-25.
122. Orstavik, D., Time-course and risk analyses of the development and healing of chronic apical periodontitis in man. *Int Endod J*, 1996. **29**(3): p. 150-5.
123. Hession, R.W., Long-term evaluation of endodontic treatment: anatomy, instrumentation, obturation--the endodontic practice triad. *Int Endod J*, 1981. **14**(3): p. 179-84.
124. Molven, O., A. Halse, I. Fristad, and D. MacDonald-Jankowski, Periapical changes following root-canal treatment observed 20-27 years postoperatively. *Int Endod J*, 2002. **35**(9): p. 784-90.
125. Ingle, J.I., E.E. Beveridge, D.H. Glick, and J.A. Weichman, Endodontic success & failure: the Washington Study. 1994: 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins. 21-45.

126. Liang, Y.H., G. Li, P.R. Wesselink, and M.K. Wu, Endodontic outcome predictors identified with periapical radiographs and cone-beam computed tomography scans. *J Endod*, 2011. **37**(3): p. 326-31.
127. Swartz, D.B., A.E. Skidmore, and J.A. Griffin, Jr., Twenty years of endodontic success and failure. *J Endod*, 1983. **9**(5): p. 198-202.
128. Tronstad, L. and P.T. Sunde, The evolving new understanding of endodontic infections. *Endodontic Topics*, 2003. **6**(1): p. 57-77.
129. Shovelton, D.S., The presence and distribution of microorganisms within non-vital teeth. *British Dental Journal*, 1964. **117**: p. 101-7.
130. Love, R.M. and H.F. Jenkinson, Invasion of dentinal tubules by oral bacteria. *Crit Rev Oral Biol Med*, 2002. **13**(2): p. 171-83.
131. Smith, C.S., D.J. Setchell, and F.J. Harty, Factors influencing the success of conventional root canal therapy--a five-year retrospective study. *Int Endod J*, 1993. **26**(6): p. 321-33.
132. Engstrom, B. and M. Lundberg, The correlation between positive culture and the prognosis of root canal therapy after pulpectomy. *Odontol Revy*, 1965. **16**(3): p. 193-203.
133. Lin, L.M., J.E. Skribner, and P. Gaengler, Factors associated with endodontic treatment failures. *J Endod*, 1992. **18**(12): p. 625-7.
134. Kojima, K., K. Inamoto, K. Nagamatsu, A. Hara, K. Nakata, I. Morita, H. Nakagaki, and H. Nakamura, Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and nonvital pulps. A meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2004. **97**(1): p. 95-9.
135. Holland, R., V. De Souza, M.J. Nery, W. de Mello, P.F. Bernabe, and J.A. Otoboni Filho, Tissue reactions following apical plugging of the root canal with infected dentin chips. A histologic study in dogs' teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1980. **49**(4): p. 366-9.
136. Siqueira, J.F., Jr., Aetiology of root canal treatment failure: why well-treated teeth can fail. *Int Endod J*, 2001. **34**(1): p. 1-10.
137. Pettiette, M.T., E.O. Delano, and M. Trope, Evaluation of success rate of endodontic treatment performed by students with stainless-steel K-files and nickel-titanium hand files. *J Endod*, 2001. **27**(2): p. 124-7.
138. McGurkin-Smith, R., M. Trope, D. Caplan, and A. Sigurdsson, Reduction of intracanal bacteria using GT rotary instrumentation, 5.25% NaOCl, EDTA, and Ca(OH)₂. *J Endod*, 2005. **31**(5): p. 359-63.
139. Weiger, R., J. de Lucena, H.E. Decker, and C. Lost, Vitality status of microorganisms in infected human root dentine. *Int Endod J*, 2002. **35**(2): p. 166-71.
140. Ricucci, D., J. Russo, M. Rutberg, J.A. Burleson, and L.S. Spangberg, A prospective cohort study of endodontic treatments of 1,369 root canals: results after 5 years. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2011. **112**(6): p. 825-42.
141. Villas-Boas, M.H., N. Bernardineli, B.C. Cavenago, M. Marciano, A. Del Carpio-Perochena, I.G. de Moraes, M.H. Duarte, C.M. Bramante, and R. Ordinola-Zapata, Micro-computed tomography study of the internal anatomy of mesial root canals of mandibular molars. *J Endod*, 2011. **37**(12): p. 1682-6.

142. Rafeek, R.N., W.A. Smith, M.S. Mankee, and L.G. Coldero, Radiographic evaluation of the technical quality of root canal fillings performed by dental students. *Aust Endod J*, 2012. **38**(2): p. 64-9.
143. Tang, L., T.Q. Sun, X.J. Gao, X.D. Zhou, and D.M. Huang, Tooth anatomy risk factors influencing root canal working length accessibility. *Int J Oral Sci*, 2011. **3**(3): p. 135-40.
144. Weine, F.S., *Endodontic Therapy*. Vol. 5. ed. 1996, St. Louis u.a.: Mosby. 9-15, 423-477.
145. Endodontists, A.A.o. Endodontic Case Difficulty Assessment Form and Guidelines. (Accessed February 2, 2017, at https://www.aae.org/uploadedfiles/dental_professionals/endodontic_case_assessment/2006casedifficultyassessmentformb_edited2010.pdf.)
146. Ferrara, G., S. Taschieri, S. Corbella, C. Ceci, M. Del Fabbro, and P. Machtou, Comparative evaluation of the shaping ability of two different nickel-titanium rotary files in curved root canals of extracted human molar teeth. *J Investig Clin Dent*, 2015: p. 1-9.
147. Hulsmann, M., G. Gressmann, and F. Schafers, A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J*, 2003. **36**(5): p. 358-66.
148. Ozer, S.Y., Comparison of root canal transportation induced by three rotary systems with noncutting tips using computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2011. **111**(2): p. 244-50.
149. Weiger, R., M. Bruckner, A. ElAyouti, and C. Lost, Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files. *Int Endod J*, 2003. **36**(7): p. 483-90.

6. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Felicitas Hölken, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Analyse der Qualität und des Erfolges von Wurzelkanalbehandlungen in der studentischen Ausbildung an der Charité – Universitätsmedizin Berlin“ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

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

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

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

Datum

Unterschrift

7. Lebenslauf

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

8. Danksagung

Ein ganz besonderer Dank gilt meiner Doktormutter Frau PD Dr. Saskia Preißner für die gute Zusammenarbeit und die Überlassung dieses interessanten Dissertationsthemas. Ihre gute Betreuung, Motivation, Unterstützung und die wertvollen Anregungen konnten während der gesamten Arbeit nicht durch die weite Distanz geschmälert werden.

Meinem Freund und meinen Freunden möchte ich dafür danken, dass sie mich fortwährend motiviert und mir viel Inspiration und Durchhaltekraft geschenkt haben.

Abschließend möchte ich meinen Eltern und meiner Familie für den starken Rückhalt danken. Sie haben mich ermutigt diese Arbeit zu schreiben und mich in allen bisherigen Lebenslagen liebevoll unterstützt.