

Aus der Abteilung für Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin  
des CharitéCentrums 3 für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
der Medizinischen Fakultät Charité – Universitätsmedizin Berlin

## **DISSERTATION**

### **Retrospektive Analyse endodontischer Kasuistiken im Bezug auf die chemo-mechanische Wurzelkanalaufbereitung**

zur Erlangung des akademischen Grades  
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät  
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Katja Wenk, geb. Sommer  
aus Hoyerswerda

Datum der Promotion: 09. Dezember 2016

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	II
1 Abstract.....	1
2 Einleitung .....	3
3 Literaturübersicht .....	4
3.1 Erkrankungen des Endodonts .....	4
3.2 Anatomie des Endodonts .....	6
3.3 Ziel der Wurzelkanalbehandlung .....	9
3.4 Formen der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung .....	10
3.5 Die Schmierschicht (smear layer).....	11
3.6 Die chemische Wurzelkanaldesinfektion .....	11
3.6.1 Spüllösungen .....	12
3.6.2 Interaktionen zwischen Spüllösungen.....	16
3.6.3 Techniken der Wurzelkanalspülung .....	17
3.6.4 Ultraschallaktivierung.....	19
4 Ziel der Arbeit.....	20
5 Material und Methode .....	21
5.1 Digitale Erfassung der Wurzelkanalbehandlungen.....	21
5.2 Allgemeiner Ablauf der Wurzelkanalbehandlung in der Charité .....	22
5.3 Spülprotokoll.....	23
5.4 Patientengut .....	24
5.5 Röntgenauswertung .....	26
5.6 Röntgengeräte.....	26
5.7 Beurteilung des Therapieerfolges.....	26
5.8 Statistische Auswertung .....	31
5.9 Genehmigung durch die Ethikkommission .....	31
6 Ergebnisse .....	32
6.1 Deskriptive Statistik .....	32
6.1.1 Charakterisierung des Patientenkollektivs .....	32
6.1.2 Geschlechterverteilung .....	32
6.1.3 Altersverteilung .....	33
6.1.4 Verteilung nach Art der Behandlung .....	33
6.1.5 Zahnverteilung .....	34

---

6.1.6	Verteilung der Röntgenbefunde (Gesamtbetrachtung) .....	36
6.1.7	Veränderung des Röntgenbefundes .....	38
6.2	Analytische Statistik.....	39
6.2.1	Aufschlüsselung Erfolg/Misserfolg .....	39
6.2.2	Erfolg in Abhängigkeit vom Geschlecht .....	41
6.2.3	Erfolg in Abhängigkeit vom Alter .....	43
6.2.4	Erfolg in Abhängigkeit von der Behandlungsart .....	43
6.2.5	Erfolg in Abhängigkeit vom behandelten Kiefer .....	44
6.2.6	Erfolg in Abhängigkeit von den Zahngruppen .....	45
6.3	Übersicht der Ergebnisse .....	47
7	Diskussion.....	49
7.1	Diskussion der Methode .....	49
7.2	Diskussion der Ergebnisse .....	53
8	Schlussfolgerung .....	57
9	Literaturverzeichnis .....	IV
10	Anhang .....	XVII
10.1	Abkürzungsverzeichnis.....	XVII
10.2	Abbildungsverzeichnis.....	XIX
10.3	Tabellenverzeichnis.....	XXI
11	Eidesstattliche Versicherung.....	XXII
12	Lebenslauf .....	XXIII
13	Danksagung.....	XXIV

# 1 Abstract

Ziel: Das Ziel dieser Arbeit war es, den Behandlungserfolg von zwei verschiedenen standardisierten endodontischen Spülprotokollen vergleichend zu analysieren. Es wurde angenommen, dass die zusätzliche Verwendung von Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) als Spülmedium und die Anwendung der passiven Ultraschallaktivierung (PUI) zu höheren Erfolgsraten führen als die alleinige Spülung mit Natriumhypochlorit (NaOCl) während der chemischen Wurzelkanal desinfektion.

Material und Methode: Daten und Röntgenbilder von 199 Zähnen aus der endodontischen Datenbank wurden retrospektiv mittels Chi-Quadrat-Test analysiert. Bei 106 Zähnen wurde während der Wurzelkanal spülung ausschließlich Natriumhypochlorit verwendet (Protokoll 1). 93 Zähne wurden neben NaOCl zusätzlich mit EDTA gespült (Protokoll 2). Chlorhexidin (CHX) kam darüber hinaus im Falle einer Revision in beiden Gruppen zum Einsatz. In Gruppe 2 wurden alle verwendeten Spülmedien mittels PUI aktiviert.

Ergebnisse: Der Nachuntersuchungsabstand betrug in Gruppe 1  $9,2 \pm 4,4$  Monate und in Gruppe 2  $6,6 \pm 2,5$  Monate. Das Auftreten der verschiedenen Grade zur Beurteilung der periapikalen Struktur der Masterpointaufnahme und der Recallaufnahme ergab in beiden Gruppen keinen signifikanten Unterschied ( $p > 0,05$ ). Die statistische Analyse zeigte keine Korrelation zwischen dem Behandlungserfolg und dem angewandten Spülprotokoll (Erfolgsrate Gruppe 1 = 75,8%, Gruppe 2 = 82,6%). Darüber hinaus war die Anzahl der Extraktionen in beiden Gruppen nicht signifikant unterschiedlich ( $p > 0,05$ ). Es wurde kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Recall-Intervall und dem Behandlungserfolg festgestellt ( $p > 0,05$ ).

Schlussfolgerung: Die Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Obwohl der erlangte Behandlungserfolg unter Verwendung von EDTA und PUI größer war, konnte kein signifikanter Unterschied zur alleinigen Spülung mit NaOCl nachgewiesen werden. Allein den Behandlungserfolg betreffend ist das Spülprotokoll 2 dem Spülprotokoll 1 somit nicht überlegen, zumindest nicht innerhalb des begrenzten Nachuntersuchungszeitraums.

Klinische Relevanz: Es kann unter Vorbehalt geschlussfolgert werden, dass im Rahmen der chemo-mechanischen Wurzelkanalaufbereitung tendenziell vergleichbare Erfolgsraten erzielt werden können, sowohl unter der Verwendung von Natriumhypochlorit als alleiniges Spülmedium oder der zusätzlichen Verwendung von EDTA und der passiven Ultraschallaktivierung. Die Wirksamkeit von EDTA als zusätzliches Agens zur Verbesserung der chemischen Wurzelkanal desinfektion und der positive Effekt der passiven Ultraschallaktivierung auf die Kanalreinigung konnten jedoch in zahlreichen *in vitro* Untersuchungen nachgewiesen werden und sind aufgrund dessen weiterhin zu empfehlen.

#### Abstract

Objectives: The aim of the present study was to investigate and compare the clinical outcomes of two different standardized endodontic irrigation protocols. It was assumed that the additional use of ethylenediaminetetraacetate (EDTA) as irrigation fluid and passive ultrasonic irrigation (PUI) would result in an increased rate of treatment success compared to the irrigation only using sodium hypochlorite (NaOCl) during the chemical root canal disinfection.

Materials and methods: Data and radiographs from 199 teeth, retrieved from the institutional endodontic database, were analyzed retrospectively using Pearson's chisquare test. In 106 teeth irrigation was performed using only NaOCl (protocol 1). Ninety-three teeth were irrigated using EDTA additionally to NaOCl (protocol 2). Furthermore Chlorhexidine (CHX) was used in revision treatments in both groups. Within group 2 all irrigants were activated by PUI.

Results: Mean follow-up periods were: protocol 1 =  $9.2 \pm 4.4$  and protocol 2 =  $6.6 \pm 2.5$  months. The frequencies of the different index scores for evaluating the periapical structures within the masterpoint recording and the recall recording did not result in a significant difference in both groups ( $p > 0.05$ ). Statistical analysis revealed no significant correlation between treatment success and the applied protocol (success rates: protocol 1 = 75.8 % vs. protocol 2 = 82.6 %). Furthermore, the frequency of extractions did not differ significantly between both protocols ( $p > 0.05$ ). No significant association was found between follow-up time and treatment success ( $p > 0.05$ ).

Conclusion: The hypothesis was not confirmed. Even though the obtained success rate was higher after supplementing the irrigation protocol with EDTA and PUI, no significant difference was recorded compared to the irrigation only with NaOCl. Hence, protocol 2 was not superior to protocol 1 regarding therapy success, at least within the limited follow-up period.

Clinical relevance: It may be carefully concluded that by trend comparable success rates can be achieved when using NaOCl as single irrigation fluid for the chemo-mechanical root canal preparation or the additional use of EDTA and the passive ultrasonic irrigation. The effectiveness of EDTA as additional agent for improving the chemical root canal disinfection and the positive effect of passive ultrasonic irrigation on canal cleaning however were proven in numerous *in vitro* investigations and are therefore still recommended.

## 2 Einleitung

Die Endodontie stellt einen Teilbereich der Zahnheilkunde dar. Sie beschäftigt sich mit den Erkrankungen des Pulpa-Dentin-Komplexes und des periapikalen Gewebes. Die endodontische Behandlung hat, bedingt durch den Wunsch des Patienten, Zähne so lange wie möglich als funktionstüchtige Kaueinheit zu erhalten, einen großen Stellenwert im Praxisalltag. Durch stetige Forschung und die Entwicklung technischer Hilfsmittel, z.B. Nickel-Titan Instrumente und digitale Röntgenbilder, konnten die Erfolgsprognosen in den letzten Jahren stetig verbessert werden. Sie liegen heute bei bis zu 95% [1]. Die kariöse Destruktion des Zahnes und die damit verbundene mikrobielle Invasion des Pulpa-Dentin-Komplexes gilt auch heute noch als Hauptursache für die Erkrankung der Pulpa [2]. Bei einer irreversiblen Pulpitis können sich bakterielle Stoffwechselprodukte vom Endodontium auf das Parodontium ausbreiten und eine Parodontitis apicalis verursachen. Das Ziel der Wurzelkanalbehandlung ist die Entfernung des infizierten Pulpagewebes und der Mikroorganismen. Dies wird erreicht durch die gründliche Reinigung und Desinfektion des Pulpa-Dentin-Komplexes. Aufgrund der komplexen Anatomie des Wurzelkanalsystems ist eine vollständige Instrumentierung der Kanalwände meist nicht möglich [3]. Die zusätzliche chemische Wurzelkanal-desinfektion zur Eliminierung mikrobieller Erreger, sowie zur Entfernung organischer und anorganischer Bestandteile des Pulpagewebes ist von entscheidender Bedeutung. Natriumhypochlorit (NaOCl) gilt

seit über 60 Jahren als das Mittel der Wahl zur Desinfektion des Wurzelkanals. Die gute antimikrobielle Wirkung von NaOCl gegen ein breites Keimspektrum konnte in mehreren Studien nachgewiesen werden. Jedoch ist NaOCl nicht in der Lage den so genannten „smear layer“ aufzulösen. In dieser, bei der mechanischen Wurzelkanalbearbeitung entstehenden Schicht, können Bakterien zurückbleiben und zu einer Reinfektion des Wurzelkanalsystems führen [4]. Die zusätzliche Anwendung von Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) in Kombination mit NaOCl während der chemischen Wurzelkanal-desinfektion führt zu einer deutlichen Reduktion des smear layers und damit zu einer Verbesserung der Kanalreinigung [5]. Eine weitere Herausforderung stellt die Reinigung schwer zugänglicher Kanalabschnitte, wie z.B. in der apikalen Wurzelkanalregion, in Seitenkanälen und in gekrümmten Kanalabschnitten dar. Die Verwendung der passiven Ultraschallaktivierung (PUI) erhöht die Keimzahlreduktion und die laterale Kanalwandpenetration von NaOCl. Des Weiteren wird der smear layer durch die Anwendung der PUI effektiver entfernt [6].

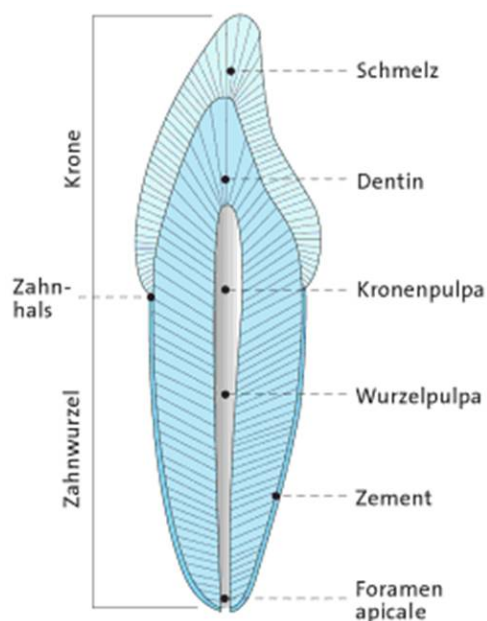
In verschiedenen Studien konnte der Erfolg unterschiedlicher Spülprotokolle *in vitro* nachgewiesen werden. Im Rahmen dieser Studie wurde ein Spülprotokoll auf Grundlage der aktuellen Forschung erstellt und im klinischen Studienabschnitt der Charité – Universitätsmedizin Berlin implementiert. Neben NaOCl wurde die passive Ultraschallaktivierung und EDTA als zusätzliches Agens zur chemischen Wurzelkanal-desinfektion eingeführt. Anschließend wurde anhand der bestehenden Röntgenaufnahmen der Behandlungserfolg retrospektiv analysiert.

## **3 Literaturübersicht**

### **3.1 Erkrankungen des Endodonts**

Jeder natürliche Zahn ist aufgebaut aus Zahnkrone (Corona dentis), Zahnhals (Cervix dentis) und Zahnwurzel (Radix dentis). Die Schichten untergliedern sich in Zahnschmelz (Enamelum), Zahnbein (Dentin) und das Zahnmark (Pulpa) [Abb.1]. Das Pulpa-Dentin-System ist eine strukturell funktionelle Einheit, die formative (dentinbildende), sensorische, nutritive und defensive Funktionen erfüllt. Die Zahnpulpa ist ein lockeres spezialisiertes Bindegewebe und besteht aus Zellen, einer

interzellulären Grundsubstanz mit oxytalanartigen, retikulären und kollagenen Fasern sowie aus Gefäßen und Nerven.



**Abb. 1:** Aufbau des Zahnes. Abbildung entnommen aus: Lehmann KM, Hellwig E, Wenz H-J. Zahnärztliche Propädeutik. Deutscher Zahnärzte Verlag Köln, 2011, S.15.

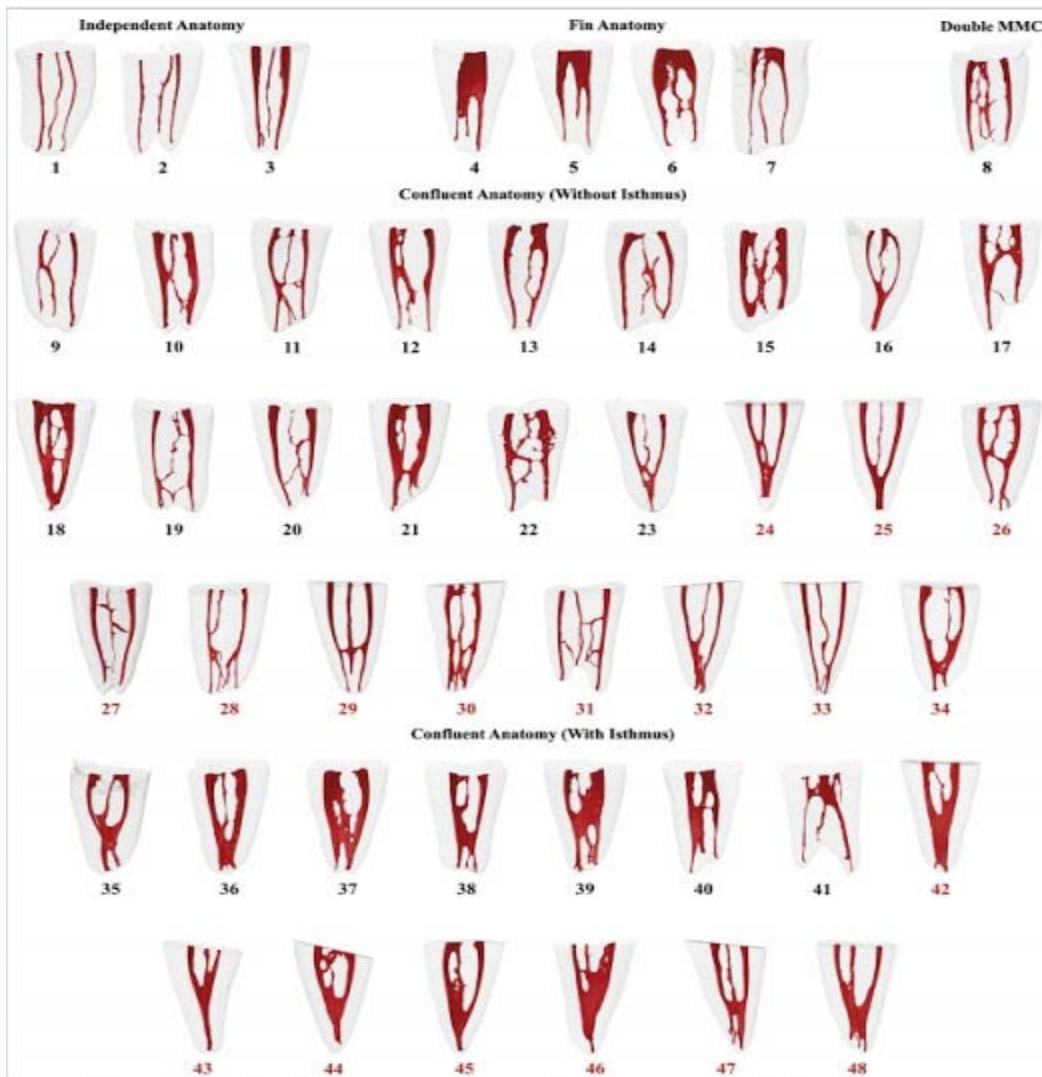
Wird die gesunde Pulpa irritiert, folgt als primäre Reaktion eine Entzündung des Endodonts, die bei länger anhaltendem Reiz zur Nekrose der Pulpa und zu einer Erkrankung des periapikalen Gewebes führen kann. Die Ursachen für eine Pulpaerkrankung können in infektiöse, iatrogene und traumatische Ursachen eingeteilt werden. Zu den infektiösen Ursachen zählen Karies, Parodontopathien, nicht kariesbedingter Zahnhartsubstanzverlust, z.B. Abrasion und Attrition sowie hämatogene bakterielle Infektionen. Reize, die bei der Präparation, Reinigung und Trocknung auf den Zahn wirken sowie eine Positionsveränderung bei der kieferorthopädischen Behandlung, werden den iatrogenen Ursachen zugeteilt. Zu den traumatischen Ursachen werden Kronenfrakturen, Wurzelfrakturen, Konkussionen, Luxationen, Infraktionen sowie traumatische Okklusionen gezählt. Eine Pulpitis wird in erster Linie durch eine kariesbedingte mikrobielle Invasion des Pulpa-Dentin-Komplexes verursacht. Histologisch treten erste Reaktionen bereits bei einer Schmelzkaries auf. Erreicht der kariöse Prozess das Dentin erfolgen weitere Reizungen, ausgelöst durch bakterielle Stoffwechselprodukte. Es treten degenerative Veränderungen der Pulpa auf, wenn die Bakterien das periphere Ende der Dentintubuli erreichen. Die Pulpa-Dentin-Einheit



reagiert auf den einwirkenden Reiz mit Sklerosierung im Dentin, Bildung von Tertiärdentin an der Pulpa-Dentin-Grenze und Entzündung der Pulpa. Sind die Bakterien noch nicht direkt in die Pulpa eingedrungen, kann die Pulpitis reversibel sein. Merkmale einer reversiblen Pulpitis sind ein stechender, kurz andauernder Schmerz, der reizabhängig auf heiß, kalt, süß oder sauer reagiert und genau lokalisierbar ist. Eine irreversible Pulpitis ist durch einen pulsierenden, pochenden, dumpfen, reizüberdauernden, ausstrahlenden Schmerz charakterisiert, der durch Wärme ausgelöst wird. Spätestens bei Penetration der Bakterien in die Pulpa, wird diese nekrotisch. Die Entzündung kann sich im weiteren Verlauf auf das periapikale Gewebe ausbreiten. Eine Parodontitis apicalis acuta ist gekennzeichnet durch ein eher unauffälliges Röntgenbild, das mitunter einen erweiterten Parodontalspalt aufweist und mit starken Schmerzen, vor allem bei axialer Belastung einhergeht. Die chronische Form der Parodontitis apicalis weist eine meist abgekapselte periapikale Entzündung mit unauffälligen klinischen Merkmalen auf. Radiologisch stellt sich ein erweiterter Parodontalspalt oder eine apikale Aufhellung dar. Bei anhaltendem Reiz können reaktive Prozesse an der Wurzelspitze folgen. Dazu gehören das apikale Granulom, die apikale Zyste, die sklerosierende Ostitis und der apikale Abszess [2, 7].

### **3.2 Anatomie des Endodonts**

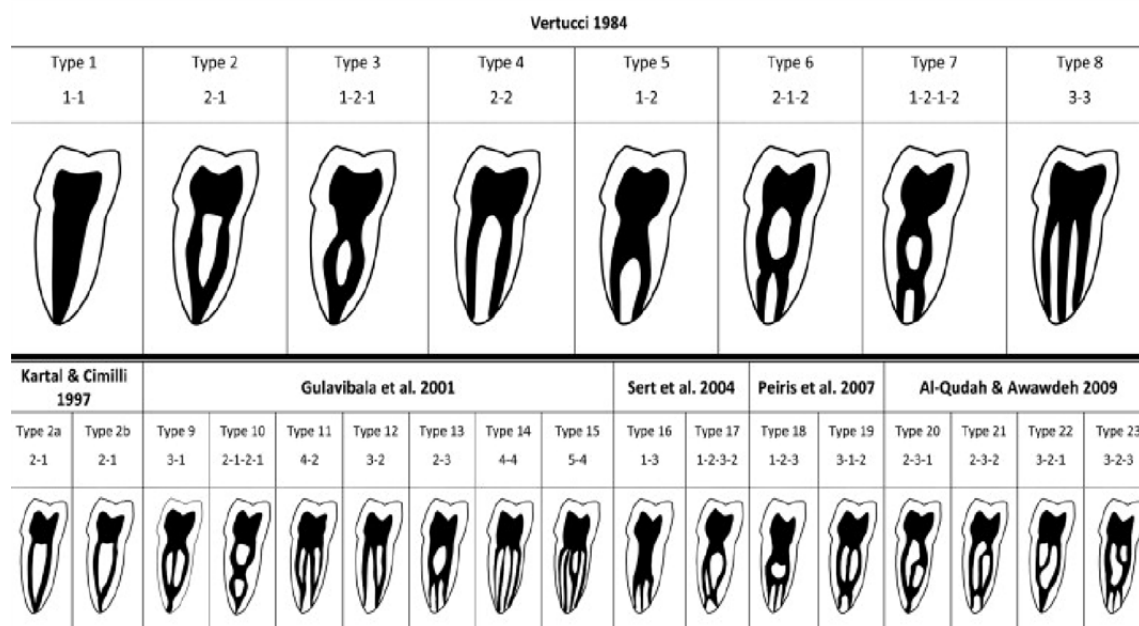
Eine genaue Kenntnis der Wurzelkanalanatomie ist für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung unerlässlich. Carabelli lieferte mit Längs- und Querschnitten von Zähnen eine erste systematische Darstellung der Wurzelkanalanatomie. Eine genauere Veranschaulichung der komplexen Gestalt der Pulpa mit Seitenkanälen und Verästelungen gelang Walter Hess 1917 im Rahmen seiner Habilitationsschrift [8]. In der heutigen Zeit sind dreidimensionale Darstellungen mit Hilfe der Computertomografie möglich [9]. Durch Aufnahmen mit Hilfe des  $\mu$ -CT können heute detailgetreue Einblicke in die Anatomie des Endodonts realisiert werden und verdeutlichen, dass die Eliminierung von Bakterien im gesamten Wurzelkanalsystem durch eine rein mechanische Reinigung nicht möglich ist [Abb. 2].



**Abb. 2:** Darstellung der Wurzelkanalkonfiguration von 48 Unterkiefer Molaren (mesiale Wurzel) mittels Mikro-CT. Abbildung entnommen aus: <http://rootcanalanatomy.blogspot.de/search/label/MandibularFirstMolar>, entnommen am 22.02.2016.

Der Wurzelkanal stellt sich als komplexer endodontischer Hohlraum dar [10]. Das Wurzelkanalsystem besteht aus Haupt- und Nebenkanälen mit pulpodesmodontalen Seitenkanälen. Akzessorische Wurzelkanäle, sekundäre Kanäle, die den Hauptkanal im Apexbereich in schräger Richtung verlassen, bilden ein komplexes dreidimensionales System mit feinen flussdeltaartigen Verzweigungen, den so genannten apikalen Ramifikationen [2]. Zusätzlich können Isthmen und transversale Anastomosen zwischen Kanälen auftreten. Des Weiteren kommen Pulpaperiodontalkanäle bei mehrwurzeligen Zähnen häufig am Pulpakammerboden im Bereich der Bi- und Trifurkation vor. Abweichungen in der Zahnform, z.B. Mikrodontie, Makrodontie und Zahnverschmelzungen spiegeln sich

auch in der Wurzelkanalform wider [10]. Die Form des Foramen physiologicum stellt sich oft oval statt rund dar. Häufig treten akzessorische Foramina auf, vor allem bei mesialen Wurzeln von Molaren. Der Abstand vom anatomischen zum physiologischen Apex kann bis zu 3,7 mm abweichen [11]. Die Form des Wurzelkanals unterliegt des Weiteren einer zeitlichen Veränderung. Reize, die auf den vitalen Zahn einwirken, führen durch Bildung von Sekundär- und Tertiärdentin zu Verengungen und Obliterationen [10]. Vertucci erstellte 1984 anhand von 2400 extrahierten Zähnen eine Klassifikation der Wurzelkanalkonfigurationen. Er unterteilte acht Typen. Typ I stellt einen Hauptkanal dar, der vom Pulpencavum bis zum Apex verläuft. Typ II zeigt zwei getrennte Kanäle, die das Pulpencavum verlassen und die sich vor dem Foramen physiologicum zu einem Kanal vereinigen. Bei Typ III entspringt ein Kanal dem Pulpencavum, der sich innerhalb der Wurzel in zwei Kanäle teilt. Diese Kanäle vereinigen sich im weiteren Verlauf und enden in einem gemeinsamen Foramen physiologicum. Typ IV ist charakterisiert durch zwei Kanäle, die in zwei getrennten Foramina enden. Bei Typ V verzweigt sich ein Kanal, der dem Cavum entspringt, vor dem Apex in zwei Kanäle. Typ VI ist dargestellt als zwei getrennte Kanäle, die das Cavum verlassen, welche im weiteren Verlauf verschmelzen und sich vor dem Apex wieder trennen, um in zwei getrennten Foramina zu enden. Typ VII zeigt einen Kanal, der aus der Pulpakammer entspringt und sich in zwei Kanäle trennt. Diese fusionieren und verzweigen sich abermals vor dem Austritt in zwei getrennte Kanäle. Beim Typ VIII verlaufen drei getrennte Kanäle vom Pulpencavum bis zum Apex [2]. Die Darstellung der Konfigurationsvielfalt des Wurzelkanalsystems, die im Laufe der Jahre umfassend weiterentwickelt wurde, verdeutlicht den hohen Stellenwert der chemischen Wurzelkanalaufbereitung während der Behandlung der erkrankten Pulpa [Abb. 3].



**Abb. 3:** Wurzelkanalkonfiguration. Abbildung entnommen aus: <http://www.endopracticeus.com/ce-articles/treatment-of-mandibular-first-molars-with-five-root-canals/>; entnommen am 22.02.2016.

### 3.3 Ziel der Wurzelkanalbehandlung

Das Ziel der Wurzelkanalbehandlung ist der langfristige Erhalt des Zahnes als funktionsfähige Kaueinheit und Erhaltung bzw. Wiederherstellung gesunder periradikulärer Strukturen [12]. Dies wird erreicht durch die Entfernung des infizierten vitalen und nekrotischen Pulpagewebes, die weitestgehende Eliminierung der Mikroorganismen, die Beibehaltung des ursprünglichen Wurzelkanalverlaufes, die konische Gestaltung des Wurzelkanals während der Präparation, den Erhalt der apikalen Konstriktion, die vollständige Aufbereitung des Wurzelkanals und die Vermeidung einer Über- und Unterinstrumentierung des Kanalsystems. Die endgültige Aufbereitungslänge sollte dabei mit der vorher festgelegten Arbeitslänge übereinstimmen [13]. Das Hauptziel der Wurzelkanalaufbereitung ist folglich die Elimination von pulpalen Geweberesten und Mikroorganismen [14]. Dies erfolgt durch die chemo-mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals. Die mechanische Aufbereitung und Formgebung kann manuell mit Handinstrumenten oder maschinell mit rotierendem Instrumentarium erfolgen [15, 16]. Die Behandlung sollte unter aseptischen Bedingungen geschehen. Um dies zu erreichen ist die Verwendung eines Kofferdams zur absoluten Trockenlegung obligat, damit ein Speichelzutritt und eine bakterielle Kontamination während der Behandlung verhindert werden kann. Des Weiteren zum

Ausschluss der Aspiration und des Verschluckens von Instrumenten und um einem Übertreten von Spüllösungen in die Mundhöhle vorzubeugen [13, 17, 18]. Da eine mechanische Aufbereitung aufgrund der komplexen Anatomie der Wurzelkanäle nicht alle potentiell infizierten Kanalabschnitte erreichen kann und durchschnittlich bis zu 50% der Areale uninstrumentiert bleiben, muss währenddessen intensiv mit desinfizierenden Spüllösungen unter passiver Ultraschallaktivierung gespült werden [3, 19]. Dabei kommen unterschiedliche Spüllösungen zum Einsatz, auf die im Weiteren näher eingegangen wird.

### **3.4 Formen der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung**

Das Ziel der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung umfasst die Entfernung des erkrankten Pulpagewebes und des infizierten Dentins sowie die Formgebung des Wurzelkanals. Dabei soll die ursprüngliche Form des Wurzelkanals beibehalten und Präparationsfehler, wie z.B. Begradigungen, Perforationen, Stufenbildungen und Verblockungen vermieden werden. Die von apikal nach koronal konische Aufbereitung stellt die Voraussetzung für eine bakteriendichte Wurzelkanalfüllung dar [20, 21]. Einen besonderen Stellenwert hat die Aufbereitung der apikalen Region des Wurzelkanals, da diese aufgrund des geringen Durchmessers schwer zugänglich für desinfizierende chemische Spüllösungen ist. Die apikale Aufbereitung sollte deshalb bis mindestens ISO-Größe 40 erfolgen [22, 23]. Dem Behandler stehen unterschiedliche Instrumente und Systeme zur Verfügung. Die mechanische Wurzelkanalbehandlung kann in zwei Techniken unterteilt werden, die manuelle und die maschinelle Aufbereitungstechnik.

Die Vorteile der manuellen Aufbereitung sind der Tastsinn, die gegebene Kraftkontrolle, der Kontakt mit der zu bearbeitenden Kanalwand sowie die gute Formgebung und Reinigung des Wurzelkanals [24]. Es kommen verschiedene flexible Instrumente aus Edelstahl und Titanlegierungen zum Einsatz, die sich in ihrer Herstellung, im Aufbau und ihrer Funktion unterscheiden. Die Grundtypen beinhalten Feilen vom Typ K (Kerr) und vom Typ H (Hedström), sowie Bohrer vom Typ K-Reamer. Sie unterscheiden sich in ihrer Geometrie und Arbeitsweise und werden in unterschiedlichen ISO-Größen verwendet [14]. Die Methoden zur Aufbereitung werden nach der Richtung der Erweiterung des Wurzelkanals eingeteilt. Unterschieden werden die apikal-koronale und die koronal-apikale Methode. Beispiele hierfür sind die konventionelle Methode, die Step-back-Technik und die Crown-down-Technik.

Ein System zur maschinellen Aufbereitung des Wurzelkanals wurde erstmals 1899 von Rollins vorgestellt. Seit der Einführung der Nickel-Titan Instrumente in der Zahnmedizin und der Entwicklung von Drehzahl und Drehmoment begrenzten Antriebsmotoren nehmen die maschinellen Systeme gegenüber den lange überlegenen manuellen Techniken einen höheren Stellenwert ein. Heute gibt es eine Vielzahl von Systemen, die sich vor allem in ihrer Antriebsart unterscheiden. Dazu zählt die Rotationsantriebsart mit der winkelbegrenzten, vollständigen und drehmomentbegrenzten Rotation. Bei anderen Systemen werden Hubbewegungen ausgeführt und es kann auch nach der Schwingungsweise (im Schall- oder Ultraschallbereich) unterschieden werden [14]. Nickel-Titan Feilen sind besonders in stark gekrümmten Kanälen den Edelmetallinstrumenten überlegen. Sie sind stärker verformbar und aufgrund des „memory effects“ kommt es zu keiner permanenten Deformation der Instrumente, was eine formgetreuere Aufbereitung des Wurzelkanals ermöglicht und die Bruchgefahr der Instrumente vermindert [25, 26].

### **3.5 Die Schmierschicht (smear layer)**

Bei der mechanischen Bearbeitung des Wurzelkanals entsteht durch Materialabtrag eine Schmierschicht (smear layer). Diese Schicht liegt der Wurzeldentinoberfläche zum Teil 1-2  $\mu\text{m}$  auf und wird auch bis zu 40  $\mu\text{m}$  in die Dentintubuli hineingepresst [27, 28]. Sie besteht aus organischen und anorganischen Bestandteilen, wie Dentinspänen, Resten des Pulpagewebes, Odontoblastenfortsätzen und auch Bakterien [29]. Die Penetrationstiefe des Sealers zur Wurzelkanalfüllung in die Dentintubuli ist nach Entfernung der Schmierschicht deutlich erhöht [30]. Nach der Wurzelkanalfüllung können Bakterien über den verbliebenen smear layer den Wurzelkanal wieder vollständig besiedeln [4]. Infolgedessen ist die Entfernung des smear layer für den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung von hoher Bedeutung.

### **3.6 Die chemische Wurzelkanaldesinfektion**

Die Wirksamkeit der mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanalsystems ist aufgrund der komplexen Anatomie des Wurzelkanals mit Seitenkanälen, Isthmen und dem apikalen Delta eingeschränkt. Eine zusätzliche chemische Desinfektion ist unerlässlich, um Mikroorganismen zu eliminieren sowie organische und anorganische Bestandteile des Pulpagewebes auch aus nicht zu instrumentierbaren Bereichen zu entfernen. Bakterien, insbesondere *Enterococcus faecalis*, können Dentinkanälchen bis in eine

Tiefe von 0,25 mm penetrieren [31-33]. Durch die chemische Wurzelkanaldesinfektion sollen nekrotisches Pulpagewebe und Dentinspäne ausgeschwemmt und eine Verblockung des Wurzelkanals vermieden werden. Die Spüllösung soll antibakteriell und gewebsauflösend wirken, das Wurzelkanalsystem desinfizieren und bakterielle Lipopolysaccharide inaktivieren. Des Weiteren dient es als Gleitmittel für die Wurzelkanalinstrumente. Weitere Anforderungen sind eine geringe Zytotoxizität, hohe Gewebeverträglichkeit und keine negative Beeinflussung der postendodontischen Restauration [34]. Eine Kombination verschiedener Spüllösungen während der Wurzelkanalbehandlung ist nötig, da eine einzige Spüllösung nicht in der Lage ist, alle Anforderungen vollständig zu erfüllen.

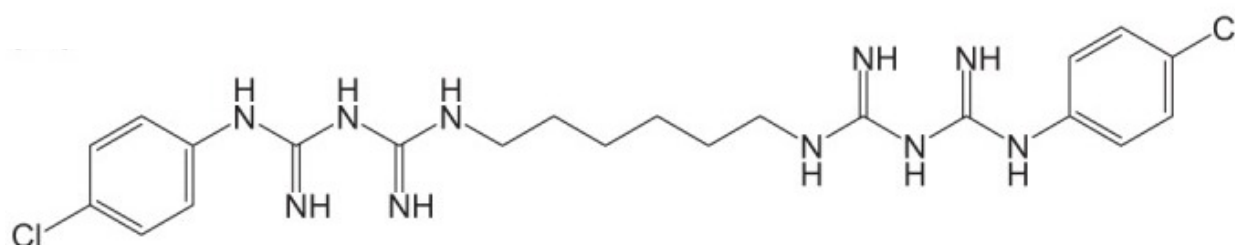
### **3.6.1 Spüllösungen**

#### **Natriumhypochlorit (NaOCl)**

NaOCl gilt als Standarddesinfektionslösung während der Wurzelkanalbehandlung. Schon 1919 wurde NaOCl in der Endodontie angewandt [35]. Der Gehalt an undissoziierten HOCl-Molekülen ist für die aktive Wirkung verantwortlich, sie besitzen oxidierende und chlorierende Wirkungen. NaOCl wird in Konzentrationen zwischen 0,5% und 5,25% in der Endodontie verwendet, wobei sich die Prozentangabe auf die in der Lösung enthaltene wirksame Menge von Chlor bezieht. Es verfügt über die Fähigkeit nekrotisches und vitales Gewebe aufzulösen [2, 7]. NaOCl besitzt eine gute antimikrobielle Wirkung gegen ein breites Keimspektrum, ist wirksam gegen Bakterien, Pilze (z.B. *Candida albicans*), Pilzsporen sowie behüllte und unbehüllte Viren und ist in der Lage, Bakterienwandbestandteile, Lipopolysaccharide und Endotoxine zu denaturieren [36-39]. Im In-vitro-Vergleich zeigte sich eine gute Wirksamkeit gegen *E. faecalis* in allen getesteten Konzentrationen, wobei ein höheres Spülvolumen eine niedrigere Konzentration rechtfertigen kann [40, 41]. Unter klinischen Bedingungen konnte mit NaOCl nicht in allen Wurzelkanälen reproduzierbare Keimfreiheit erzielt werden. Bei etwa 30% konnte eine persistierende Infektion nachgewiesen werden [42, 43]. NaOCl gilt als wirksamstes Mittel zur Auflösung von vitalem und nekrotischem Gewebe im Wurzelkanal [44]. Seine nekrolytische Wirkung ist bereits in einer Konzentration von 1% höher als bei anderen Spüllösungen [45]. NaOCl ist in höheren Konzentrationen auch in der Lage vitales Gewebe aufzulösen [46]. Der gewebeauflösende Effekt ist abhängig von der Konzentration, der Kontaktzeit und der Menge der verwendeten Lösung [47-49]. NaOCl ist nicht in der Lage den smear layer

vollständig aufzulösen, da dieser zum größten Teil aus anorganischen Substanzen besteht [50, 51]. Jedoch ist NaOCl im Stande, in die Dentintubuli zu penetrieren [52]. Welche Konzentrationen klinisch eingesetzt werden sollten wird kontrovers diskutiert. Mit Erhöhung der Konzentration verbessern sich die antibakteriellen Eigenschaften der Lösung [53]. In anderen Studien konnten keine Unterschiede in der Desinfektionskraft unterschiedlicher Konzentrationen festgestellt werden [43, 54]. Die antimikrobielle Wirkung von 1%, 2,5% und 5,25% NaOCl wurde in einer vergleichenden Studie ohne signifikante Unterschiede beschrieben [41]. Dem gegenüber steht die Zunahme der Zytotoxizität mit zunehmender Konzentration der Spüllösung [55-57]. Wird konzentriertes NaOCl über den Apex hinaus gepresst, kann es zu schwerwiegenden Zwischenfällen kommen [58]. Postoperative Schwellungen, Emphyseme, Schmerzen und Nekrosen können die Folge sein [59, 60]. NaOCl ist in einer Konzentration von 0,5% nicht toxisch und wird mit dem zirkulierenden Blut weggeschwemmt [55, 61]. Empfohlen wird die Anwendung niedrig konzentrierter Lösungen von 0,5 bis 1%, da hier eine gute antimikrobielle Wirkung und Gewebeauflösung bei gleichzeitig akzeptabler Biokompatibilität vorliegt [62].

### Chlorhexidindigluconat (CHX)



**Abb. 4:** Strukturformel Chlorhexidindigluconat. Abbildung entnommen aus: de Vasconcelos BC, Luna-Cruz SM, De-Deus G, de Moraes IG, Maniglia-Ferreira C, Gurgel-Filho ED. Cleaning ability of chlorhexidine gel and sodium hypochlorite associated or not with EDTA as root canal irrigants: a scanning electron microscopy study. J Appl Oral Sci, 2007. 15(5): p. 387-91.

Chlorhexidindigluconat wird als Antiseptikum in der Zahnmedizin in verschiedenen Bereichen angewandt. Seinen Einsatz findet es zum Beispiel als Mundspüllösung oder im Rahmen der „Full-mouth disinfection“ in der Parodontologie. Des Weiteren kommt es als CHX-Gel oder CHX-Chip zur Einbringung in parodontale Taschen in unterschiedlichen Konzentrationen zum Einsatz. Das kationische Bisguanid wird in der Endodontie in Konzentrationen zwischen 0,2% und 2% verwendet. Das Molekül ist spiegelsymmetrisch und enthält zwei Benzolringe [Abb. 4]. Es bindet an anionische



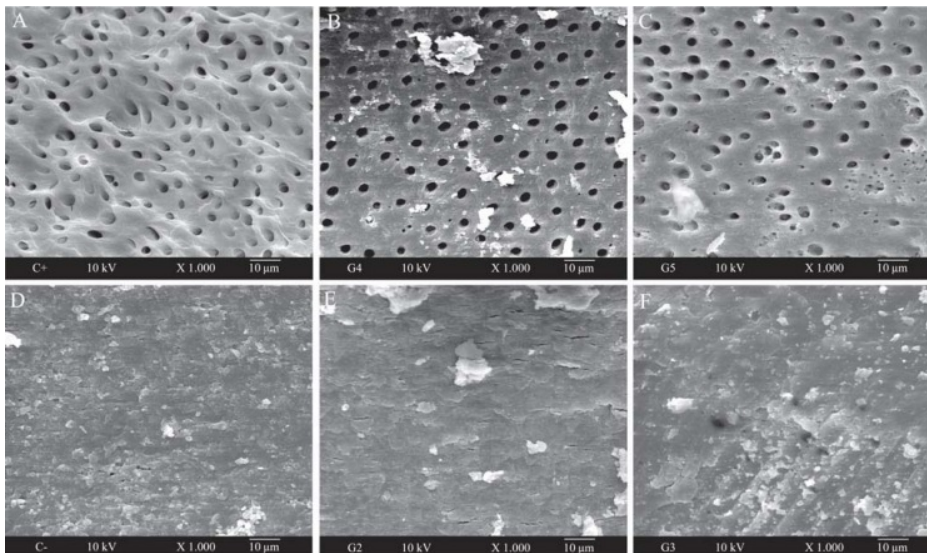
Bestandteile der Bakterienmembran und stört das osmotische Gleichgewicht, was zu einem Austritt intrazellulärer Komponenten führt. Des Weiteren werden bakterielle Enzyme inaktiviert und somit der Zellmetabolismus gestört [63]. Bei niedrigeren Konzentrationen wirkt CHX bakteriostatisch, bei höheren Konzentrationen bakterizid, was auf der Präzipitation des Zytoplasmas beruht [64]. Es besitzt sehr gute antimikrobielle Eigenschaften bei guter Biokompatibilität. Im Tierversuch traten bei Gewebekontakt deutlich geringere Entzündungsreaktionen auf als nach Kontakt mit 0,5%igem NaOCl [65]. CHX zeigt eine ähnlich gute antibakterielle Wirkung wie NaOCl [66-68]. Es besitzt eine besonders gute Wirksamkeit gegen grampositive Keime (z.B. Enterokokken) und Pilze [40]. Auch im Vergleich mit Kalziumhydroxid als temporäre Wurzelkanaleinlage erwies sich CHX als wirksamer [69]. Ein weiterer Vorteil ergibt sich aus der hohen Substantivität von CHX. Es lagert sich an der Dentinoberfläche an und behält dabei seine Wirkung. Ein Reservoirereffekt, bei dem die antimikrobielle Wirkung von CHX auch noch nach Wochen besteht, wird beschrieben [70-72]. CHX zeigt allerdings im Gegensatz zu NaOCl eine geringere gewebeauflösende Wirkung [73, 74]. Die antimikrobielle Wirkung von CHX wird durch Dentinspäne und Serumproteine im Wurzelkanal reduziert [75, 76]. CHX kann NaOCl als Spüllösung im Wurzelkanal nicht ersetzen, sollte aber als Zusatzspüllösung angewandt werden, wobei Interaktionen vermieden werden müssen.

## **Chelatoren**

### **Ethylendiamintetraessigsäure EDTA**

Chelatoren sind großmolekulare Komplexbildner, die in der Lage sind, selektiv Kalziumionen zu binden. EDTA wurde 1957 erstmals von Nygaard-Østby in die Endodontie eingeführt, mit dem Ziel, die Instrumentation des Wurzelkanals zu unterstützen. EDTA ist in der Lage das Dentin zu erweichen und somit insbesondere die Aufbereitung enger und kalzifizierter Wurzelkanäle zu erleichtern. Chelatoren sind in flüssiger oder pastenförmiger Zubereitung erhältlich. In wässriger Lösung ist EDTA in einer Konzentration von 15% - 24% enthalten. Es wird hauptsächlich als unterstützende Spülung während der chemischen Wurzelkanalaufbereitung, speziell zur Entfernung der Schmierschicht angewandt [5]. Als alleinige Spüllösung ist EDTA lediglich in der Lage den anorganischen Anteil der Schmierschicht herauszulösen. Es kann die Schmierschicht also nicht komplett entfernen, daher wird es in Kombination mit NaOCl empfohlen [77, 78]. Kombinationen aus NaOCl und EDTA als Spüllösungen sind in der

Lage, die Wurzelkanalwand nahezu vollständig von Geweberesten und Schmierschicht zu befreien und die Dentintubuli freizulegen [79, 80]. Die Effektivität von EDTA nimmt im Verlauf des Wurzelkanals ab, eine Wirkung wird vor allem im koronalen und mittleren Drittel des Wurzelkanals beschrieben [78, 81]. EDTA ist des Weiteren in der Lage die Dentinkanälchen zu erweitern [82]. Durch die Öffnung der Dentintubuli kann NaOCl als nachfolgende Spülung tiefer in das Dentin eindringen und seine desinfizierende Wirkung entfalten [83]. Der Chelatbildner sollte in Konzentrationen zwischen 15% und 24% angewandt werden, um eine akzeptable Entfernung der Schmierschicht und eine Kollagenexposition in einer angemessenen Zeit zu erreichen [84]. Nachteilig sind der begrenzte antibakterielle Effekt sowie die destruktive Wirkung auf das Wurzelkanaldentin zu erwähnen. EDTA führt zu einer Demineralisation des intertubulären Dentins, zu einer Vergrößerung der Dentintubuli sowie zu einer Denaturierung der Kollagenfasern [85]. Angewandte Volumina über 1 ml zeigen keine Verbesserung der Wirkung von EDTA [86]. In pasten- bzw. gelartiger Konsistenz wird EDTA vor allem während der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung als Gleitmittel für das verwendete Instrumentarium empfohlen [87]. EDTA sorgt als zusätzliches Agens während der chemischen Wurzelkanalaufbereitung für eine deutliche Reduktion der Schmierschicht und verbessert die Kanalreinigung [Abb. 5].



**Abb. 5:** REM Aufnahme Dentintubuli, A: Kanalwand frei von Debris und smear layer, offene Tubuli, B/C: dünne Schmierschicht, etwas Debris, Tubuli offen, D: Kanalwand mit smear layer und Debris, Tubuli verschlossen, E/F: dicke Schmierschicht mit Debris, wenig offene Tubuli. Abbildung entnommen aus: de Vasconcelos BC, Luna-Cruz SM, De-Deus G, de Moraes IG, Maniglia-Ferreira C, Gurgel-Filho ED. Cleaning ability of *chlorhexidine gel and sodium hypochlorite associated or not with EDTA as root canal irrigants: a scanning electron microscopy study*. J Appl Oral Sci, 2007. 15(5): p. 387-91.

## **Zitronensäure**

Zitronensäure als farblose, wässrige Flüssigkeit ist in der Lage, ähnlich wie EDTA, durch Bindung von Kalziumionen das Wurzelkanaldentin zu dekalzifizieren [88]. Die Demineralisierung ist in den ersten drei Minuten jedoch für EDTA 17% ausgeprägter [89]. Eine andere Untersuchung zeigt ein stärkeres Dekalzifizierungsvermögen von 10%iger Zitronensäure im Vergleich zu 1%iger Zitronensäure, 17%igem EDTA und 10%igem Natriumzitat [90]. Zitronensäure kann als Alternative für EDTA zur Entfernung der Schmierschicht angesehen werden [83, 91].

### **3.6.2 Interaktionen zwischen Spüllösungen**

Die Anwendung einer einzigen Spüllösung während der Wurzelkanalbehandlung ist nicht ausreichend, um eine optimale Desinfektion des Wurzelkanalsystems zu erreichen. Kombinationen verschiedener Agenzien können gegenseitige Neutralisierung, Inaktivierung und auch Erhöhung der Desinfektionswirkung hervorrufen. Chelatoren, wie EDTA und Zitronensäure, verringern bei gleichzeitiger Anwendung mit NaOCl den Anteil des verfügbaren Chlors aus dem NaOCl, woraus eine Verringerung der antimikrobiellen und nekrolytischen Wirkung von NaOCl resultiert. Die dekalzifizierende Wirkung von EDTA und Zitronensäure wird jedoch nicht von NaOCl beeinflusst [92]. Eine kombinierte Spülung der Chelatoren mit NaOCl erhöht die Effektivität der Entfernung des smear layers und öffnet mehr Dentintubuli als bei alleiniger Spülung mit NaOCl [79, 93]. Somit sollte bei einer kombinierten Spülung nach der Anwendung des Chelators mit NaOCl gespült werden, um eine Neutralisierung von NaOCl zu vermeiden. Wird Chlorhexidin mit EDTA kombiniert, kommt es zur Ausfällung eines weißen Präzipitats [94]. Bei der gleichzeitigen Anwendung von NaOCl mit CHX kommt es zur Ausfällung eines rotbraunen unlöslichen Präzipitats, dem kanzerogenen Parachloranilin [95]. Dies kann zu unerwünschten Verfärbungen des Zahnes führen [96]. Des Weiteren kann die abdichtende Eigenschaft des Wurzelkanalsealers AH26 in Verbindung mit Guttapercha verringert werden [97]. Um eine Ausfällung zu vermeiden sollten Zwischenspülungen angewendet werden. Dafür kommen z.B. Alkohol, physiologische Kochsalzlösung und Zitronensäure in Frage. Mortenson et al. wiesen einen signifikant geringeren Anteil von Parachloranilin im Wurzelkanal bei Verwendung von Zitronensäure als Zwischenspülung nach [98]. Aus einer anderen Studie resultiert Alkohol als empfohlenes Agens zur Zwischenspülung [95]. Die kombinierte Spülung von NaOCl und CHX führt zu einer prozentual höheren Reduktion der Keimflora im

Wurzelkanal als NaOCl, CHX oder physiologische Kochsalzlösung alleine [99]. Sie gilt des Weiteren als effektivste Methode zur Reduktion von *E. faecalis* [100].

### **3.6.3 Techniken der Wurzelkanalspülung**

#### **Volumen**

Das Volumen der Spüllösung spielt eine entscheidende Rolle während der chemischen Aufbereitung des Wurzelkanals. Mit der Erhöhung des Volumens der Spüllösung geht auch eine Verbesserung der Keimreduktion einher. Die empfohlene Menge beträgt 2-5 ml/Kanal [101, 102]. Dabei scheint es für das Reinigungsergebnis unerheblich zu sein, ob 5 ml NaOCl kontinuierlich oder 6-12 ml mit Hilfe einer 2-ml-Spritze etappenweise appliziert werden [103]. Des Weiteren sollte die Spüllösung während der Behandlung, im Wurzelkanal regelmäßig erneuert werden [104].

#### **Dauer der Spülung**

Die Dauer der Spül- und Kontaktzeit sollte adäquat sein. Eine Kontaktzeit von 30 bis 60 Minuten für NaOCl sollte nicht unterschritten werden [105]. Wird die Konzentration der Spüllösung reduziert, so muss dementsprechend die Kontaktzeit erhöht werden [40, 106].

#### **Temperatur**

Der antibakterielle Effekt von NaOCl kann durch eine Erwärmung der Flüssigkeit verbessert werden [107]. Die gewebeauflösende Wirkung von NaOCl wird beschleunigt durch eine Erwärmung auf 21°C [108]. Die gewebeauflösende Wirkung von 2,6%igem und 5,25%igem NaOCl war bei 37°C nicht unterschiedlich und genauso effektiv wie eine 5,25%ige Lösung bei 21 °C [109]. Die Erwärmung niedrig konzentrierter Spüllösungen, mit besseren biokompatiblen Eigenschaften wird als eine erfolversprechende Modifikation der Spüllösung angesehen [110]. Zu beachten ist, dass erwärmtes NaOCl relativ rasch zerfällt. Einmal erwärmtes NaOCl sollte nach der Behandlung verworfen werden [107].

#### **Aufbereitungsgröße**

Um eine wirksame Desinfektion im gesamten Wurzelkanal zu gewährleisten ist eine ausreichende Aufbereitungsgröße nötig [111]. Werden konventionelle Spülsysteme verwendet, so sollte die apikale Aufbereitung mindestens bis ISO-Größe 30-40 erfolgen, damit eine Applikation der Spülnadel in ausreichender Tiefe sichergestellt werden kann [22, 112]. Auch die Konizität (Taper) der Präparation spielt eine Rolle. Bei einer

Erhöhung der Konizität bei gleicher Aufbereitungsgröße konnten in verschiedenen Studien bessere Reinigungswirkungen festgestellt werden. Dabei wird mindestens ein Taper von 0.04 als erfolgversprechend angesehen [113, 114].

### **Eindringtiefe der Spülnadel**

Die Effektivität der Spülflüssigkeit reicht nur bis kurz über die Nadelspitze hinaus, direkt vor der Spülkanüle findet kaum ein Flüssigkeitsaustausch statt („Vaper lock Phänomen“) [115]. Daraus resultiert, dass eine adäquate Eindringtiefe der Spülnadel, um eine ausreichende Desinfektion zu erreichen, nötig ist. Eine Eindringtiefe von 1mm vor der Arbeitslänge ist effektiver in der Reinigungswirkung als ein Eindringen bis 5mm vor der Arbeitslänge [116, 117].

### **Applikationssysteme**

Bei der klassischen Handspülung werden konventionelle Einwegspritzen und dünne Applikationskanülen verwendet. Es kommen verschiedene Spülkanülen mit unterschiedlichem Durchmesser zum Einsatz. Die Verwendung von möglichst schmalen Kanülen, die locker im Wurzelkanal sitzen, vermindert ein Verklemmen innerhalb des Wurzelkanals und die Gefahr der apikalen Extrusion [58]. Da der benötigte Kraftaufwand mit der Reduktion des Nadelquerschnitts zunimmt, ist die Verwendung von Luer-Lock Systemen erforderlich, um ein Ablösen der Kanüle während der Applikation zu vermeiden. Verschiedene Modifikationen von Applikationskanülen sind vorhanden. So kann die Verwendung von speziellen Spülkanülen mit seitlicher Austrittsöffnung die Desinfektionswirkung erhöhen [118, 119]. Wird die Spülflüssigkeit in die Pulpakammer eingebracht und anschließend mit einem dünnen Instrument apikalwärts transportiert, so ist mit einer geringeren Reinigungswirkung zu rechnen [120]. Die hydrodynamische Wurzelkanalspülung (z.B. RinsEndo) beruht auf einem Druck-Saug-Prinzip. Vivan RR et al. fanden keinen Unterschied in der Reinigungswirkung zwischen einer konventionellen Spülung und der Verwendung des RinsEndo-Systems [121]. Hauser et al. wiesen eine höhere Penetrationstiefe ins Dentin bei Verwendung des RinsEndo-Systems im Gegensatz zu konventionellen Methoden nach. Jedoch wurde auch ein erhöhtes Risiko für eine apikale Extrusion festgestellt [122]. Weitere Applikationssysteme sind z.B. EndoActivator und EndoVac, wobei deren Effektivität aufgrund fehlender Studienzahlen noch nicht hinreichend geklärt ist.

### 3.6.4 Ultraschallaktivierung

Ultraschall bezeichnet Frequenzen oberhalb des menschlichen Hörbereichs, ab circa 16 kHz. In der Endodontie kommen Ultraschallsysteme mit einer Frequenz zwischen 20 - 40 kHz zum Einsatz. Durch die Anwendung magnetostriktiver oder piezoelektrischer Schallgeber werden Schwingungen unterschiedlicher Amplitude erzeugt. Die entstehende Schwingung bei der Magnetostriktion beruht auf der Längenänderung ferromagnetischer Stoffe in einem magnetischen Wechselfeld. Bei piezoelektrischen Ultraschallgeräten wird durch Anlegung einer Wechselspannung eine Formveränderung der Piezo-Kristalle hervorgerufen. Die entstehenden Deformationsschwingungen werden an das umgebende Umfeld in der Frequenz der angelegten Wechselspannung abgegeben. In der Endodontie unterscheidet man zwischen aktiver und passiver Ultraschallaktivierung. Während der aktiven Ultraschallspülung kommen spezielle Ultraschallfeilen zum Einsatz, die während der gesamten Anwendung Kontakt zur Kanalinnenwand aufweisen. Aufgrund des unkontrollierten Kanalwandabtrags, welcher zu unerwünschten Präparationsformen, Begradigungen gekrümmter Kanäle, Stufenbildungen und apikalen Perforationen führen kann, wird von einer aktiven Ultraschallaktivierung abgeraten [103]. Bei der passiven Ultraschallaktivierung („passive ultrasonic irrigation“/ PUI), erstmals von Weller et al. beschrieben, wird nach der abgeschlossenen mechanischen Kanalaufbereitung ein Instrument passiv in den Wurzelkanal eingebracht, welches durch Ultraschall in Schwingungen versetzt wird [123]. Dadurch kommt es zu einer Aktivierung der verwendeten Spülflüssigkeit. Das Instrument sollte die kleinstmögliche ISO-Größe aufweisen, wodurch ein Wandkontakt vermieden und ein freies Schwingen im Wurzelkanal erreicht wird [124, 125]. Es kommen flexible, nicht schneidende Feilen oder ein glatter Draht zum Einsatz. Die Weiterleitung der Energie erfolgt im Spülmedium durch Schallwellen. Dadurch kommt es zu akustischen Mikroströmungen und Kavitationen (vibrationsbedingte Blasenbildungen innerhalb der Flüssigkeit, die bei erhöhtem Druck kollabieren). Die Strömungsphänomene resultieren in einem erhöhten Flüssigkeitsumsatz, wodurch die Spülflüssigkeit effektiver in die apikale Region des Wurzelkanals transportiert wird [116]. Beide Phänomene werden reduziert, wenn die Feile im Wurzelkanal nicht frei schwingen kann [126, 127]. Die passive Ultraschallspülung ist der konventionellen Spülung mit einer Spülspritze überlegen. Die Entfernung von Dentindebris und Pulpagewebe, vor allem in schwer zugänglichen Bereichen, wie z.B. Seitenkanälen und Isthmen ist effektiver [128, 129]. Die Keimzahlreduktion ist gegenüber der Handspülung

höher [125]. Auch die Reinigungswirkung in gekrümmten Kanälen, vor allem in der apikalen Wurzelkanalregion unterhalb der Krümmung, ist der konventionellen Handspülung überlegen [129, 130]. Die Resultate werden durch ein Vorbiegen des Instrumentes verbessert [131]. Die laterale Kanalwandpenetration von NaOCl wird durch Ultraschallaktivierung gesteigert [132]. Des Weiteren wird der antibakterielle Effekt von NaOCl durch die Anwendung von PUI erhöht [133]. Dies könnte ein Resultat der ultraschallinduzierten Temperaturerhöhung von NaOCl sein [124, 134]. Auch der smear layer wird durch die Anwendung der passiven Ultraschallaktivierung im Vergleich zur Handspülung effektiver entfernt [6]. Van der Sluis et al. wiesen des Weiteren nach, dass durch die Anwendung der PUI statistisch signifikant dichtere Wurzelfüllungen erreicht werden [135]. Der Einfluss der Anwendungsdauer auf die Effektivität der Ultraschallaktivierung ist noch nicht hinreichend geklärt. In einer Studie von Cameron wird von einer effektiveren Reduzierung des smear layers nach 5 Minuten als nach 3 Minuten berichtet [136]. Wohingegen in einer anderen Untersuchung von Sabins et al., bezüglich der Entfernung des Debris, kein deutlicher Unterschied erkennbar ist, ob eine ultraschallaktivierte Spülung 30 oder 60 Sekunden lang angewandt wird [125]. Durch die deutliche Erhöhung der Effektivität der Spülung des Wurzelkanals durch die Anwendung der passiven Ultraschallspülung sowie der verbesserten Reinigungs- und Desinfektionswirkung, vor allem in den nicht instrumentierbaren Bereichen, ist diese der konventionellen Handspülung ohne Aktivierung überlegen.

## **4 Ziel der Arbeit**

Das Ziel dieser Arbeit war es, den Behandlungserfolg von zwei verschiedenen standardisierten endodontischen Spülprotokollen vergleichend zu analysieren. Aufgrund der aktuellen *in vitro* bestehenden Datenlage wurde angenommen, dass die zusätzliche Verwendung von EDTA sowie die Anwendung der passiven Ultraschallaktivierung zu höheren Erfolgsraten führen als die alleinige Verwendung von NaOCl während der chemischen Wurzelkanal desinfektion.

# 5 Material und Methode

## 5.1 Digitale Erfassung der Wurzelkanalbehandlungen

Zunächst wurde eine Infrastruktur zur Erfassung und Auswertung der an der Charité – Universitätsmedizin Berlin erfolgten Wurzelkanalbehandlungen implementiert. Aus den bereits bestehenden Papierformularen, teilweise dargestellt in Abb. 6, wurden die Tabellen für die Datenbank abgeleitet.

**Dokumentationsbogen Endodontie**  
CharitéCentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde  
Abteilung für Zahnerhaltung und Präventivzahnmedizin  
(Komm. Leiter, Dr. Uwe Blunck)



Patienten-  
aufkleber

Zahn

Anamnese				Klinische Befunde																				
Vorbh.		Schmerzen						Weichteile				Sensibilität +/-		Parodont										
Datum		Überkappung / alte Kanäle	Wurzelkanal- behandlung	keine	Sportan- kratzend	Spontan- permanente	auf Reiz	auf Kälte	auf Wärme	Aufbisschmerz	Loslassschmerz	Schwellung extraoral	Schwellung intraoral	apikale Druckdolenz	Fistel	MKB vorhanden	Kältespray	CO <sub>2</sub> - Schnee	elektrisch	Perkussion, vertikal +/-	Perkussion, horizontal +/-	Lockerungsgrad (Hill)	Funktionsgrad (0-3)	Sonolierungs- tiefe (max.)
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
		<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Primäre Diagnose										
Pulpa		<input type="radio"/> gesund	<input type="radio"/> reversible Pulpitis	<input type="radio"/> irreversible Pulpitis	<input type="radio"/> Pulpnekrose / Gangrän	<input type="radio"/>				
marg. Parodont		<input type="radio"/> gesund	<input type="radio"/> marg. Parodontitis			<input type="checkbox"/> mit Fistel	<input type="checkbox"/> mit Abszess			
apikales Parodont		<input type="radio"/> gesund	<input type="radio"/> chron. ap. Parodontitis	<input type="radio"/> akute ap. Parodontitis	<input type="checkbox"/> mit Fistel		<input type="checkbox"/> mit Abszess			
Vermutete Ursache		<input type="checkbox"/> Karies	<input type="checkbox"/> Paro-Endo-Läsion	<input type="checkbox"/> Endo-Paro-Läsion	<input type="checkbox"/> Präparationstrauma	<input type="checkbox"/> Undichte Restauration	<input type="checkbox"/> Insuff. WF	<input type="checkbox"/> Trauma	<input type="checkbox"/> Sprung/Infraction	<input type="checkbox"/> Vertikalfaktur

Therapie I: Aufbereitung														
Aufbereitung		<input type="radio"/> manuell	<input type="radio"/> maschinell											
Datum:		Behandler:												
<input type="checkbox"/> Anästhesie														

Therapie II: Masterpoint / Wurzelfüllung														
Datum:		Behandler:												
<input type="checkbox"/> Anästhesie														

Postendodontische Versorgung (Planung)									
Restzahnartsubstanz:		Wurzelstift:		Kompositfüllung		Einzelkrone			
<input type="radio"/> keiner		<input type="radio"/> adhäsiv		<input type="radio"/> adh. Inlay		<input type="radio"/> Brückenpfeiler			
Anzahl Dentinwände in voller Höhe: .....		<input type="radio"/> konventionell		<input type="radio"/> Teilkrone Keramik		<input type="radio"/> Wurzelstiftkappe / Magnetatt.			
Anzahl Wände >2mm supraging.: .....				<input type="radio"/> Teilkrone Gold		<input type="radio"/> Teleskop			

Recall															
Datum		Schmerz- anamnese		Schmerzen		Perkussion positiv		Apikale Druckdolenz		Schwellung		Fistel		Bemerkungen	
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>		
		Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein <input type="radio"/>	Ja <input type="radio"/>	Nein						



Erfasst werden:

- Patientenstammdaten
- Klinische Anamnese des betroffenen Zahnes, unter Berücksichtigung eventuell bestehender Vorbehandlungen
- Qualität und Dauer von Schmerzen
- Beurteilung von Schwellungen, Fistelbildungen, Sensibilität
- Parodontale Befunde, wie z.B. Perkussionsempfinden, Lockerung und gemessene Taschentiefen

Anhand der klinischen Diagnostik wird eine primäre Diagnose gestellt und ein Therapieplan erarbeitet, wobei die Art der Wurzelkanalbehandlung (manuell oder maschinell) festgelegt wird. Die Wurzelkanalaufbereitung wird in mehreren Teilschritten, unter Erfassung der verwendeten Agenzien zur chemischen Desinfektion festgehalten. Nach Abschluss der erfolgten Behandlung werden die Durchführung sowie verwendete Materialien zur Wurzelfüllung dokumentiert und eine postendodontische Versorgung festgelegt. Zu folgenden Teilschritten werden digitale Röntgenbilder angefertigt, die mit der Datenbank verknüpft sind: Ausgangsbild vor Beginn der Therapie, Röntgenmessaufnahme, Masterpointaufnahme und Kontrolle nach erfolgter Wurzelfüllung. Des Weiteren werden die Recall Daten erfasst, die eine weitere Beurteilung der klinischen Befunde sowie die Auswertung eines Röntgenbildes mit vergleichender Beurteilung der apikalen Transluzens beinhalten.

## **5.2 Allgemeiner Ablauf der Wurzelkanalbehandlung in der Charité**

Die Wurzelkanalbehandlungen erfolgten im Beobachtungszeitraum nach einem standardisierten Protokoll. Nach der klinischen und röntgenologischen Diagnostik wurde der Zahn unter Verwendung eines Kofferdams zur absoluten Trockenlegung trepaniert. Die Wurzelkanaleingänge wurden u.a. unter Zuhilfenahme eines Operationsmikroskopes dargestellt und im koronalen 1/3 mittels Gates-Bohrern erweitert. Die Wurzelkanäle wurden mit dünnen, flexiblen Instrumenten sondiert. Anschließend wurde die Arbeitslänge mit Hilfe eines elektronischen Apexlokalisators bestimmt. Zusätzlich wurde zur Ermittlung der tatsächlichen Wurzellänge eine Röntgenmessaufnahme angefertigt. Die chemo-mechanische Aufbereitung der Wurzelkanäle erfolgte in den meisten Fällen mittels Step-back Methode oder in seltenen

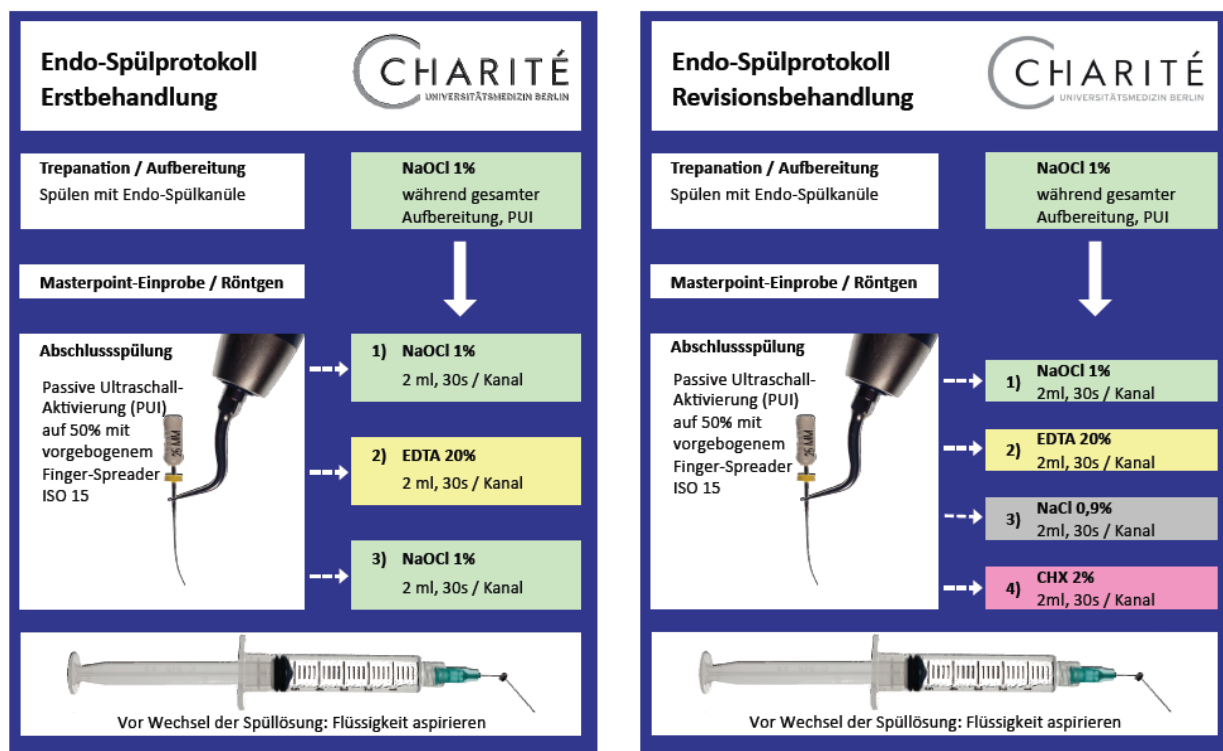
Fällen maschinell durch Anwendung des Flexmaster Systems, unter ständiger Spülung des Wurzelkanalsystems mit NaOCl.

Die Aufbereitung mittels Step-back-Technik beginnt mit der Ausgangsfeile (IAF-Initial apical file), die entsprechend der ermittelten Arbeitslänge eingesetzt wird. Der apikale Teil des Wurzelkanals wird nun in aufsteigender ISO-Größe mit mindestens drei weiteren Instrumenten erweitert. Nach dem die Masterfeile (MAF-Master apical file, mindestens ISO-Größe 35) erreicht ist, werden die anschließenden Instrumente um 1mm verkürzt eingesetzt. Nach jeder neu hinzugenommen ISO-Größe wird die gesamte Länge des Wurzelkanals mit der MAF rekapituliert, um Verblockungen mit Debris zu vermeiden. Das zuletzt verwendete Instrument (FF-Final file) ist mindestens drei ISO-Größen größer als die Master apical file. Alle Instrumente werden während der Behandlung vorgebogen, um eine Begradigung des Wurzelkanals zu verhindern.

Zwischen den Behandlungstagen wurde ein Kalziumhydroxidpräparat als medikamentöse Einlage in die Wurzelkanäle eingebracht und der Zahn speicheldicht verschlossen. Die Wurzelfüllung mit Guttapercha und einem Wurzelkanalsealer (AH-Plus) erfolgte nach Erfüllung entsprechender Voraussetzungen, wie klinische Unauffälligkeit sowie nicht blutende, saubere und gut zu trocknende Kanäle, mittels lateraler Kondensation. Der Masterpoint wurde entsprechend der MAF in den Wurzelkanal eingebracht und anschließend wurden mehrere Zusatzstifte unter Verwendung eines Finger-Spreaders komprimierend hinzugefügt. Nach der Anfertigung einer Röntgenkontrollaufnahme zur Beurteilung der Wurzelfüllung wurde der Zahn temporär adhäsiv verschlossen oder für weitere postendodontische Maßnahmen vorbereitet.

### **5.3 Spülprotokoll**

Anhand der aktuellen wissenschaftlichen Erkenntnisse wurde zur Standardisierung der chemischen Wurzelkanal desinfektion ein Spülprotokoll erstellt.



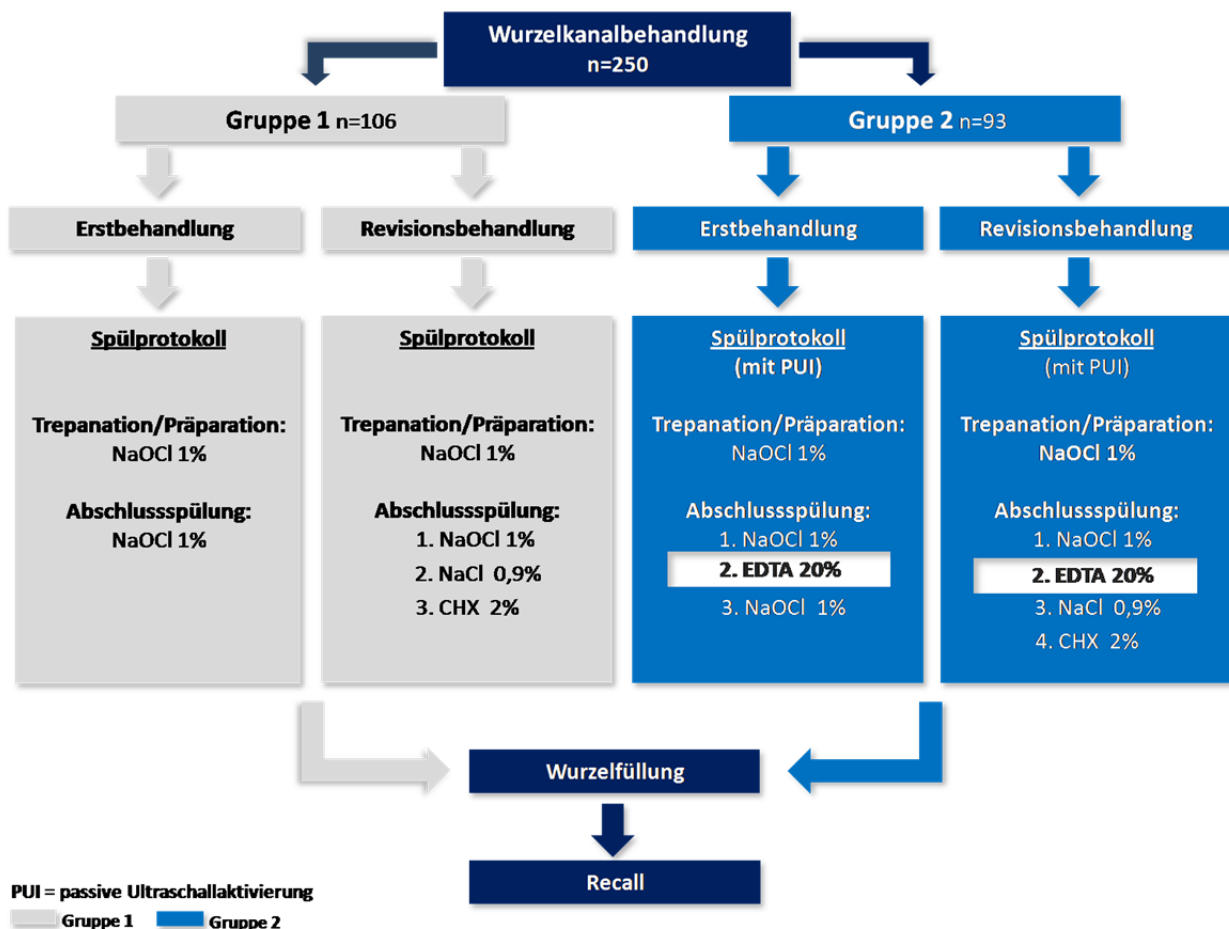
**Abb. 7:** Spülprotokoll für die Erst- und Revisionsbehandlung

Die Wurzelkanalbehandlungen werden unterschieden in Erst- und Revisionsbehandlung. Bei der Erstbehandlung wird der Zahn bei der Trepanation und während der gesamten Aufbereitung ständig mit 1%igen NaOCl unter passiver Ultraschallaktivierung gespült. Die Abschlussspülung, unter passiver Ultraschallaktivierung mit einem vorgebogenem Finger-Spreader ISO 15 erfolgt zunächst mit 1%igem NaOCl, 2ml und 30 Sekunden je Kanal. Im Anschluss wird mit 2ml EDTA 20% für 30 Sekunden je Kanal und abschließend nochmals mit NaOCl gespült. Im Falle einer Revisionsbehandlung kommen während der Abschlussspülung zusätzlich isotonische Kochsalzlösung, 2ml für 30 Sekunden pro Kanal, zur Vermeidung von Interaktionen zwischen den Spüllösungen und Chlorhexidin 2%, 2ml für 30 Sekunden je Kanal, zum Einsatz [Abb. 7]. Vor dem Wechsel jeder Spüllösung soll die Flüssigkeit im Wurzelkanal aspiriert werden.

## 5.4 Patientengut

Insgesamt wurden 250 Wurzelkanalbehandlungen, unabhängig vom Quadranten, Geschlecht, Alter, Ursache der endodontischen Behandlungsnotwendigkeit oder Kanalanzahl ausgewertet und in zwei Gruppen geteilt. Gruppe 1 (Wurzelkanalbehandlungen im Zeitraum November 2011 - Februar 2013) wurde nach

dem an der Charité bisher etablierten Spülprotokoll zur Desinfektion der Wurzelkanäle mit 1% NaOCl behandelt. In Gruppe 2 (Wurzelkanalbehandlungen im Zeitraum April 2013 - Februar 2014) wurden zusätzlich zu diesem regulären Spülprotokoll zum Abschluss eine Spülung der Wurzelkanäle mit 20%igem EDTA durchgeführt und darüber hinaus alle verwendeten Agenzien mittels PUI (Passive Ultrasonic Irrigation) aktiviert. In bestimmten Fällen (Revisionen vorangegangener Wurzelkanalbehandlungen) kam in beiden Gruppen wegen des veränderten Keimspektrums außerdem Chlorhexidin zum Einsatz.



**Abb. 8:** Überblick über das Studiendesign

Zur Evaluation wurden beide Gruppen anhand ihrer Röntgenbilder bewertet. Dabei wurden das Röntgenbild der Masterpointeinprobe sowie die Recall-Röntgenaufnahme unter Berücksichtigung der periapikalen Transluzenz begutachtet. Zur Auswertung wurden nur diejenigen Zähne herangezogen, deren Recall-Röntgenaufnahme nach frühestens drei Monaten angefertigt wurde. Ausgeschlossen wurden die Zähne deren Daten unvollständig waren, z.B. aufgrund fehlender Recall-Röntgenaufnahmen und

deren Nachuntersuchungsabstand kürzer als drei Monate betrug. Diesen Kriterien entsprachen insgesamt 199 Wurzelkanalbehandlungen, davon 106 in Gruppe 1 und 93 in Gruppe 2 [Abb. 8].

## **5.5 Röntgenauswertung**

Röntgenaufnahmen für die Diagnostik, Längenbestimmung, Verlaufskontrolle und für die Beurteilung des Erfolges sind während der endodontischen Behandlung unerlässlich. Sie geben Informationen über die Anatomie, Form und Anzahl der Wurzeln und Wurzelkanäle und über den Krankheitsprozess, vor allem im periapikalen Bereich des betroffenen Zahnes. Die Beurteilung von Röntgenbildern ist von verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Eine Rolle spielen neben der Qualität der Röntgenaufnahme auch die physischen Voraussetzungen des Betrachters sowie dessen Erfahrungen im Bereich der Interpretation radiologischer Auffälligkeiten [137]. So besteht die Möglichkeit, dass derselbe Betrachter bei der Auswertung eines Röntgenbildes zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu unterschiedlichen Ergebnissen gelangt („Intraobserver variation“). Bei der Auswertung desselben Röntgenbildes können unterschiedliche Betrachter wiederum auch zu unterschiedlichen Resultaten gelangen („Interobserver variation“). Die Begutachtung aller Röntgenbilder wurde von einem Untersucher durchgeführt. Bei bestehenden Unklarheiten in der Interpretation wurde ein erfahrener Kollege zur Verifizierung hinzugezogen.

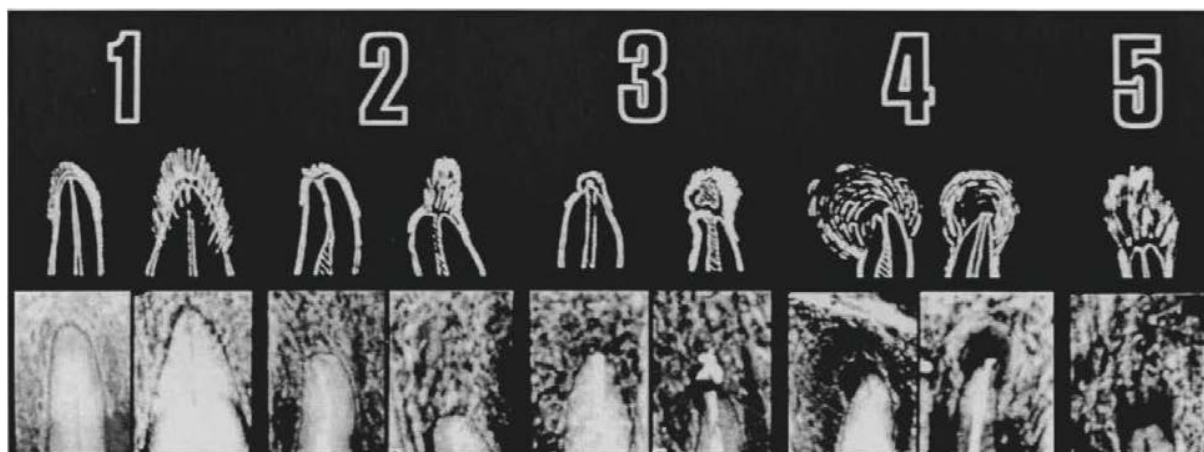
## **5.6 Röntgengeräte**

Die Röntgenaufnahmen wurden von erfahrenen Medizinisch-technischen Assistenten in der Abteilung für Radiologie des CharitéCentrums 3 für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde angefertigt. Es standen ein Heliodent MD-Gerät der Firma Sirona mit einem Xios Plus Sensor sowie ein VistaIntra-Gerät der Firma Dürr Dental mit dem VistaScan Ablesegerät zur Verfügung. Die Belichtungswerte waren je nach Zahn 60 bzw. 70 kV, 0,04 - 0,10 s. Die angefertigten digitalen Bilder wurden anschließend in die Röntgensoftware SIDEXIS der Firma Sirona importiert.

## **5.7 Beurteilung des Therapieerfolges**

Zur Beurteilung des Therapieerfolges wurden die Röntgenbilder angelehnt an den Periapikalen Index bewertet.

Der Periapikale Index (PAI) ist ein Scoring System, mit dem die periapikale Region röntgenologisch bewertet werden kann. Er wird in fünf eindeutig definierte Kategorien zwischen gesund (Grad I) und schwerer Parodontitis apicalis (Grad V) eingeteilt. Die Beurteilung des apikalen Zustandes eines Zahnes erfolgt durch den Vergleich der individuellen Röntgenbilder mit Referenzröntgenaufnahmen und zugeordneten histologischen Merkmalen.



**Abb. 9:** Periapikaler Index. Abbildung entnommen aus: Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol*, 1986. 2(1): p. 20-34.

Der Periapikale Index wird eingeteilt in:

Grad I : normale apikale Strukturen

Grad II : geringe Veränderungen der Knochenstruktur

Grad III: Veränderung in der Knochenstruktur mit Mineralverlust

Grad IV: Parodontitis mit klar definierbarer Aufhellung

Grad V : schwere Parodontitis apicalis mit Exazerbation [138].

Die Befunde der Röntgenaufnahmen (Initialbefund, Recall) wurden nach folgenden Kriterien eingeteilt:

**Grad 1:** unauffällige periapikale Strukturen

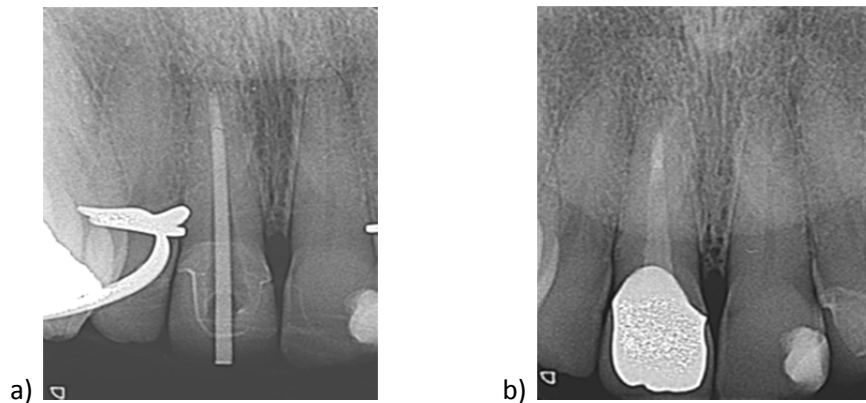
**Grad 2:** erweiterter Parodontalspalt (Vergrößerung um mehr als die Hälfte)

**Grad 3:** Knochenstrukturveränderung

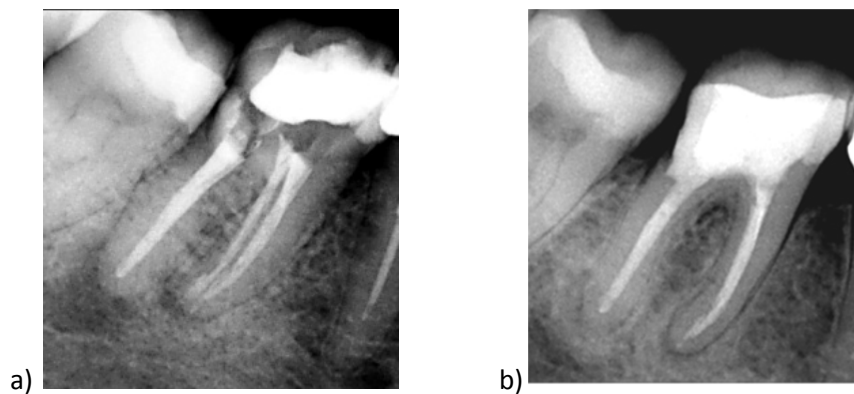
**Grad 4:** deutlich sichtbare, abgegrenzte periapikale Osteolyse

Zusätzlich wurde der **Grad 5** für nicht beurteilbare Befunde und der **Grad 6** für extrahierte Zähne verwendet.

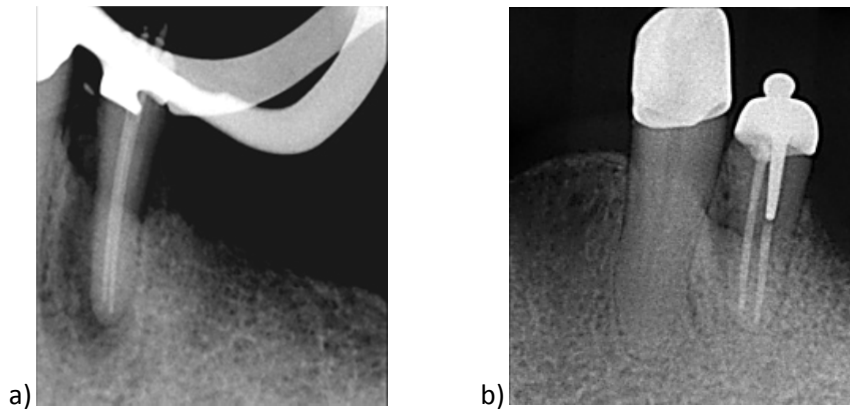
Beispielbilder:



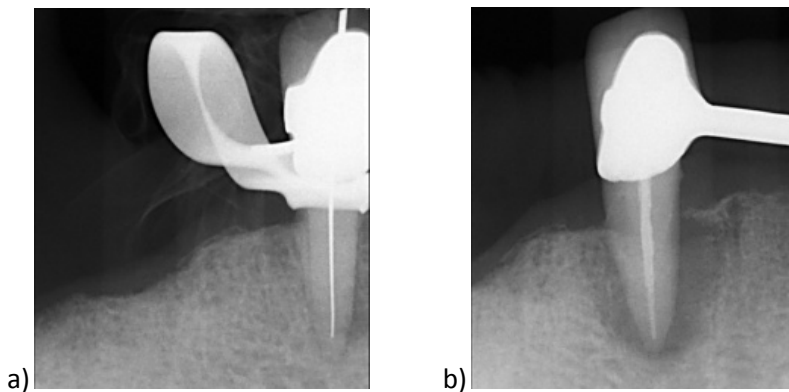
**Abb. 10:** Zahn 11, a) unauffällige periapikale Strukturen (Grad 1), zum Zeitpunkt der Masterpointaufnahme, b) unauffällige periapikale Strukturen (Grad 1), zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme



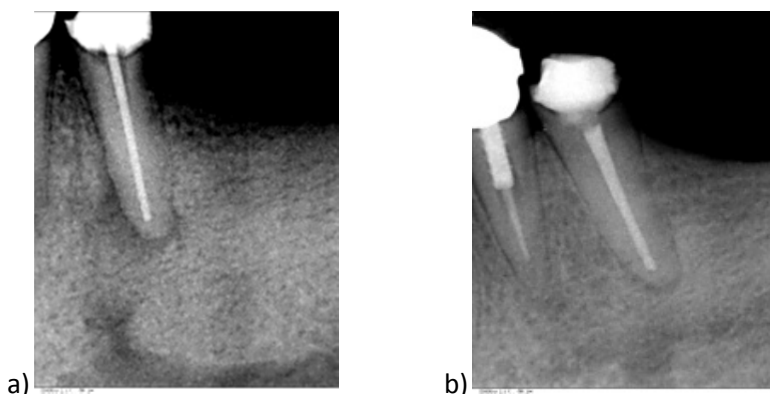
**Abb. 11:** Zahn 46 (unvollständige Heilung), a) periapikaler Osteolyse zum Zeitpunkt der Wurzelfüllung (Grad 4), b) Verkleinerung der periapikalen Veränderung zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme (Grad 4)



**Abb. 12:** Zahn 34 (vollständige Heilung), a) periapikale Osteolyse zum Zeitpunkt der Masterpointaufnahme (Grad 4), b) unauffällige periapikale Verhältnisse zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme (Grad 1)



**Abb. 13:** Zahn 43 (Misserfolg), a) periapikale Veränderung zum Zeitpunkt der Röntgenmessaufnahme (Grad 4), b) Vergrößerung der periapikalen Osteolyse zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme (Grad 4)



**Abb. 14:** Zahn 35 (unvollständige Heilung), a) periapikale Veränderung zum Zeitpunkt der Masterpointaufnahme (Grad 4), b) Verkleinerung der periapikalen Veränderung zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme (Grad 4)



Beide Röntgenaufnahmen wurden anschließend miteinander verglichen und die Veränderung des apikalen Befundes beurteilt. Dokumentiert wurden die Vergrößerung der periapikalen Osteolyse, die Verkleinerung dieser, die Ausheilung der periapikalen Veränderung sowie der Zustand der unveränderten periradikulären Strukturen.

Nach wissenschaftlicher Stellungnahme der DGZMK und in Anlehnung an die Richtlinien der European Society of Endodontology (ESE) lassen sich die Therapieerfolge in drei Kategorien einteilen:

„*Vollständige Heilung*“

- klinische Symptombefreiheit und
- radiologisch durchgehend verfolgbare Parodontalspalt normaler Breite (d.h. radiologisch als knöchern beurteilte Regeneration endodontisch bedingter Läsionen und, falls gegeben, Stillstand ehemals progressiver Resorptionen)

„*Unvollständige Heilung*“

- klinische Symptombefreiheit und
- radiologisch verifizierbare Verkleinerung der endodontisch bedingten Läsion

„*Keine Heilung*“

- klinische Symptome einer endodontisch bedingten Parodontitis und/oder
- radiologisch nicht nachweisbare Verkleinerung der endodontisch bedingten Läsion, gegebenenfalls auch Neubildung einer periradikulären Läsion und/oder
- radiologisch erfassbar, externe progressive Resorptionen.

Gewöhnlich wird der maximale Zeitraum, in der röntgenologisch eine vollständige Regeneration knöcherner Läsionen erwartet werden kann, mit 4-5 Jahren angegeben“ [1]. In einer Studie von Orstavik konnten in 89% der Fälle schon nach einem Jahr röntgenologische Heilungstendenzen nachgewiesen werden [139].

Im Folgenden wurden die Wurzelkanalbehandlungen als Erfolg oder Misserfolg eingestuft. Als erfolgreich galten diejenigen, deren periapikale Veränderungen (inklusive das Vorliegen eines erweiterten Parodontalspalt) im Beobachtungszeitraum deutlich an Größe abnahmen (unvollständige Heilung) oder ganz ausgeheilt waren (vollständige Heilung). Röntgenbefunde, die im Initialbefund und in der nachfolgenden Recall-Röntgenaufnahme unauffällige periradikuläre Strukturen aufwiesen, wurden ebenfalls als erfolgreich bewertet. Zu den Misserfolgen gehörten alle Zähne, die im

Beobachtungszeitraum extrahiert wurden und diese, die im Vergleich des Initialbefundes mit der Recall-Röntgenaufnahme eine unveränderte bzw. vergrößerte periapikale Transluzens zeigten [Tabelle 1].

<b>Erfolg</b>	<b>Unvollständige Heilung:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Verkleinerte periapikale Veränderung</li> </ul> $\text{Index}_{\text{Masterpoint}} > \text{Index}_{\text{Recall}} > 1$
	<b>Vollständige Heilung</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ausgeheilte periapikale Veränderung</li> <li>- Unauffällige periapikale Strukturen</li> </ul> $\text{Index}_{\text{Recall}} = 1$
<b>Misserfolg</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unveränderte bzw. vergrößerte periapikale Veränderung</li> </ul> $\text{Index}_{\text{Masterpoint}} \leq \text{Index}_{\text{Recall}} > 1$ <ul style="list-style-type: none"> <li>- Extraktion</li> </ul> $\text{Index}_{\text{Recall}} = 6$

**Tabelle 1:** Übersicht Behandlungserfolg/ Misserfolg

## 5.8 Statistische Auswertung

Alle Daten wurden in Excel (Microsoft Office 2007) erfasst. Dazu gehörten: Patienten-ID, verwendetes Spülprotokoll, Geschlecht, Geburtsdatum, Alter, behandelter Zahn, Art der Behandlung (Erstbehandlung/Revisionsbehandlung), Datum des Initialbefundes, Datum der Recall-Röntgenaufnahme, Beobachtungszeitraum, Befund der Initial-Röntgenaufnahme, Befund der Recall-Röntgenaufnahme sowie die Veränderung der Befunde. Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS (SPSS Statistics 23, IBM, Armonk, NY, USA). Der erste Teil der Auswertung umfasste die deskriptive Analyse, in der die Häufigkeiten der erhobenen Befunde ermittelt wurden. Im zweiten Teil wurde der Zusammenhang der verschiedenen Faktoren (z.B. Spülprotokoll, Geschlecht, Alter, Zahnlage) mit dem Behandlungserfolg, unter Zuhilfenahme des Chi-Quadrat-Tests ermittelt. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde mit „p“ bezeichnet und der Begriff „signifikant“ verwendet, wenn p mindestens kleiner als 0,05 war.

## 5.9 Genehmigung durch die Ethikkommission

Das Vorhaben wurde von der Ethikkommission der Charité – Universitätsmedizin Berlin unter der Nummer EA1/327/13 geprüft und genehmigt.

## 6 Ergebnisse

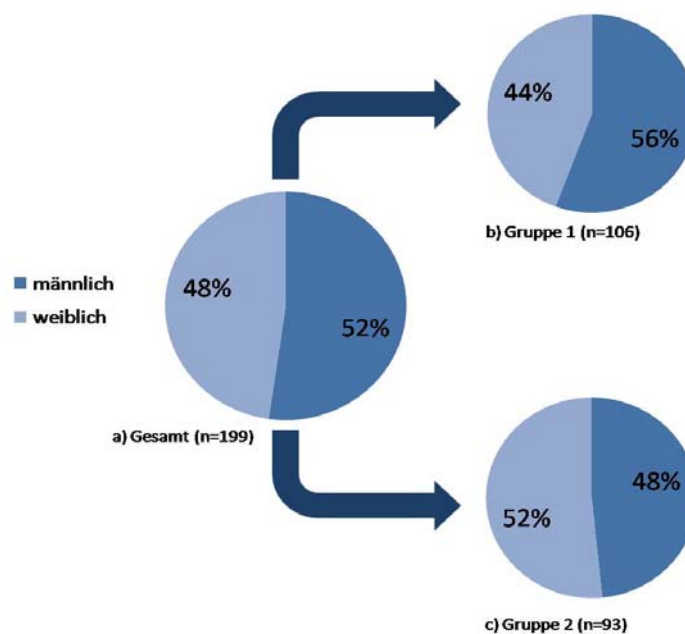
### 6.1 Deskriptive Statistik

#### 6.1.1 Charakterisierung des Patientenkollektivs

Insgesamt wurden 199 Wurzelkanalbehandlungen betrachtet und anhand ihrer Röntgenbilder miteinander verglichen. Der kürzeste Nachuntersuchungsabstand betrug 3 Monate und der längste Nachuntersuchungsabstand 25 Monate. Dies ergab im Mittelwert einen Beobachtungszeitraum von 8 Monaten. In Gruppe 1 lag der Mittelwert bei  $9,2 \pm 4,4$  Monate und in Gruppe 2 bei  $6,6 \pm 2,5$  Monate.

#### 6.1.2 Geschlechterverteilung

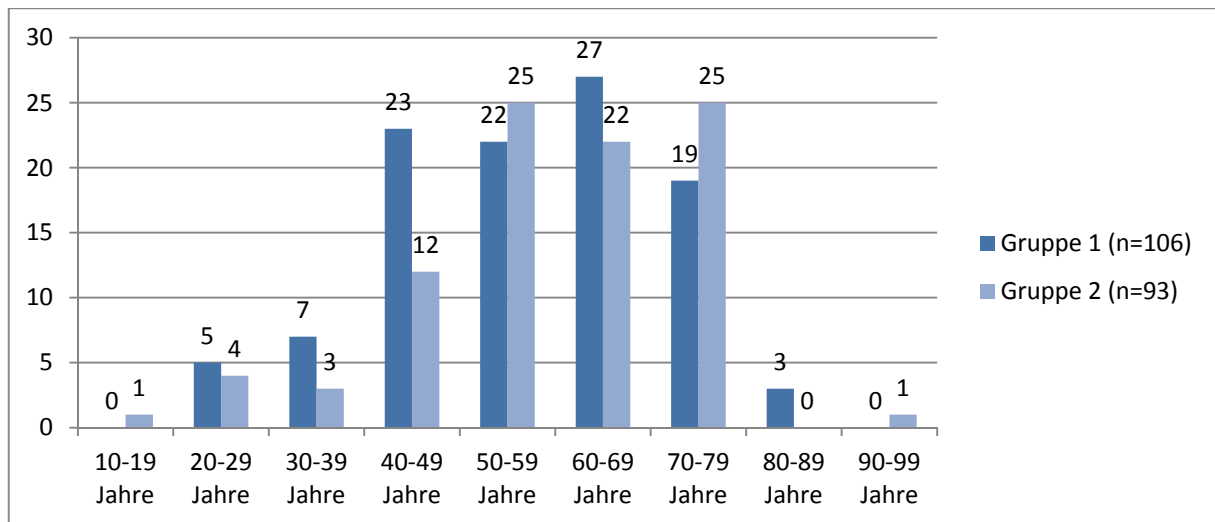
Von den insgesamt 199 Patienten waren 95 weiblich und 104 männlich. Das entspricht einem prozentualen Verhältnis von w:m = 48:52 mit einem leichten Übergewicht auf der männlichen Seite. Schlüsselst man dies nach dem angewandten Spülprotokoll auf, so ergibt sich für Gruppe 1 und Gruppe 2 eine ähnliche Verteilung der Geschlechter. In Gruppe 1 liegen 47 weibliche und 59 männliche Patienten mit einem prozentualen Verhältnis von w:m = 44:56 vor und in Gruppe 2 48 weibliche und 45 männliche Patienten mit einer Verteilung w:m = 52:48, wobei in Gruppe 2 ein Übergewicht auf der weiblichen Seite erkennbar ist [Abbildung 15].



**Abb. 15:** Zahnverteilung der untersuchten Zähne nach Geschlecht (n=199), a) Gesamtkollektiv (n=199), b) Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), c) Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)

### 6.1.3 Altersverteilung

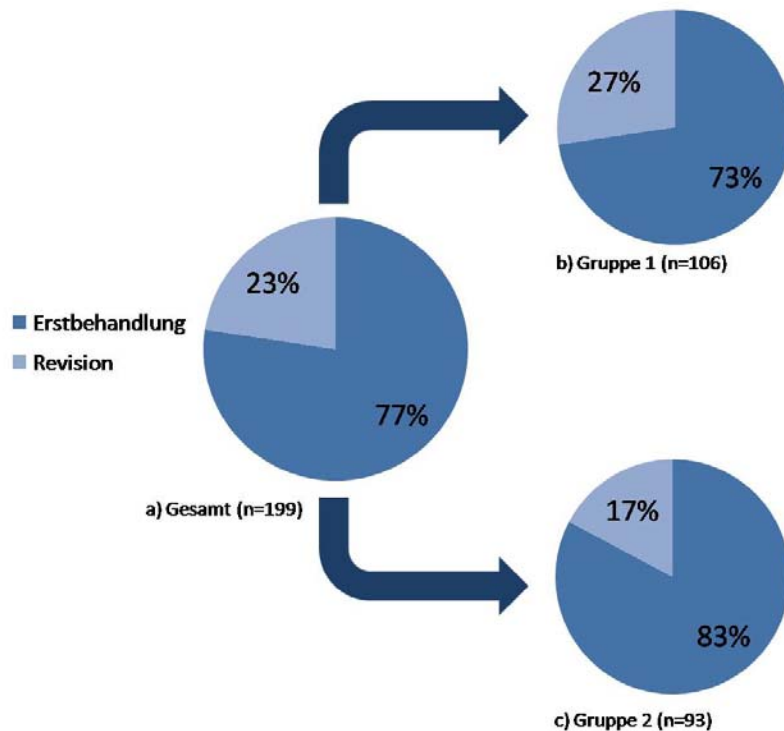
Im Gesamtkollektiv von 199 Patienten war der jüngste Patient zum Zeitpunkt der Wurzelkanalbehandlung 19 Jahre und der älteste Patient 93 Jahre alt. Dies entspricht einem Mittelwert von 57 Jahren. In Gruppe 1 beträgt der Mittelwert 56 Jahre und in Gruppe 2 59 Jahre. In Abbildung 16 ist erkennbar, dass im Altersintervall 40-79 Jahre eine deutliche Häufung vorliegt, die Werte sind zum Teil mehr als dreimal so hoch wie in den übrigen Intervallen.



**Abb. 16:** Gesamtpatientenkollektiv, dargestellt nach Altersgruppen, aufgeteilt in Gruppen (n=199), Gruppe 1: Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), Gruppe 2: Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)

### 6.1.4 Verteilung nach Art der Behandlung

Im Gesamtkollektiv wurden insgesamt 154 Erstbehandlungen und 45 Revisionen durchgeführt. Dies entspricht einer prozentualen Verteilung von Erstbehandlung:Revision von 77:23.

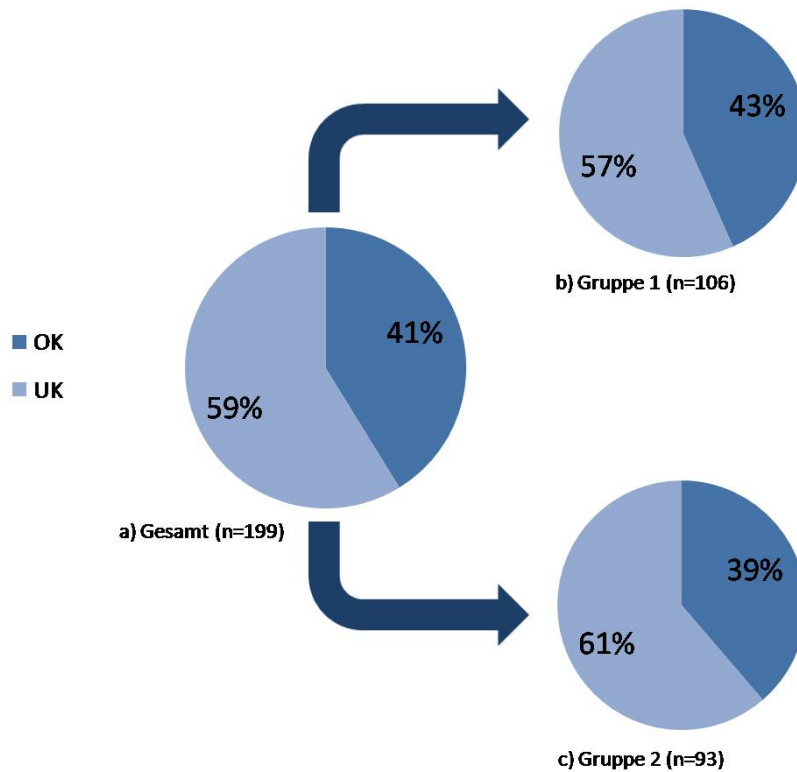


**Abb. 17:** Zahnverteilung der untersuchten Zähne nach Art der Behandlung (n=199), a) Gesamtkollektiv (n=199), b) Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), c) Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)

In den einzelnen Gruppen sind die Verteilungen ähnlich. In Gruppe 1 erfolgten 77 Erstbehandlungen und 29 Revisionen, mit einer prozentualen Verteilung Erstbehandlung:Revision von 73:27 und in Gruppe 2 77 Erstbehandlungen und 16 Revisionen mit einer prozentualen Verteilung Erstbehandlung:Revision von 83:17 [Abbildung 17].

### 6.1.5 Zahnverteilung

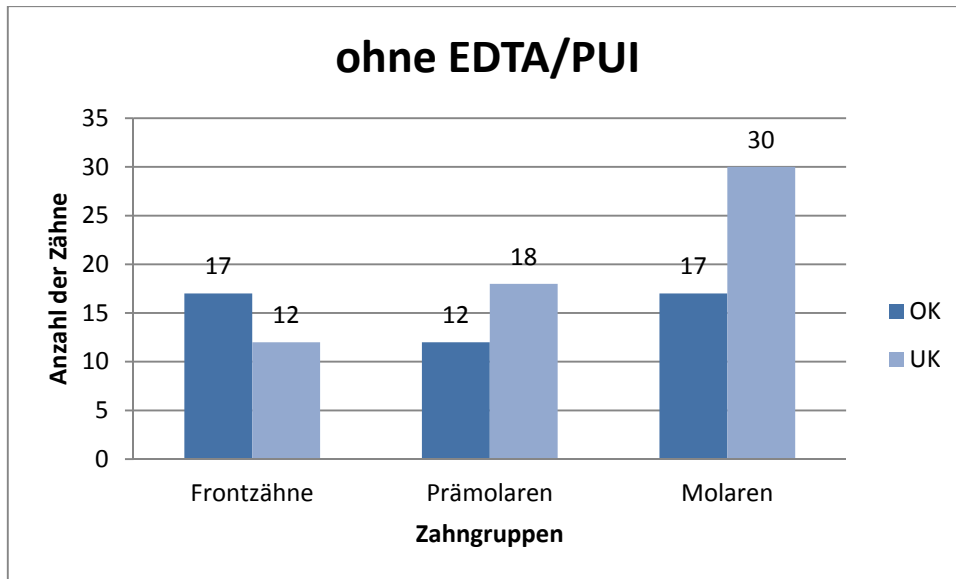
Beim Vergleich der wurzelkanalbehandelten Zähne von Ober- und Unterkiefer fällt ein Übergewicht zu Gunsten des Unterkiefers auf. Im Gesamtkollektiv entspricht dies einem prozentualen Verhältnis UK:OK von 59:41.



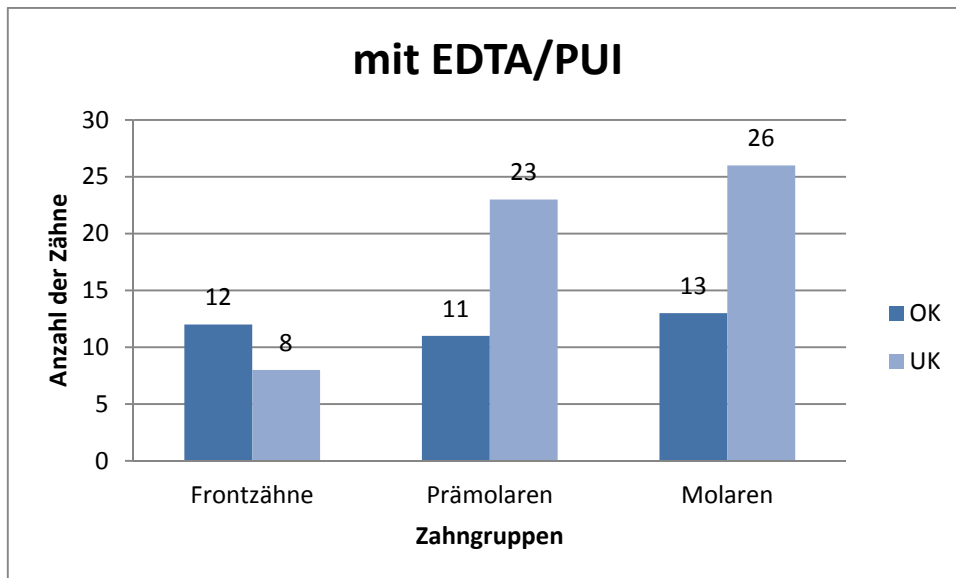
**Abb. 18:** Zahnverteilung der untersuchten Zähne nach Ober- und Unterkiefer (n=199), a) Gesamtkollektiv (n=199), b) Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), c) Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)

Die Verteilung ist in den beiden untersuchten Gruppen ähnlich. In Gruppe 1 wurden 60 Zähne im Unterkiefer und 46 Zähne im Oberkiefer untersucht. Dies entspricht einer prozentualen Verteilung UK:OK von 57:43. In Gruppe 2 wurden 57 Zähne im Unterkiefer und 36 Zähne im Oberkiefer untersucht, mit einer prozentualen Verteilung UK:OK von 61:39 [Abbildung 18].

Vergleicht man die einzelnen Zahngruppen miteinander, so ergeben sich folgende Abstufungen: in beiden Gruppen (ohne, bzw. mit EDTA/PUI) wurden die Unterkiefermolaren am häufigsten behandelt (jeweils 28 Prozent), dicht gefolgt von den Unterkieferprämolaren (17 Prozent bzw. 25 Prozent), auch an den Oberkiefermolaren (16 Prozent bzw. 14 Prozent) und Unterkieferfrontzähne (16 Prozent bzw. 13 Prozent) fand häufig eine Wurzelkanalbehandlung statt. Die Unterkieferprämolaren (11 Prozent bzw. 12 Prozent) und die Unterkieferfrontzähne (11 Prozent bzw. 9 Prozent) stellen den geringeren Anteil dar [Abbildung 19 und 20].



**Abb. 19:** Gruppe 1 (n=106) mit Darstellung der untersuchten Zähne nach Zahngruppen

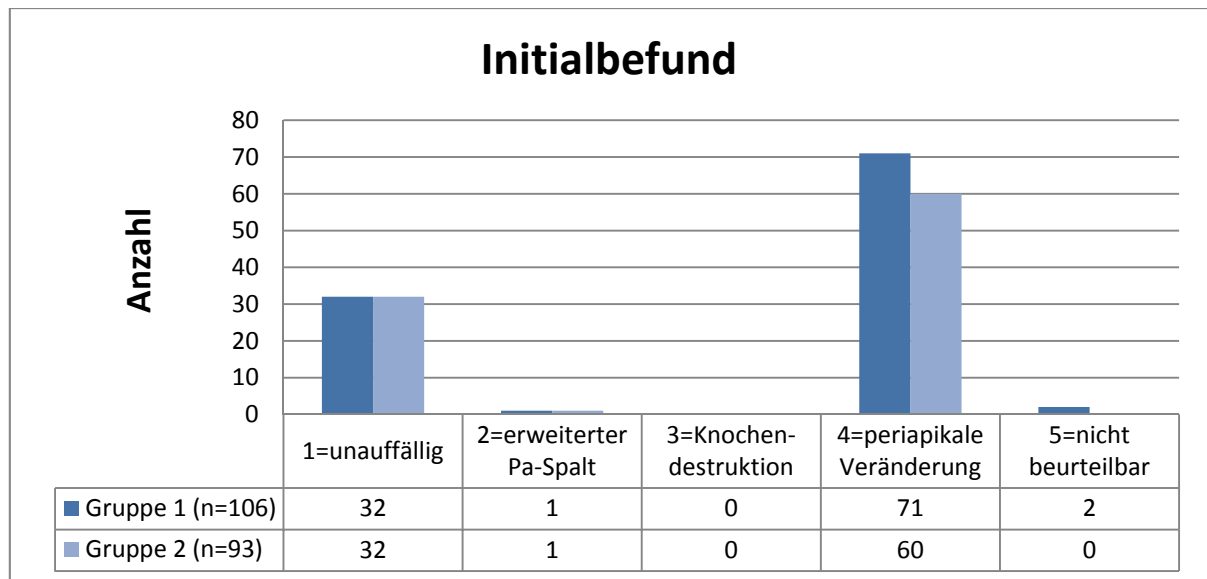


**Abb. 20:** Gruppe 2 (n=93) mit Darstellung der untersuchten Zähne nach Zahngruppen

### 6.1.6 Verteilung der Röntgenbefunde (Gesamtbetrachtung)

#### Initialbefund

Die Prävalenz der periapikalen Veränderung (Grad 4) betrug in Gruppe 1 71 (67 Prozent) und in Gruppe 2 60 (65 Prozent). Knochendestruktionen wurden in beiden Gruppen nicht befundet. Je Gruppe wurde jeweils an einem Zahn ein erweiterter Parodontalspalt festgestellt. In Gruppe 1 und Gruppe 2 waren an 32 Zähnen (Gruppe 1 = 30 Prozent, Gruppe 2 = 34 Prozent) unauffällige periapikale Strukturen erkennbar. Insgesamt zwei Röntgenbilder wurden als nicht beurteilbar eingestuft [Abbildung 21].

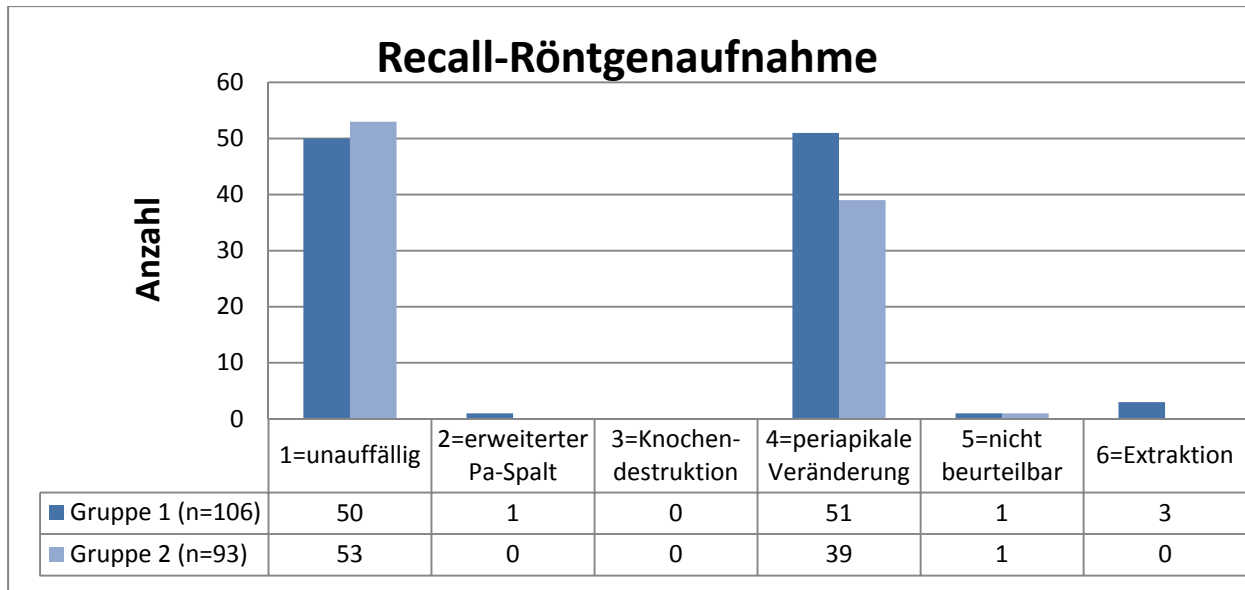


**Abb. 21:** Darstellung des Initialbefundes, aufgeteilt in Gruppen (n=199), Gruppe 1: Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), Gruppe 2: Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)

#### Recall-Röntgenaufnahme

Die Beurteilung der Recall-Röntgenaufnahmen ergaben in Gruppe 1 50 (47 Prozent) und in Gruppe 2 53 (57 Prozent) unauffällige periapikale Strukturen. Lediglich in Gruppe 1 wies ein Zahn einen erweiterten Parodontalspalt auf. Knochenstrukturen waren in beiden Gruppen nicht erkennbar. Periapikale Veränderungen waren in Gruppe 1 an 51 Zähnen (48 Prozent) und in Gruppe 2 an 39 Zähnen (42 Prozent) sichtbar. An je einem Zahn pro Gruppe konnte keine Beurteilung durchgeführt werden und ausschließlich in Gruppe 1 wurden 3 Zähne extrahiert [Abbildung 22]. Es bestanden keine signifikanten Zusammenhänge ( $p > 0,05$ ).

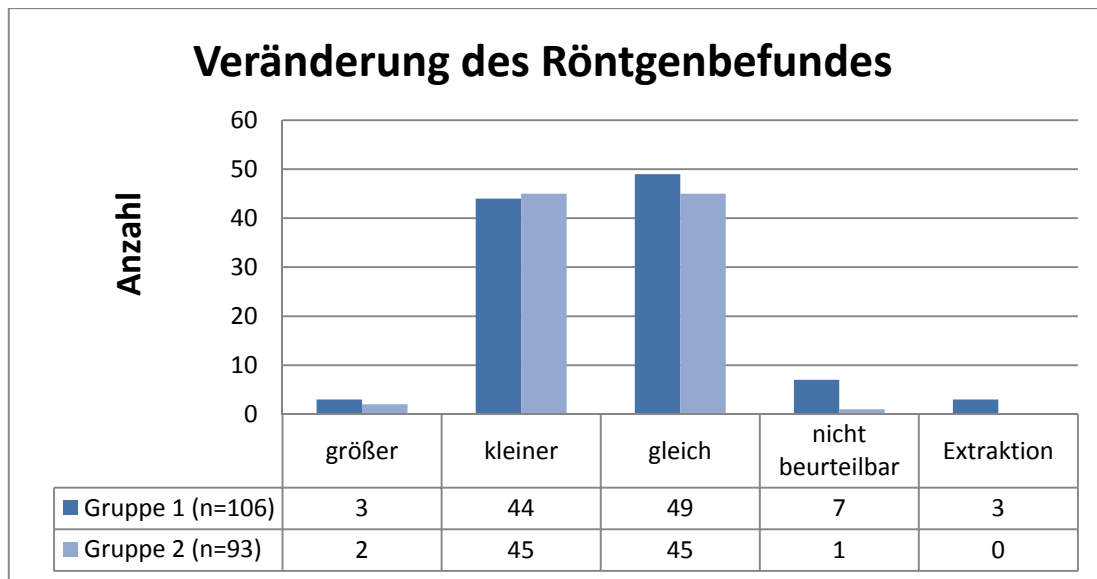




**Abb. 22:** Darstellung der Röntgenbefunde der Recall-Röntgenaufnahmen, aufgeteilt in Gruppen (n=199), Gruppe 1: Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), Gruppe 2: Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)

### 6.1.7 Veränderung des Röntgenbefundes

Beim Vergleich der Recall-Röntgenaufnahme mit dem Initialbefund waren folgende Veränderungen erkennbar: in Gruppe 1 kam es an 3 Zähnen (3 Prozent) und in Gruppe 2 an 2 Zähnen (2 Prozent) zu einer Vergrößerung der periapikalen Veränderung. An 44 Zähnen (42 Prozent) in Gruppe 1 und an 45 Zähnen (48 Prozent) in Gruppe 2 konnte eine Verkleinerung der periapikalen Läsion festgestellt werden. Unveränderte periapikale Strukturen wiesen in Gruppe 1 49 Zähne (46 Prozent) und in Gruppe 2 45 Zähne (48 Prozent) auf. An insgesamt 8 Röntgenbildern (7 in Gruppe 1 und eins in Gruppe 2) konnte eine Veränderung der periapikalen Struktur nicht beurteilt werden [Abbildung 23]. Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge ermittelt werden ( $p > 0,05$ ).

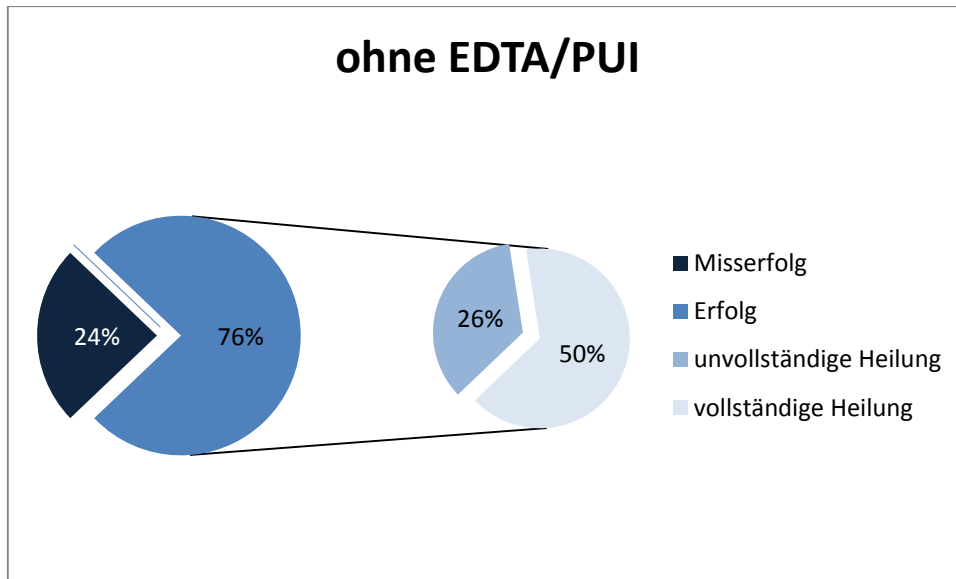


**Abb. 23:** Darstellung der Veränderung des Röntgenbefundes, aufgeteilt in Gruppen (n=199), Gruppe 1: Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), Gruppe 2: Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)

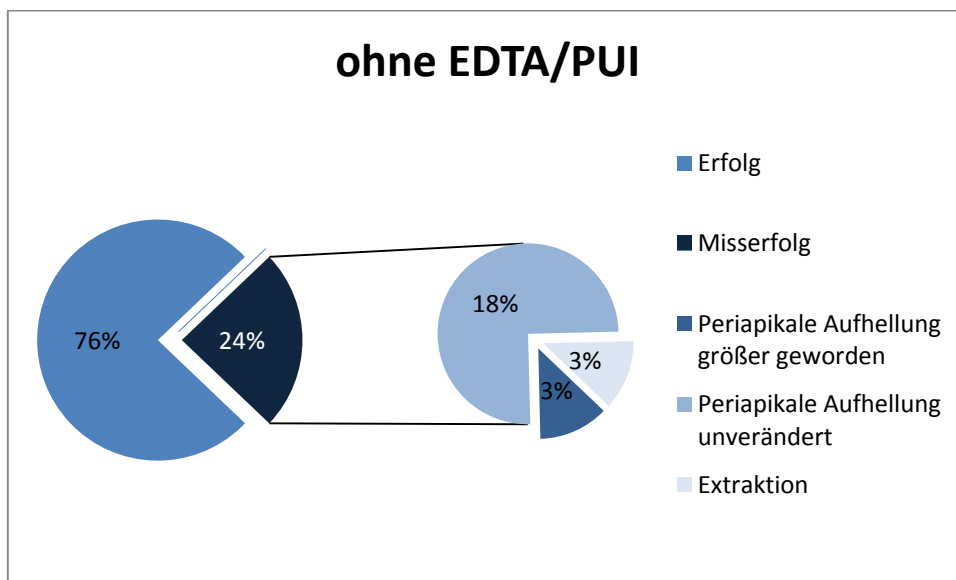
## 6.2 Analytische Statistik

### 6.2.1 Aufschlüsselung Erfolg/Misserfolg

Aufgrund der unter Kapitel 5.7 definierten Kriterien konnten in Gruppe 1 76 Prozent der Wurzelkanalbehandlungen als Erfolg, davon 26 Prozent als unvollständige und 50 Prozent als vollständige Heilung, klassifiziert werden [Abbildung 24]. Als erfolgreich wurden die Zähne bewertet, deren periapikale Veränderungen (einschließlich das Vorliegen eines erweiterten Parodontalspalt) deutlich an Größe abnahmen (unvollständige Heilung) oder ganz ausgeheilt waren (vollständige Heilung). Zähne, die in der initialen Röntgenaufnahme und in der Recall-Röntgenaufnahme unauffällige periradikuläre Strukturen aufwiesen, wurden ebenfalls als erfolgreich eingestuft. Betrachtet man die Gründe, warum ein Zahn jeweils als Misserfolg eingestuft wurde, entfällt der größte Anteil (18 Prozent) auf Zähne, an denen keine Veränderung der bestehenden periapikalen Osteolyse erkennbar war. An drei Prozent der Zähne kam es zu einer Vergrößerung der vorhandenen periapikalen Läsion und ebenso drei Prozent wurden extrahiert [Abbildung 25].

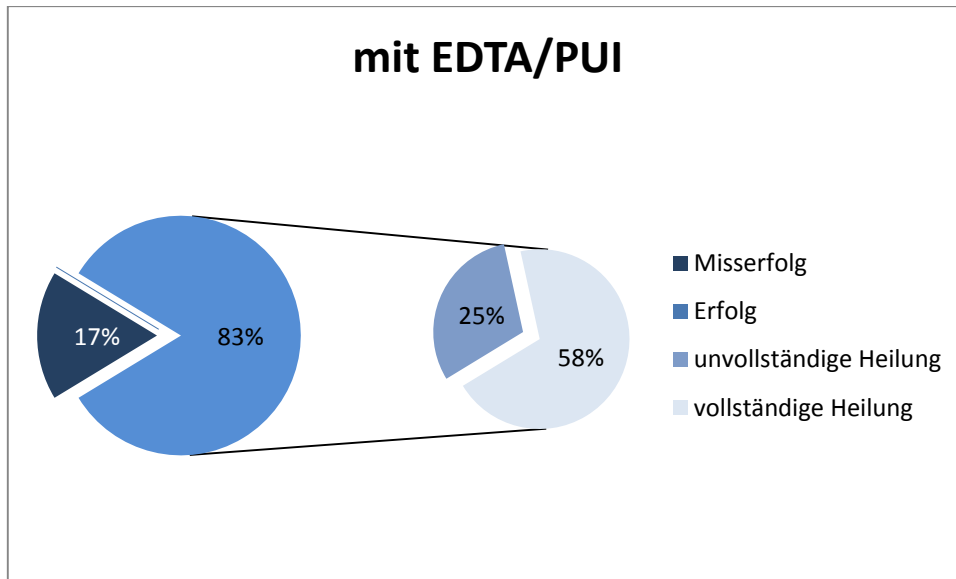


**Abb. 24:** Darstellung des Behandlungserfolges in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)

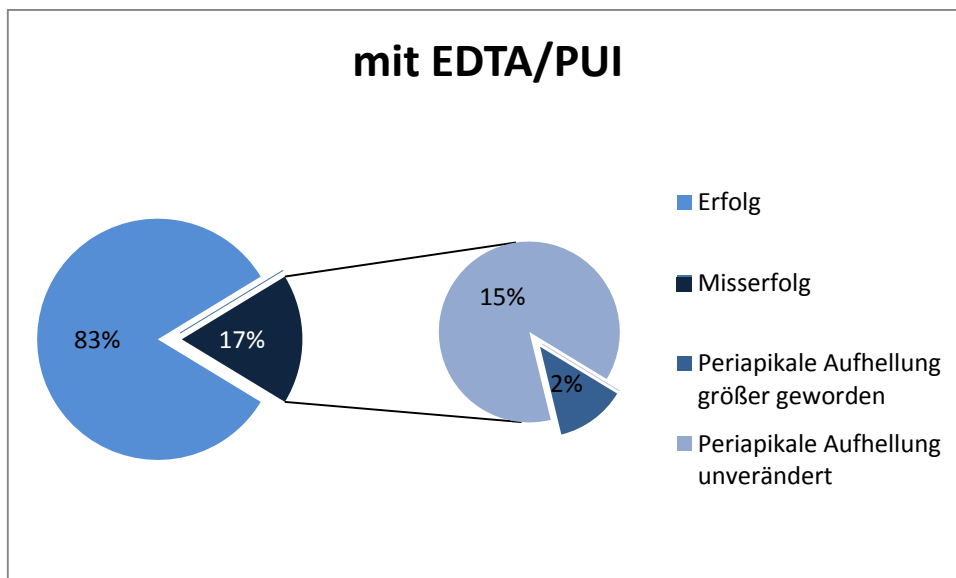


**Abb. 25:** Darstellung des Misserfolges in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)

Die Erfolgsquote in Gruppe 2 (zusätzliche Spülung mit EDTA und PUI) betrug 83 Prozent. Davon konnten an 25 Prozent der Zähne eine vollständige Heilung und an 58 Prozent eine unvollständige Heilung festgestellt werden. Als Misserfolg wurden 17 Prozent der Zähne beurteilt. 15 Prozent davon wurden aufgrund unveränderter periapikaler Aufhellungen und 2 Prozent infolge einer Vergrößerung der periapikalen Läsion als Misserfolg eingestuft. In dieser Gruppe wurden im Beobachtungszeitraum keine Zähne extrahiert [Abbildung 26 und 27]. Die ermittelten Ergebnisse waren nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).



**Abb. 26:** Darstellung des Behandlungserfolges in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)

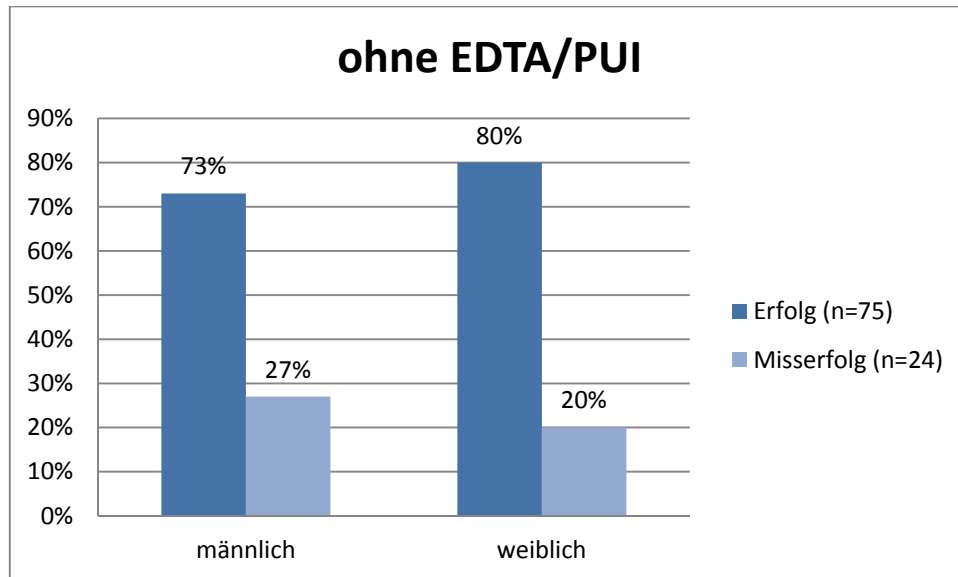


**Abb. 27:** Darstellung des Misserfolges in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)

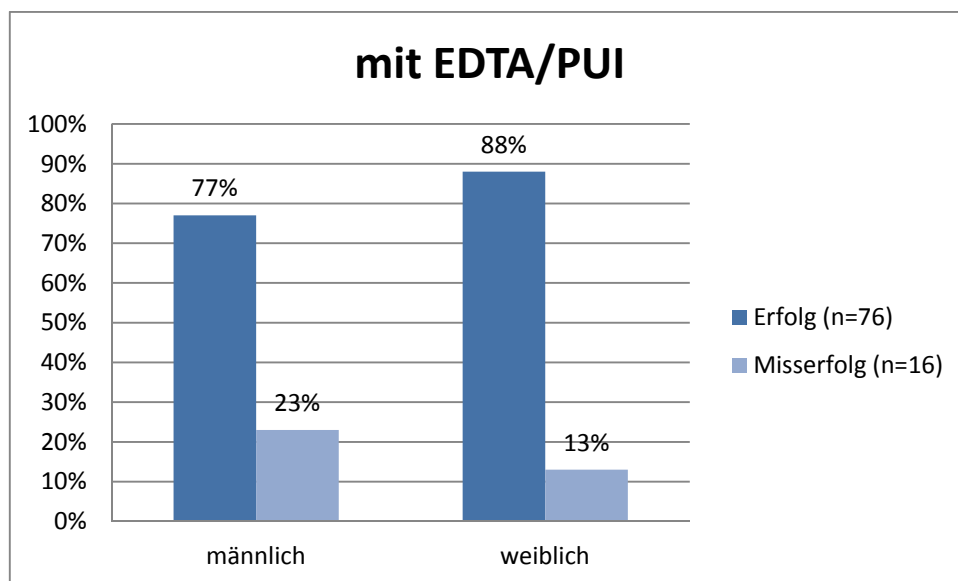
### 6.2.2 Erfolg in Abhängigkeit vom Geschlecht

Schlüsselt man den Behandlungserfolg in Abhängigkeit vom Geschlecht auf, so ergibt sich eine ähnliche Tendenz zwischen Männern und Frauen. In beiden Gruppen ist eine leicht erhöhte Erfolgsquote bei den weiblichen Patienten zu erkennen. Bei den männlichen Patienten konnten in Gruppe 1 73 Prozent und in Gruppe 2 77 Prozent der Behandlungen als erfolgreich eingestuft werden. Bei den weiblichen Patienten waren in Gruppe 1 80 Prozent und in Gruppe 2 88 Prozent erfolgreich. Beim Vergleich beider Gruppen ist erkennbar, dass die Behandlung unter Spülung mit EDTA und unter

Verwendung der passiven Ultraschallaktivierung, bei männlichen und weiblichen Patienten, eine leicht erhöhte Erfolgsquote aufweist, jedoch war dieser Unterschied nicht signifikant ( $p > 0,05$ ) [Abbildung 28 und 29].



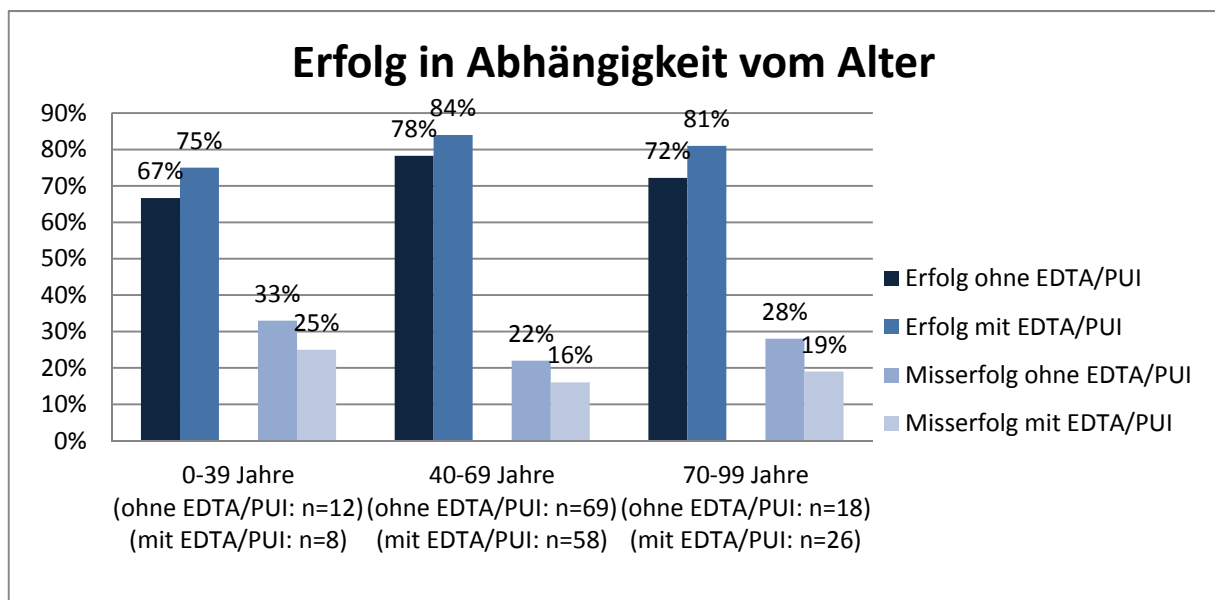
**Abb. 28:** Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom Geschlecht in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)



**Abb. 29:** Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom Geschlecht in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)

### 6.2.3 Erfolg in Abhängigkeit vom Alter

Bei der Betrachtung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom Alter ist festzustellen, dass dieser in jedem dargestellten Altersintervall in der Gruppe, in der während der Behandlung zusätzlich mit EDTA und PUI gespült wurde, etwas höher liegt. Es konnte jedoch kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ( $p > 0,05$ ). Abbildung 30 macht deutlich, dass eine Häufung von durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen im Alters-Intervall 40-69 Jahre vorliegt, mit 69 Behandlungen in Gruppe 1 und 58 Behandlungen in Gruppe 2. Dies entspricht der zwei- bis dreifachen Menge, verglichen mit den Intervallen 0-39 Jahre und 70-99 Jahre. Am niedrigsten ist die Erfolgsrate (67 Prozent) in der Altersgruppe 0-39 Jahre, wenn während der Behandlung nicht mit EDTA und ohne PUI gespült wurde.

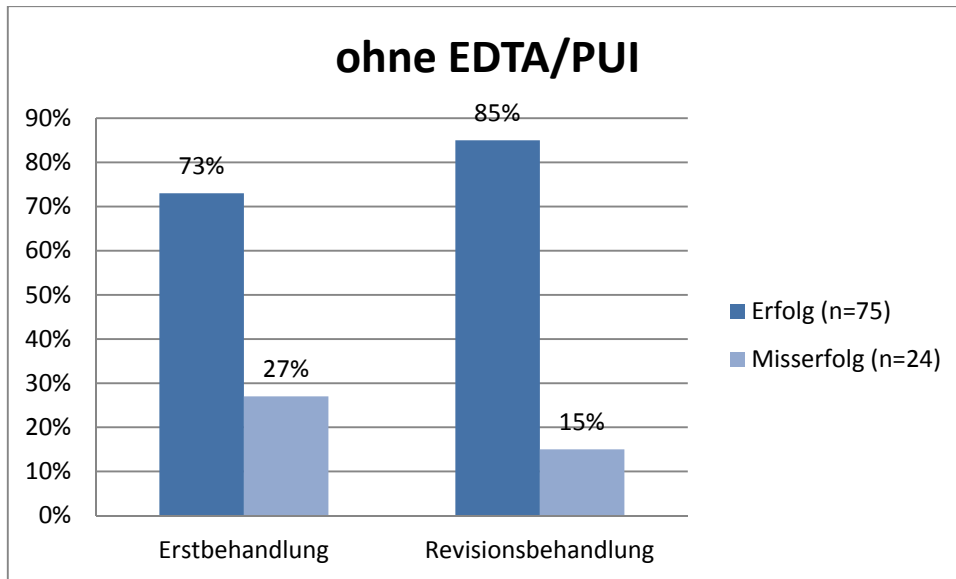


**Abb. 30:** Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom Alter in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99) und Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)

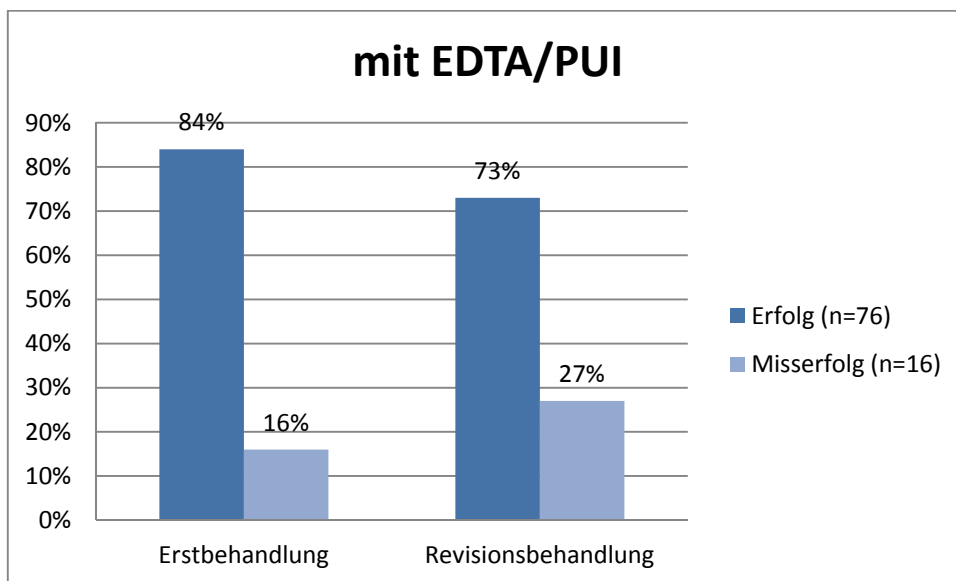
### 6.2.4 Erfolg in Abhängigkeit von der Behandlungsart

Bei der Betrachtung der Erfolgsquote nach der Art der Behandlung sind in den einzelnen Gruppen Unterschiede erkennbar. So können in der Gruppe, in der nicht mit EDTA und PUI gespült wurde, 73 Prozent der Erstbehandlungen und 85 Prozent der Revisionsbehandlungen als erfolgreich eingestuft werden. In der zweiten Gruppe (Spülung zusätzlich mit EDTA und PUI) stellt sich das Ergebnis annähernd umgekehrt dar. So können hier 84 Prozent der Erst- und 73 Prozent der Revisionsbehandlungen

als erfolgreich angesehen werden [Abbildung 31 und 32]. Es bestand kein signifikanter Zusammenhang ( $p > 0,05$ ).



**Abb. 31:** Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit von der Behandlungsart in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)

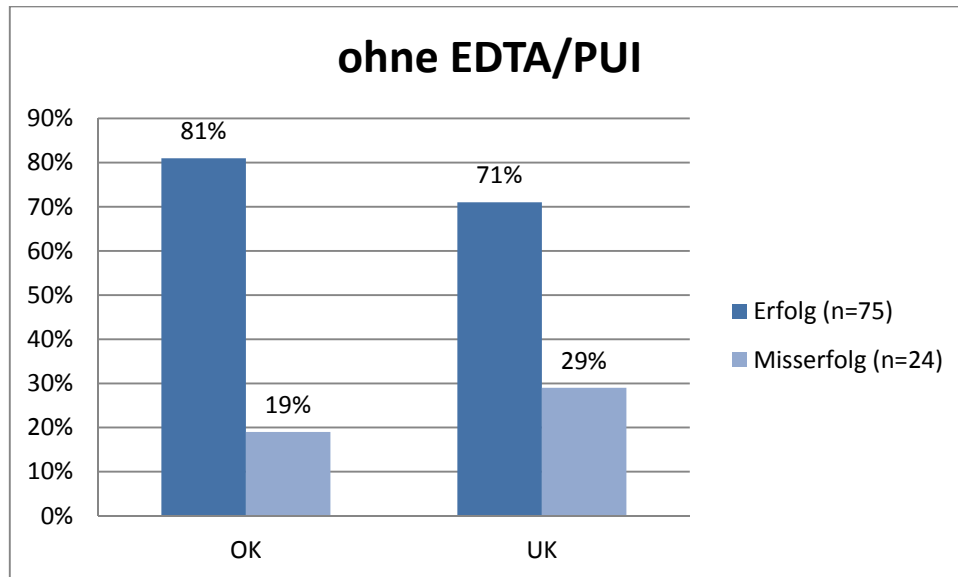


**Abb. 32:** Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit von der Behandlungsart in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)

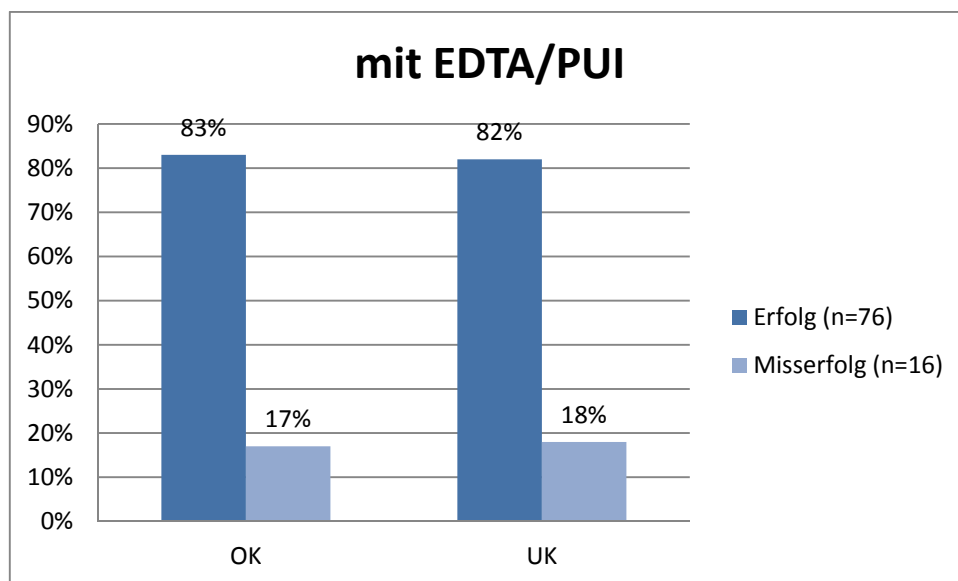
### 6.2.5 Erfolg in Abhängigkeit vom behandelten Kiefer

In den Abbildungen 33 und 34 sind die Behandlungserfolge in Abhängigkeit vom behandelten Kiefer dargestellt. Mit 83 Prozent für den Oberkiefer und 82 Prozent für den Unterkiefer liegt die Erfolgsquote der Wurzelkanalbehandlungen in Gruppe 2, unter

Verwendung von EDTA und PUI etwas höher als im Vergleich zu Gruppe 1 (ohne Spülung mit EDTA und PUI) mit 81 Prozent im Oberkiefer und 71 Prozent im Unterkiefer. Der Unterschied war jedoch nicht signifikant ( $p > 0,05$ ).



**Abb. 33:** Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom behandelten Kiefer in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)



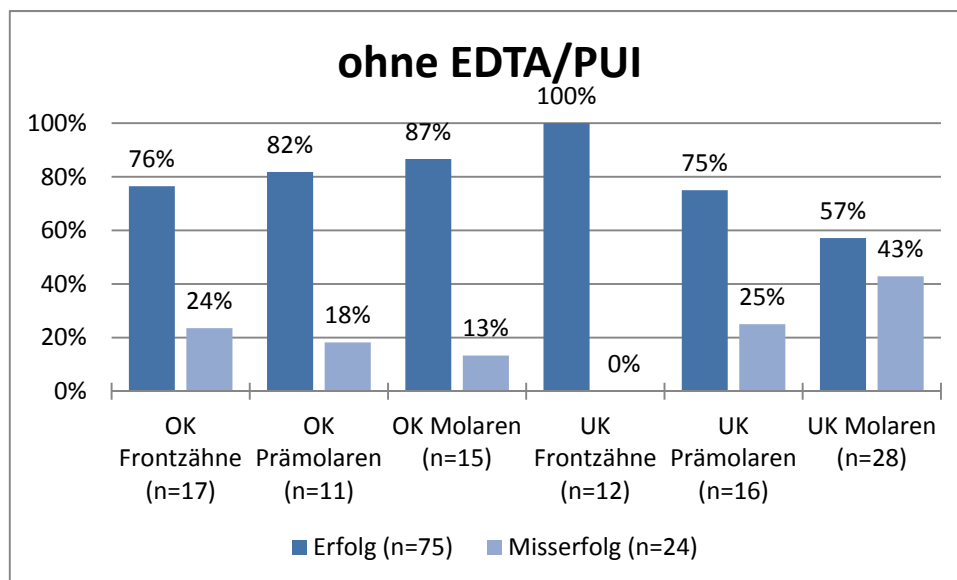
**Abb. 34:** Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom behandelten Kiefer in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)

### 6.2.6 Erfolg in Abhängigkeit von den Zahngruppen

Bei der genaueren Betrachtung der einzelnen Zahngruppen, dargestellt in Abbildung 35 und 36, fällt eine homogenere Verteilung der Erfolgsquote bei der Behandlung unter



Verwendung von EDTA und PUI (Gruppe 2) auf. Der höchste Behandlungserfolg liegt mit 91 Prozent bei den Unterkieferprämolaren. Die Erfolgswerte für die Oberkieferfrontzähne, Prämolaren und Molaren, liegen mit 83, 82 und 85 Prozent im Bereich der Gesamterfolgsquote für diesen Kiefer. Die Unterkiefermolaren mit 77 Prozent und die Unterkieferprämolaren mit 75 Prozent weisen in Gruppe 2 die niedrigste Erfolgsquote auf. Die Werte für den Erfolg in Gruppe 1, ohne Spülung mit EDTA und PUI, schwanken zwischen 100 Prozent für die Unterkieferfrontzähne und 57 Prozent für die Unterkiefermolaren, die deutlich unter dem Durchschnitt liegen. Die Verteilungen des Erfolges für die Oberkieferprämolaren und Oberkiefermolaren sind mit 82 Prozent und 87 Prozent der Verteilung in Gruppe 2 ähnlich. Es konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden ( $p > 0,05$ ).



**Abb. 35:** Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit von den behandelten Zahngruppen in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)

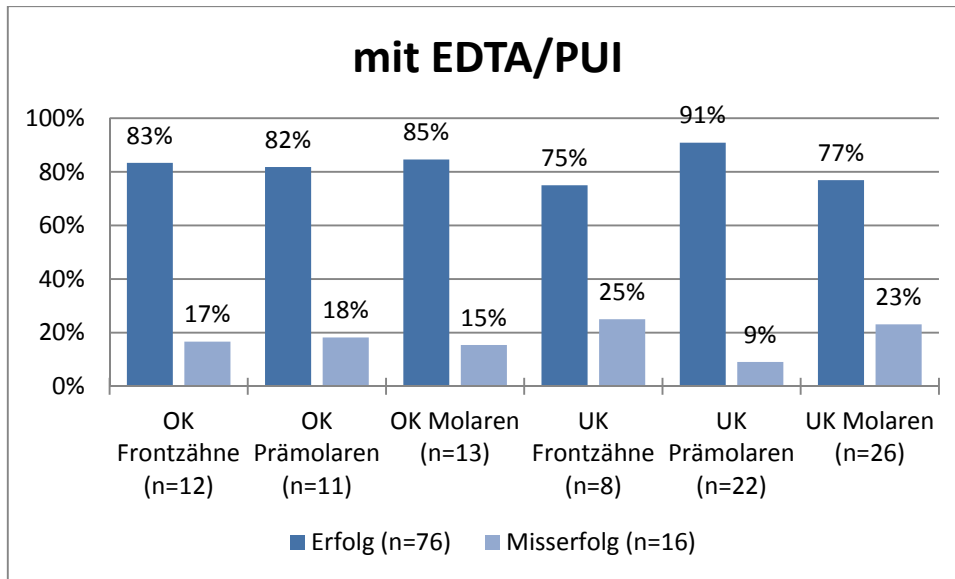


Abb. 36: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit von den behandelten Zahngruppen in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)

### 6.3 Übersicht der Ergebnisse

Parameter	Protokoll 1 ohne EDTA/PUI (n = 106)	Protokoll 2 mit EDTA/PUI (n = 93)	p*
<b>Geschlecht</b> weiblich männlich	47 (44,3 %) 59 (55,7 %)	48 (51,6 %) 45 (48,4 %)	> 0,05
<b>Alter (Jahre)</b> 1-19 20-29 30-39 40-49 50-59 60-69 70-79 80-89 90+	0 5 (4,7 %) 7 (6,6 %) 23 (21,7 %) 22 (20,8 %) 27 (25,5 %) 19 (17,9 %) 3 (2,8 %) 0	1 (1,1 %) 4 (4,3 %) 3 (3,2 %) 12 (12,9 %) 25 (26,9 %) 22 (23,7 %) 25 (26,9 %) 0 1 (1,1 %)	> 0,05
<b>Lokalisation</b> Oberkiefer Unterkiefer	46 (43,3 %) 60 (56,6 %)	36 (38,7 %) 57 (61,3 %)	> 0,05
<b>Zähne</b> Frontzähne Prämolaren Molaren	29 (27,4 %) 30 (28,3 %) 47 (44,3 %)	20 (21,5 %) 34 (36,3 %) 39 (41,9 %)	> 0,05

Ergebnisse

<b>Therapie</b> Initialtherapie Revision	77 (72,6 %) 29 (27,4 %)	77 (82,8 %) 16 ( 17,2 %)	> 0,05
<b>Verlaufskontrolle</b> (Monate) 3-6 >6-9 >9-12 >12-18 >18-24	36 (34,0 %) 13 (12,3 %) 38 (35,8 %) 16 (15,1 %) 3 (2,8 %)	58 (62,4 %) 21 (22,6 %) 10 (10,8 %) 4 (4,3 %) 0	< 0,05
<b>Index<sub>Masterpoint</sub></b> I II III - IV V	32 (30,2 %) 3 (2,8 %) 71 (67,0 %) 0	32 (34,4 %) 1 (1,1 %) 60 (64,5 %) 0	> 0,05
<b>Index<sub>Recall</sub></b> I II III - IV V	50 (47,6 %) 1 (1,0 %) 51 (48,6 %) 3 (2,9 %)	53 (57,6 %) 0 39 (42,4 %) 0	> 0,05
<b>Erfolg</b> Ja Index <sub>Recall</sub> =I Index <sub>masterpoint</sub> >Index <sub>Recall</sub> > I	75 (75,8 %) 49 (49,5 %) 26 (26,3 %)	76 (82,6 %) 53 (57,6 %) 23 (25,0 %)	> 0,05
<b>Misserfolg**</b>	24 (24,2 %)	16 (17,4 %)	
<b>Extraktion</b>	3 (100%)	0	> 0,05

\* Signifikanzwert, Vergleich zwischen Protokoll 1 und 2

\*\* IndexMasterpoint ≤ IndexRecall > 1

**Tabelle 2:** Übersicht der Untersuchungsergebnisse

## 7 Diskussion

### 7.1 Diskussion der Methode

Im Jahr 1991 wurden laut der Kassenzahnärztlichen Bundesvereinigung 6,91 Millionen Wurzelkanalfüllungen und 16,23 Millionen Extraktionen durchgeführt. Im Jahr 2013 hingegen wurden 7,16 Millionen Wurzelkanalfüllungen und nur 12,85 Millionen Extraktionen erfasst [140]. Die Anzahl der Extraktionen ist offensichtlich rückläufig. Ein Grund dafür können unter anderem die Weiterentwicklungen in der Endodontie sein, wodurch Zähne länger erhalten werden können.

Ziel dieser Studie war es, den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung durch eine zusätzliche Spülung mit EDTA sowie die Anwendung der passiven Ultraschallaktivierung während der chemischen Wurzelkanaldesinfektion im Vergleich zur alleinigen Spülung mit NaOCl zu evaluieren. Dafür wurde der Behandlungserfolg von 199 Wurzelkanalbehandlungen anhand der angefertigten Röntgenbilder untersucht. In der klinischen endodontischen Forschung werden schon vorhandene Röntgenbilder zur Erlangung wissenschaftlicher Erkenntnisse herangezogen, da jede Anfertigung einer zusätzlichen Röntgenaufnahme zwangsläufig mit einer gewissen Strahlenbelastung verbunden ist und somit aus ethischen Gründen ausschließlich für wissenschaftliche Zwecke nicht vertretbar wäre. Es handelt sich bei dieser Arbeit jedoch um eine rein retrospektive Untersuchung, wodurch die Aussagekraft über den Behandlungserfolg eingeschränkt ist, da die bestehenden Röntgenbilder nur Momentaufnahmen darstellen. Die Auswertung der Röntgenbilder wurde von einem Untersucher vorgenommen, um die Interpretationsvariabilität so gering wie möglich zu halten. Wie in Kapitel 5.5 beschrieben ist die Bewertung von radiologischen Bildern subjektiv. Bei der Interpretation der Röntgenbilder von unterschiedlichen Betrachtern könnten unterschiedliche Ergebnisse die Folge sein. Auch die Qualität der Röntgenbilder ist nicht einheitlich, obwohl die Aufnahmen von erfahrenen Medizinisch-technischen Assistenten angefertigt wurden. Es handelt sich nicht um standardisierte Aufnahmen mit individuellen Röntgenhaltern und somit nicht um situations- bzw. deckungsgleiche Bilder. Verzerrungen können eventuell durch Überlagerungen mit anderen anatomischen Strukturen (z.B. Sinus maxillaris) und durch eine unterschiedliche Projektion der Röntgenstrahlen zustande gekommen sein. Auch die Lage einer apikalen Läsion im Knochen schränkt die Beurteilung deren Größe ein.

Die herangezogenen Röntgenbilder gehörten Patienten, die sich im Centrum 3 für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Charité-Universitätsmedizin im Zeitraum November 2011 – Februar 2014 behandeln ließen. Alle Wurzelkanalbehandlungen wurden nach einem standardisierten Protokoll durchgeführt. Die Datenerhebung erfolgte über die endodontische Datenbank, in der Patientendaten mit Röntgenaufnahmen verknüpft sind. Die Software Sidexis (Sirona) wurde als weiteres Programm zur Beurteilung der Aufnahmen herangezogen. Alle notwendigen Informationen wurden extrahiert und in EXCEL überführt. Ein relativ hoher Datenverlust beruhte auf teilweise unvollständigen Datensätzen, so dass von ursprünglich 250 untersuchten nur 199 Wurzelkanalbehandlungen betrachtet werden konnten.

Die Durchführung und letztlich der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist auch abhängig von der Erfahrung des Behandlers. Aufgrund des unterschiedlichen Ausbildungsgrades und trotz der strikten Einhaltung der bestehenden Protokolle zur Durchführung der Behandlung und der chemischen Desinfektion des Wurzelkanalsystems und trotz universitärer Überwachung kann die Qualität der durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen sehr unterschiedlich sein. Der Erfolg der Behandlung fällt in diesem Fall eventuell geringer aus als bei vergleichbaren Behandlungen, die von Spezialisten der Endodontie mit höheren Erfahrungswerten durchgeführt werden. Weitere Studien zur Qualitätssicherung der Behandlungsabläufe wären sinnvoll, um einen gleich hohen Standard auch im Studentenkurs zu halten. Da alle Behandlungen im Studentenkurs erfolgten ist zu überlegen, ob eventuell andere Ergebnisse in freien Zahnarztpraxen zu erzielen wären. Die Gesundheitspolitik und der steigende Kostendruck spielen in der freien Zahnarztpraxis eine wesentliche Rolle. Der Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung und die verwendeten Materialien sind hier auch unter wirtschaftlichen Aspekten abzuwägen. Aus den GKV Kennzahlen von 2014 geht hervor, dass zwar die Ausgaben für die zahnmedizinische Versorgung in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen sind, so waren es 2010 8,31 Mrd. Euro und 2014 9,83 Mrd. Euro, dass jedoch die Ausgaben für die zahnärztliche Behandlung mit 5,08 Prozent in 2014 nur einen geringen Anteil an den Gesamtausgaben der Gesetzlichen Krankenversicherungen einnehmen [141]. Zu überlegen wäre, ob die durchgeführten Wurzelkanalbehandlungen in den freien Zahnarztpraxen erfolgreicher wären, wenn von Seiten der Krankenkassen mehr Leistungen übernommen würden. Kosten für einen höheren Materialaufwand, z.B. bei der Verwendung verschiedener Spüllösungen,

müssen unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit teilweise vom Patienten getragen werden. Die Zuzahlungsbereitschaft ist jedoch sehr unterschiedlich. Auch die zur Verfügung stehenden Hilfsmittel sind im Studentenkurs umfangreicher als in den einzelnen Zahnarztpraxen. So ist die Verwendung eines Operationsmikroskops im Wesentlichen bei Fachspezialisten zu erwarten. Des Weiteren spielt die zur Verfügung stehende Behandlungszeit eine Rolle, die im Studentenkurs sehr viel höher für jeden einzelnen Patienten ausfällt. Die Patientenklientel im Kurs investiert mehr Zeit für die Behandlung, was eventuell durch ein höheres Gesundheitsbewusstsein zu erklären ist. Der Vergleich der Behandlung während der universitären Ausbildung mit der in den freien Zahnarztpraxen gibt Anlass zur weiteren Forschung.

Für diese Studie wurden Zähne herangezogen, die im Zeitraum November 2011 bis Februar 2014 im Studentenkurs wurzelkanalbehandelt wurden. Von insgesamt 250 betrachteten Zähnen, konnten 199 für die Auswertung herangezogen werden, deren Recall-Röntgenaufnahmen vorhanden waren. Der schon erwähnte Datenverlust beruhte teilweise auch auf fehlenden Nachuntersuchungen. Über Gründe des Ausbleibens dieser liegen keine Informationen vor. Mögliche Ursachen könnten ein eventueller Verzug, fehlendes Interesse, ein Wechsel des Behandlers oder subjektive Beschwerdefreiheit sein. Der Nachuntersuchungszeitraum der verglichenen Zähne war sehr unterschiedlich, der früheste Recalltermin fand nach drei Monaten und der späteste nach 25 Monaten statt, dies ergab im Mittel acht Monate. Die Ausheilung einer apikalen Parodontitis kann in der Regel im ersten postoperativen Jahr beurteilt werden [138]. Da die Nachuntersuchungsabstände zum größten Teil geringer als 12 Monate waren, könnte dies zur Folge haben, dass teilweise Röntgenbilder bewertet wurden, bei denen die knöchernen Regeneration noch nicht abgeschlossen war. So wurde möglicherweise eine unveränderte periapikale Veränderung als Misserfolg eingestuft, deren Nachuntersuchungszeitraum für eine definitive Bewertung nicht ausreichte. In Gruppe 2 fallen die Nachuntersuchungsintervalle geringer aus als in Gruppe 1. Weitere Untersuchungen mit erneuten Recall-Röntgenaufnahmen könnten unter Umständen höhere Erfolgsquoten nach sich ziehen. Regelmäßige Anfertigungen von Röntgenaufnahmen zur Verlaufskontrolle und Evaluierung der Heilungstendenz nach erfolgter Wurzelkanalbehandlung sind für die Beurteilung des langfristigen Behandlungserfolges von großer Bedeutung.

Es wurde keine Differenzierung bezüglich Zahnlage, Ausgangsbefund oder Anzahl der Wurzelkanäle vorgenommen. Wenn Zähne mit einem höheren Risiko (z.B. komplizierte Wurzelanatomie, Gangrän) von vornherein ausgeschlossen werden, so hätte dies eine vermeintlich höhere Erfolgsrate zur Folge. Da keine Selektion des Patientenkollektivs stattfand, ist diese Studie repräsentativ und realistisch für den Praxisalltag.

Einen besonderen Stellenwert bei der Eliminierung der Mikroorganismen im Wurzelkanalsystem nimmt die chemische Desinfektion ein, mit der auch schwer zugängliche Areale erreicht werden können. NaOCl gilt aufgrund der guten antimikrobiellen und gewebeauflösenden Eigenschaften als Goldstandard der chemischen Wurzelkanalaufbereitung. EDTA ist als zusätzliches Spülmedium in der Lage, die chemische Wurzelkanalaufbereitung zu verbessern. Seine Eigenschaft als Komplexbildner selektiv Kalziumionen zu binden führt in Kombination mit der hohen antibakteriellen Wirkung von NaOCl zu einer sehr guten Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems. Dies wird erreicht durch die nahezu vollständige Entfernung des smear layers und die Freilegung der Dentintubuli [79, 80]. Die Entfernung von Dentindebris und Pulpagewebe, vor allem in schwer zugänglichen Arealen, wird durch die Anwendung der passiven Ultraschallaktivierung zusätzlich verbessert. Auch der antibakterielle Effekt von NaOCl wird durch die PUI erhöht und der smear layer wird effektiver entfernt [6, 128, 133].

Aufgrund der aktuellen wissenschaftlichen Datenlage wurde ein Spülprotokoll erstellt, welches EDTA als zusätzliches Agens während der Abschlussspülung vorsieht und bei dem alle Spüllösungen mittels PUI aktiviert werden. Zu überlegen ist, ob die Spülung mit EDTA zusätzlich nach jeder temporären medizinischen Wurzelkanaleinlage sinnvoll wäre. Hierbei spielt die Entfernung der temporären Wurzelkanaleinlage eine wesentliche Rolle. EDTA in Kombination mit NaOCl liefert signifikant bessere Ergebnisse bei der Entfernung von Kalziumhydroxidresten als NaOCl alleine, was auf die Chelatbildung von EDTA zurückzuführen ist. Die entstehenden Komplexe sind anschließend mit NaOCl als Abschlussspülung leichter zu entfernen. Verbleibende Reste von medikamentösen Einlagen können unter anderem zur Beeinträchtigung des Füllmaterials und zu einer verringerten Dichtigkeit der Wurzelfüllung, aufgrund der verschlechterten Adhärenz des Sealers führen [142, 143]. Dies würde wahrscheinlich eine höhere Misserfolgsquote nach sich ziehen. Würde EDTA als Zwischenspülung angewendet werden, so ist anzunehmen, dass durch die Öffnung und Erweiterung der

Dentintubuli die nachfolgende temporäre medizinische Einlage noch weiter in die Tubuli hineingepresst werden kann. Dies hätte zur Folge, dass die Entfernung von Kalziumhydroxidresten aus dem Wurzelkanal zusätzlich erschwert werden würde und eine dichte Wurzelkanalfüllung vermutlich nicht gewährleistet werden könnte. Das erarbeitete Spülprotokoll ist als Checkliste während der Behandlung zur Sicherung der Qualität der Wurzelkanalspülung von hohem Nutzen.

Durch die passive Ultraschallaktivierung werden Strömungsphänomene erzeugt, woraufhin die Spülflüssigkeit effektiver in die apikale Region und in die für die mechanische Reinigung unzugänglichen Bereiche transportiert wird. Bei der Anwendung der PUI mit einem glatten metallischen Instrument ist der Behandler mit verschiedenen Herausforderungen konfrontiert. Damit das Instrument frei im Kanal schwingen kann sollte eine ausreichend kleine ISO-Größe gewählt werden. Zusätzlich muss das Instrument flexibel genug sein, damit ein Wandkontakt vermieden werden kann. Metallische Instrumente können im Wurzelkanal Stufenbildungen hervorrufen und sind gleichfalls bruchgefährdet und damit vor allem in gekrümmten Kanälen unter Vorbehalt anzuwenden. Eine vielversprechende Entwicklung zur Erleichterung der Durchführung der PUI und Vermeidung ungewollter Stufenbildung und Instrumentenfrakturen stellt die von Dr. Zeppenfeld in Zusammenarbeit mit VDW entwickelte Polyamid-Spitze EDDY dar. Sie wird in Kombination mit einem Airscaler angewandt und soll gleichfalls Kavitation und Acoustic Streaming im Wurzelkanal hervorrufen. Die flexible Polyamid-Spitze ist dentinschonender, wodurch Stufenbildungen vermieden werden können und die Bruchgefahr vermindert wird. Durch die Flexibilität ist auch die Anwendung in gekrümmten Kanälen aussichtsreich. Erste Untersuchungen weisen ebenso auf eine verbesserte Entfernung von Kalziumhydroxidresten hin [144].

## **7.2 Diskussion der Ergebnisse**

Das Verhältnis von Frauen zu Männern in der untersuchten Population fiel relativ gleichmäßig aus. Im nachuntersuchten Kollektiv (Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA und PUI) waren die Frauen unter den untersuchten Probanden ein wenig häufiger vertreten. Dies entspricht dem höheren Anteil von Frauen in der Gesamtbevölkerung – für 2014 belaufen sich die Angaben des statistischen Bundesamtes auf 41,4 Millionen Frauen und 39,8 Millionen Männer [145].



Es wurden Patienten im Alter zwischen 19 und 93 Jahren behandelt, wobei das durchschnittliche Alter bei 57 Jahren lag. Die meisten Patienten waren in Gruppe 1 (Spülprotokoll ohne EDTA und PUI) zwischen 60 und 69 Jahre alt und in Gruppe 2 (Spülprotokoll mit EDTA und PUI) zwischen 50 und 59 bzw. zwischen 70 und 79 Jahre alt. Über 87 Prozent der Probanden befanden sich in der Altersgruppe zwischen 40 und 80 Jahren. Die Verteilung viel hier recht homogen aus. Dies deckt sich weitestgehend mit den Angaben des statistischen Bundesamtes. Dabei war die anteilmäßig größte Bevölkerungsgruppe mit 49,2 Millionen, bei der im Jahr 2013 Wurzelkanalbehandlungen durchgeführt wurden, zwischen 20 und 65 Jahre alt [145]. Wurzelkanalbehandlungen sind im mittleren Alter häufiger vertreten als im hohen Alter. Der Wunsch des Patienten, Zähne so lange wie möglich zu erhalten, spielt hierbei eine wesentliche Rolle. Im jüngeren Alter sind Wurzelkanalbehandlungen aufgrund infektiöser Ursachen nur in seltenen Fällen nötig. Dies ist durch die seit Jahren rückläufige Kariesinzidenz in Deutschland zu erklären [146].

Bei den untersuchten Wurzelkanalbehandlungen handelte es sich in Gruppe 1 in 73% der Fälle um Initialbehandlungen und in 27% um Revisionsbehandlungen. In Gruppe 2 fiel der Anteil an Revisionen mit 17% etwas geringer aus. Die Revision einer Wurzelkanalbehandlung wird nötig bei einer erfolglosen initialen Behandlung. Mögliche Ursachen sind z.B. die Persistenz von Mikroorganismen, unbehandelte Wurzelkanäle bzw. Kanalabschnitte und undichte koronale Restaurationen [147].

Bei der Betrachtung der Verteilung der behandelten Zähne fällt auf, dass in beiden Gruppen mehr als die Hälfte der Wurzelkanalbehandlungen im Unterkiefer durchgeführt wurden. In Gruppe 1 handelt es sich dabei um 57% und in Gruppe 2 um 61%. Am häufigsten wurden Unterkiefermolaren und Prämolaren behandelt, gefolgt von Oberkiefermolaren und Oberkieferfrontzähnen. Dies spiegelt den Wunsch des Patienten wider, auch funktional wichtige Zähne im Seitenzahnbereich zu erhalten. Aus ästhetischer Sicht spielt der Zahnerhalt vor allem im Frontzahnbereich eine wesentliche Rolle. Stetige Weiterentwicklungen im Fachbereich der Endodontie, z.B. verbesserte Aufbereitungsmöglichkeiten und eine verbesserte Ausbildung, machen es möglich, dass heutzutage vermehrt schwierige endodontische Behandlungen im teilweise schwer erreichbaren Seitenzahnbereich durchgeführt werden.

Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde versucht den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung retrospektiv unter zusätzlicher Verwendung von EDTA als Spülmedium und die Anwendung der passiven Ultraschallaktivierung zu evaluieren. Die Ergebnisse liefern eine Erfolgsquote von 76%, ohne die Anwendung von EDTA und PUI und 83% unter Anwendung von EDTA und PUI. Die angegebenen Erfolgsquoten sind auch in der Literatur in Prozent angegeben, dies bedingt aufgrund fehlender standardisierter Verfahren, dass lediglich eine Erfolgstendenz ablesbar ist. In dieser Studie fällt die Erfolgsrate für die Wurzelkanalbehandlung niedriger aus als in der Literatur beschrieben. Die Erfolgsraten bei Zähnen mit irreversibler Pulpitis und Pulpanekrose ohne assoziierte periapikale Läsion liegen zwischen 85% und 95% [1]. Als Ursache kommen unter anderem die inhomogenen und zum Teil engmaschigen Recallintervalle in Frage. Die Recallintervalle waren für Gruppe 1 signifikant länger als für Gruppe 2. Erneute röntgenologische Untersuchungen der beurteilten Wurzelkanalbehandlungen und damit die Betrachtung vergleichbarer Recallintervalle, könnten eine höhere Erfolgsrate für das zweite Spülprotokoll nach sich ziehen.

In der internationalen Literatur wird der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung unterschiedlich definiert. Generell müssen drei Kriterien für die Bewertung herangezogen werden: der klinische Befund (z.B. Schmerzanamnese, Lockerungsgrade, Perkussionsempfindlichkeit), der histologische Befund und der radiologische Befund [148]. Beim Vorliegen klinischer Befunde (z.B. Fistelung oder Schmerzen), ist die Wurzelkanalbehandlung als Misserfolg anzusehen. Jedoch ist es nicht möglich, bei Abwesenheit dieser sicher von einer erfolgreichen Behandlung zu sprechen. Als alleiniges Kriterium zur Beurteilung des Behandlungserfolges ist der klinische Befund nicht ausreichend [149, 150]. Eine Wurzelkanalbehandlung gilt histologisch als erfolgreich, wenn die periapikale Region vollständig wieder hergestellt ist und keine inflammatorischen Zellen nachweisbar sind [151]. Für eine sichere Beurteilung des Erfolges einer Wurzelkanalbehandlung müssten letztendlich alle drei Kriterien herangezogen werden. Im Praxisalltag ist jedoch nur die Beurteilung der klinischen und radiologischen Symptomatik umsetzbar. Der radiologische Befund wird zur Bewertung des Erfolges einer Wurzelkanalbehandlung am häufigsten herangezogen. Da in dieser Studie ausschließlich Röntgenbilder zur Bewertung des Behandlungserfolges verwendet wurden, ist das Ergebnis unter Vorbehalt zu betrachten. Der tatsächliche Entzündungszustand ist aufgrund fehlender histologischer

Befunde nicht zuverlässig beurteilbar. Lediglich das Vorhandensein einer periapikalen Veränderung gilt als sicheres Erkennungszeichen für eine chronische Entzündung. Studien, die klinische Parameter, wie z.B. Schmerz, Fistelung, Lockerungsgrade, Qualität der Wurzelfüllung mit einbeziehen, erhöhen die Aussagekraft über Erfolgsquoten der Wurzelkanalbehandlungen.

Auch die Funktionalität spielt in der Praxis eine wichtige Rolle. Zähne können trotz bestehender röntgenologischer periapikaler Veränderung beschwerdefrei und damit funktional betrachtet als erfolgreich eingestuft werden.

Bei der Auswertung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom Geschlecht ergab sich eine etwas höhere Erfolgsquote bei den weiblichen Patienten (80% in Gruppe 1, 88% in Gruppe 2) als bei den männlichen Patienten (73% in Gruppe 1, 77% in Gruppe 2). Dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant. Es konnte keine Altersabhängigkeit ermittelt werden. Die Verteilung war in beiden Gruppen sehr ausgeglichen. In der mittleren Altersgruppe von 40-69 Jahren konnten leicht höhere Erfolgsquoten festgestellt werden. Dies spiegelt wider, dass der entscheidende Faktor für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung die Durchführung unter der Berücksichtigung des allgemein anerkannten fachlichen Standards ist. Betrachtet man die Erfolgsrate in Abhängigkeit von der Art der Behandlung, so fällt auf, dass der ermittelte Behandlungserfolg für eine Revisionsbehandlung mit dem in der Literatur angegeben 70-85% vergleichbar ist [1]. In Gruppe 1 lag der Behandlungserfolg einer Revision bei 85% und in Gruppe 2 etwas niedriger, bei 73%. Die Erfolgsrate der Initialbehandlung in der Gruppe, in der nicht mit EDTA und PUI gespült wurde (73%), fiel deutlich geringer aus als in der Gruppe, in der die Behandlung unter Verwendung von EDTA und PUI stattfand (84%). Jedoch konnte auch hier kein signifikanter Unterschied ermittelt werden. Beim Vergleich der Erfolgsraten der behandelten Kiefer konnte in Gruppe 2 kein Unterschied festgestellt werden. In Gruppe 1 waren mit 81% Behandlungen im Oberkiefer etwas erfolgreicher als im Unterkiefer. Die niedrigste Erfolgsrate wiesen in Gruppe 1 die Unterkiefermolaren auf (57%). Dies könnte an der schwierigeren Erreichbarkeit oder komplizierteren Wurzelkanalanatomie liegen. Die Behandlung an Unterkieferfrontzähne war mit 100% in Gruppe 1 am erfolgreichsten. Es konnte keine signifikante Abhängigkeit festgestellt werden.

Obwohl bei der Auswertung tendenziell höhere Erfolgsraten für Spülprotokoll 2 festgestellt werden konnten, war der Unterschied zum Spülprotokoll 1 nicht signifikant. Die positive Wirkung der passiven Ultraschallaktivierung und die Verwendung von EDTA auf die Kanalreinigung und die Entfernung des smear layers, vor allem in den schwer zugänglichen Bereichen des Wurzelkanalsystems, konnten in zahlreichen *in vitro* Versuchen nachgewiesen werden. Infolgedessen sind die Verwendung von EDTA und die Anwendung der passiven Ultraschallaktivierung weiterhin zu empfehlen. Fehlende *in vivo* Untersuchungen und die vorliegenden Ergebnisse lassen vermuten, dass die Verwendung von EDTA und PUI von begrenztem Nutzen sind. Zu berücksichtigen sind die zahlreichen Faktoren, die den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung beeinflussen können. Dazu gehören neben der unterschiedlichen klinischen Ausgangssituation (z.B. akute Pulpitis, Gangrän, Erstbehandlung oder Revision) unter anderem auch die Lage des Zahnes im Kiefer, die Erfahrung und technische Ausstattung des Behandlers sowie die Compliance des Patienten. Da aufwendige Spülprotokolle sehr kosten- und zeitintensiv sind, muss deren Effizienz kritisch hinterfragt werden. Wenn die gewonnenen Ergebnisse durch weitere prospektive klinische Studien bestätigt werden würden, könnten möglicherweise in der Zukunft Kosten, Zeit und Material gespart werden.

## **8 Schlussfolgerung**

Die Hypothese konnte nicht bestätigt werden. Obwohl der erlangte Behandlungserfolg unter Verwendung von EDTA und PUI größer war, konnte kein signifikanter Unterschied zur alleinigen Spülung mit NaOCl nachgewiesen werden. Allein den Behandlungserfolg betreffend ist das Spülprotokoll 2 dem Spülprotokoll 1 somit nicht überlegen, zumindest nicht innerhalb des begrenzten Nachuntersuchungszeitraums.

## 9 Literaturverzeichnis

1. Weiger R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab W, Schäfer E, Hickel R. Zur Prognose der Wurzelkanalbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z, 2000. 56:1-4.
2. Klimm W. Endodontologie. 2011, Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag: S. 8-10, 34-37, 115-122.
3. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. Scand J Dent Res, 1981. 89(4): p. 321-8.
4. Clark-Holke D, Drake D, Walton R, Rivera E, Guthmiller JM. Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. J Dent, 2003. 31(4): p. 275-81.
5. Aktener BO, Bilkay U. Smear layer removal with different concentrations of EDTA-ethylenediamine mixtures. J Endod, 1993. 19(5): p. 228-31.
6. Cheung GS, Stock CJ. In vitro cleaning ability of root canal irrigants with and without endosonics. Int Endod J, 1993. 26(6): p. 334-43.
7. Hellwig E, Klimek J, Attin T. Einführung in die Zahnerhaltung. 2009, Köln: Deutscher Zahnärzte Verlag: S. 319-336, 351-359.
8. Hess W. Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apicale. Habilitationsschrift. 1917, Zürich.
9. Wolf HF, Baumann MA, Beer R. Farbatlant der Zahnmedizin. Endodontologie. 2007, Stuttgart: Thieme: S. 43.
10. Arnold M. Anatomie sowie mögliche Formen und Variationen von Wurzelkanalsystemen bleibender Zähne. Quintessenz, 2011. 62(10): p. 000-000.
11. Marroquin BB, El-Sayed MA, Willershausen-Zonnchen B. Morphology of the physiological foramen: I. Maxillary and mandibular molars. J Endod, 2004. 30(5): p. 321-8.
12. Hülsmann M, Schäfer E. "Good clinical practice": Die Wurzelkanalbehandlung. Stellungnahme der DGZMK/DGZ, 2007. 1.b.

13. Endodontology, E.S.o. Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung: Konsensuspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie. Jahrbuch Endodontie. 2014.
14. Schäfer E, Hickel R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Rabb W. Wurzelkanalaufbereitungen. Stellungnahme der DGZMK/DGZ, 2000. 1.0.
15. Yu DC, Tam A, Schilder H. Patency and envelope of motion--two essential procedures for cleaning and shaping the root canal systems. *Gen Dent*, 2009. 57(6): p. 616-21.
16. Yu DC, Schilder H. Cleaning and shaping the apical third of a root canal system. *Gen Dent*, 2001. 49(3): p. 266-70.
17. Ahmad IA. Rubber dam usage for endodontic treatment: a review. *Int Endod J*, 2009. 42(11): p. 963-72.
18. Lin PY, Huang SH, Chang HJ, Chi LY. The effect of rubber dam usage on the survival rate of teeth receiving initial root canal treatment: a nationwide population-based study. *J Endod*, 2014. 40(11): p. 1733-7.
19. Hülsmann M, Gressmann G, Schafers F. 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.
20. Walton RE. Current concepts of canal preparation. *Dent Clin North Am*, 1992. 36(2): p. 309-26.
21. Weine FS, Kelly FS, Lio PJ. The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod*, 1975. 1(8): p. 255-62.
22. Plotino G, Grande NM, Tocci L, Testarelli L, Gambarini G. Influence of Different Apical Preparations on Root Canal Cleanliness in Human Molars: a SEM Study. *J Oral Maxillofac Res*, 2014. 5(2): p. e4.
23. Rollison S, Barnett F, Stevens RH. Efficacy of bacterial removal from instrumented root canals in vitro related to instrumentation technique and size. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2002. 94(3): p. 366-71.
24. Petschelt A. Endodontics: mechanical or manual methods? Preparation and cleaning of root canals. *Dtsch Zahnärztl Z*, 1989. 44(6): p. 407-13.

25. Schafer E, Diez C, Hoppe W, Tepel J. Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod*, 2002. 28(3): p. 211-6.
26. Schafer E, Lohmann D. Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J*, 2002. 35(6): p. 505-13.
27. Pashley DH. Smear layer: overview of structure and function. *Proc Finn Dent Soc*, 1992. 88 Suppl 1: p. 215-24.
28. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD. Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod*, 1984. 10(10): p. 477-83.
29. Sen BH, Wesselink PR, Turkun M. The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J*, 1995. 28(3): p. 141-8.
30. Kokkas AB, Boutsoukias ACh, Vassiliadis LP, Stavrianos CK. The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod*, 2004. 30(2): p. 100-2.
31. Love RM. *Enterococcus faecalis*--a mechanism for its role in endodontic failure. *Int Endod J*, 2001. 34(5): p. 399-405.
32. Peters LB, Wesselink PR, Buijs JF, van Winkelhoff AJ. Viable bacteria in root dentinal tubules of teeth with apical periodontitis. *J Endod*, 2001. 27(2): p. 76-81.
33. Siren EK, Haapasalo MP, Ranta K, Salmi P, Kerosuo EN. Microbiological findings and clinical treatment procedures in endodontic cases selected for microbiological investigation. *Int Endod J*, 1997. 30(2): p. 91-5.
34. Hülsmann M. Die Desinfektion des endodontischen Systems. *Endodontie*, 2006. 15(2): p. 147-168.
35. Coolidge E. The diagnosis and treatment of conditions resulting from diseased dental pulps. *J Am Dent Assoc*, 1919. 6: p. 337-349.
36. Harrison JW, Hand RE. The effect of dilution and organic matter on the anti-bacterial property of 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod*, 1981. 7(3): p. 128-32.
37. Ferguson JW, Hatton JF, Gillespie MJ. Effectiveness of intracanal irrigants and medications against the yeast *Candida albicans*. *J Endod*, 2002. 28(2): p. 68-71.

38. Portenier I, Waltimo T, Orstavik D, Haapasalo M. The susceptibility of starved, stationary phase, and growing cells of *Enterococcus faecalis* to endodontic medicaments. *J Endod*, 2005. 31(5): p. 380-6.
39. Bloomfield SF, Arthur M. Interaction of *Bacillus subtilis* spores with sodium hypochlorite, sodium dichloroisocyanurate and chloramine-T. *J Appl Bacteriol*, 1992. 72(2): p. 166-72.
40. Gomes BP, Ferraz CC, Vianna ME, Berber VB, Teixeira FB, Souza-Filho FJ. In vitro antimicrobial activity of several concentrations of sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate in the elimination of *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J*, 2001. 34(6): p. 424-8.
41. Siqueira JF Jr, Rocas IN, Favieri A, Lima KC. Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod*, 2000. 26(6): p. 331-4.
42. Bystrom A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1983. 55(3): p. 307-12.
43. Bystrom A, Sundqvist G. The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J*, 1985. 18(1): p. 35-40.
44. Svec TA, Harrison JW. Chemomechanical removal of pulpal and dentinal debris with sodium hypochlorite and hydrogen peroxide vs normal saline solution. *J Endod*, 1977. 3(2): p. 49-53.
45. Naenni N, Thoma K, Zehnder M. Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod*, 2004. 30(11): p. 785-7.
46. Rosenfeld EF, James GA, Burch BS. Vital pulp tissue response to sodium hypochlorite. *J Endod*, 1978. 4(5): p. 140-6.
47. Hand RE, Smith ML, Harrison JW. Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *J Endod*, 1978. 4(2): p. 60-4.
48. Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM. In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. *Endod Dent Traumatol*, 1992. 8(3): p. 104-8.



49. Zehnder M, Kosicki D, Luder H, Sener B, Waltimo T. Tissue-dissolving capacity and antibacterial effect of buffered and unbuffered hypochlorite solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2002. 94(6): p. 756-62.
50. Torabinejad M, Khademi AA, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S. A new solution for the removal of the smear layer. *J Endod*, 2003. 29(3): p. 170-5.
51. Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK. Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2002. 94(6): p. 658-66.
52. Buck R, Eleazer PD, Staat RH. In vitro disinfection of dentinal tubules by various endodontics irrigants. *J Endod*, 1999. 25(12): p. 786-8.
53. Ayhan H, Sultan N, Cirak M, Ruhi MZ, Bodur H. Antimicrobial effects of various endodontic irrigants on selected microorganisms. *Int Endod J*, 1999. 32(2): p. 99-102.
54. Vahdaty A, Pitt Ford TR, Wilson RF. Efficacy of chlorhexidine in disinfecting dentinal tubules in vitro. *Endod Dent Traumatol*, 1993. 9(6): p. 243-8.
55. Spangberg L, Engstrom B, Langeland K. Biologic effects of dental materials. 3. Toxicity and antimicrobial effect of endodontic antiseptics in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1973. 36(6): p. 856-71.
56. Bajrami D, Hoxha V, Gorduysus O, Muftuoglu S, Zeybek ND, Küçükkaya S. Cytotoxic effect of endodontic irrigants in vitro. *Med Sci Monit Basic Res*, 2014. 20: p. 22-6.
57. Pashley EL, Birdsong NL, Bowman K, Pashley DH. Cytotoxic effects of NaOCl on vital tissue. *J Endod*, 1985. 11(12): p. 525-8.
58. Hülsmann M, Hahn W. Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *Int Endod J*, 2000. 33(3): p. 186-93.
59. Brown DC, Moore BK, Brown CE Jr, Newton CE. An in vitro study of apical extrusion of sodium hypochlorite during endodontic canal preparation. *J Endod*, 1995. 21(12): p. 587-91.
60. Cymbler DM, Ardakani P. Sodium hypochlorite injection into periapical tissues. *Dent Update*, 1994. 21(8): p. 345-6.

61. Baumgartner JC, Cuenin PR. Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod*, 1992. 18(12): p. 605-12.
62. Bergenholtz G, Spangberg L. Controversies in Endodontics. *Crit Rev Oral Biol Med*, 2004. 15(2): p. 99-114.
63. Safavi K, Spangberg LSW. Chlorhexidin in der Endodontie. *Endodontie*, 2006. 15(2): p. 171-176.
64. McDonnell G, Russell AD. Antiseptics and disinfectants: activity, action, and resistance. *Clin Microbiol Rev*, 1999. 12(1): p. 147-79.
65. Tanomaru Filho M, Leonardo MR, Silva LA, Anibal FF, Faccioli LH. Inflammatory response to different endodontic irrigating solutions. *Int Endod J*, 2002. 35(9): p. 735-9.
66. Yesilsoy C, Whitaker E, Cleveland D, Phillips E, Trope M. Antimicrobial and toxic effects of established and potential root canal irrigants. *J Endod*, 1995. 21(10): p. 513-5.
67. Jeansonne MJ, White RR. A comparison of 2.0% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite as antimicrobial endodontic irrigants. *J Endod*, 1994. 20(6): p. 276-8.
68. Ercan E, Ozekinci T, Atakul F, Gül K. Antibacterial activity of 2% chlorhexidine gluconate and 5.25% sodium hypochlorite in infected root canal: in vivo study. *J Endod*, 2004. 30(2): p. 84-7.
69. Basrani B, Tjäderhane L, Santos JM, Pascon E, Grad H, Lawrence HP, Friedman S. Efficacy of chlorhexidine- and calcium hydroxide-containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2003. 96(5): p. 618-24.
70. White RR, Hays GL, Janer LR. Residual antimicrobial activity after canal irrigation with chlorhexidine. *J Endod*, 1997. 23(4): p. 229-31.
71. Mohammadi Z, Abbott PV. Antimicrobial substantivity of root canal irrigants and medicaments: a review. *Aust Endod J*, 2009. 35(3): p. 131-9.
72. Rosenthal S, Spangberg L, Safavi K. Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2004. 98(4): p. 488-92.

73. Yamashita JC, Tanomaru Filho M, Leonardo MR, Rossi MA, Silva LA. Scanning electron microscopic study of the cleaning ability of chlorhexidine as a root-canal irrigant. *Int Endod J*, 2003. 36(6): p. 391-4.
74. Okino LA, Siqueira EL, Santos M, Bombana AC, Figueiredo JA. Dissolution of pulp tissue by aqueous solution of chlorhexidine digluconate and chlorhexidine digluconate gel. *Int Endod J*, 2004. 37(1): p. 38-41.
75. Portenier I, Haapasalo H, Orstavik D, Yamauchi M, Haapasalo M. Inactivation of the antibacterial activity of iodine potassium iodide and chlorhexidine digluconate against *Enterococcus faecalis* by dentin, dentin matrix, type-I collagen, and heat-killed microbial whole cells. *J Endod*, 2002. 28(9): p. 634-7.
76. Haapasalo HK, Sirén EK, Waltimo TM, Orstavik D, Haapasalo MP. Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. *Int Endod J*, 2000. 33(2): p. 126-31.
77. Johal S, Baumgartner JC, Marshall JG. Comparison of the antimicrobial efficacy of 1.3% NaOCl/BioPure MTAD to 5.25% NaOCl/15% EDTA for root canal irrigation. *J Endod*, 2007. 33(1): p. 48-51.
78. Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K. A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J*, 1999. 32(1): p. 32-9.
79. Scelza MF, Antoniazzi JH, Scelza P. Efficacy of final irrigation--a scanning electron microscopic evaluation. *J Endod*, 2000. 26(6): p. 355-8.
80. Serper A, Calt S. The demineralizing effects of EDTA at different concentrations and pH. *J Endod*, 2002. 28(7): p. 501-2.
81. Lim TS, Wee TY, Choi MY, Koh WC, Sae-Lim V. Light and scanning electron microscopic evaluation of Glyde File Prep in smear layer removal. *Int Endod J*, 2003. 36(5): p. 336-43.
82. Hottel TL, el-Refai NY, Jones JJ. A comparison of the effects of three chelating agents on the root canals of extracted human teeth. *J Endod*, 1999. 25(11): p. 716-7.
83. Sousa SM, Silva TL. Demineralization effect of EDTA, EGTA, CDTA and citric acid on root dentin: a comparative study. *Braz Oral Res*, 2005. 19(3): p. 188-92.

84. Blomlof J, Blomlof L, Lindskog S. Effect of different concentrations of EDTA on smear removal and collagen exposure in periodontitis-affected root surfaces. *J Clin Periodontol*, 1997. 24(8): p. 534-7.
85. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod*, 2002. 28(1): p. 17-9.
86. Crumpton BJ, Goodell GG, McClanahan SB. Effects on smear layer and debris removal with varying volumes of 17% REDTA after rotary instrumentation. *J Endod*, 2005. 31(7): p. 536-8.
87. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A. Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *Int Endod J*, 2003. 36(12): p. 810-30.
88. Scelza MF, Teixeira AM, Scelza P. Decalcifying effect of EDTA-T, 10% citric acid, and 17% EDTA on root canal dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*, 2003. 95(2): p. 234-6.
89. Gonzalez-Lopez S, Camejo-Aguilar D, Sanchez-Sanchez P, Bolanos-Carmona V. Effect of CHX on the decalcifying effect of 10% citric acid, 20% citric acid, or 17% EDTA. *J Endod*, 2006. 32(8): p. 781-4.
90. Machado-Silveiro LF, Gonzalez-Lopez S, Gonzalez-Rodriguez MP. Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J*, 2004. 37(6): p. 365-9.
91. Ahir B, Parekh V, Katyayan MK, Katyayan PA. Smear layer removal efficacy of different irrigating solutions: a comparative scanning electron microscope evaluation. *Indian J Dent Res*, 2014. 25(5): p. 617-22.
92. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M. Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J*, 2003. 36(6): p. 411-7.
93. Baumgartner JC, Ibay AC. The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *J Endod*, 1987. 13(2): p. 47-51.
94. Rasimick BJ, Nekich M, Hladek MM, Musikant BL, Deutsch AS. Interaction between chlorhexidine digluconate and EDTA. *J Endod*, 2008. 34(12): p. 1521-3.

95. Krishnamurthy S, Sudhakaran S. Evaluation and prevention of the precipitate formed on interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine. *J Endod*, 2010. 36(7): p. 1154-7.
96. Rossi-Fedele G, Dogramaci EJ, Guastalli AR, Steier L, de Figueiredo JA. Antagonistic interactions between sodium hypochlorite, chlorhexidine, EDTA, and citric acid. *J Endod*, 2012. 38(4): p. 426-31.
97. Homayouni H, Majd NM, Zohrehei H, Mosavari B, Adel M, Dajmar R, Homayouni A. The Effect of Root Canal Irrigation with Combination of Sodium Hypo-chlorite and Chlorhexidine Gluconate on the Sealing Ability of Obturation Materials. *Open Dent J*, 2014. 8: p. 184-7.
98. Mortenson D, Sadilek M, Flake NM, Paranjpe A, Heling I, Johnson JD, Cohenca N. The effect of using an alternative irrigant between sodium hypochlorite and chlorhexidine to prevent the formation of para-chloroaniline within the root canal system. *Int Endod J*, 2012. 45(9): p. 878-82.
99. Kuruvilla JR, Kamath MP. Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *J Endod*, 1998. 24(7): p. 472-6.
100. Stuart CH, Schwartz SA, Beeson TJ, Owatz CB. *Enterococcus faecalis*: its role in root canal treatment failure and current concepts in retreatment. *J Endod*, 2006. 32(2): p. 93-8.
101. Petschelt A, Dobler J. High volume vs. activated root canal irrigation. *Dtsch Zahnarztl Z*, 1991. 46(4): p. 285-7.
102. Baker NA, Eleazer PD, Averbach RE, Seltzer S. Scanning electron microscopic study of the efficacy of various irrigating solutions. *J Endod*, 1975. 1(4): p. 127-35.
103. van der Sluis LW, Gambarini G, Wu MK, Wesselink PR. The influence of volume, type of irrigant and flushing method on removing artificially placed dentine debris from the apical root canal during passive ultrasonic irrigation. *Int Endod J*, 2006. 39(6): p. 472-6.
104. Hasselgren G, Olsson B, Cvek M. Effects of calcium hydroxide and sodium hypochlorite on the dissolution of necrotic porcine muscle tissue. *J Endod*, 1988. 14(3): p. 125-7.

105. Spratt DA, Pratten J, Wilson M, Gulabivala K. An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilms of root canal isolates. *Int Endod J*, 2001. 34(4): p. 300-7.
106. Radcliffe CE, Potouridou L, Qureshi R, Habahbeh N, Qualtrough A, Worthington H, Drucker DB. Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J*, 2004. 37(7): p. 438-46.
107. Cunningham WT, Joseph SW. Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1980. 50(6): p. 569-71.
108. Abou-Rass M, Oglesby SW. The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite. *J Endod*, 1981. 7(8): p. 376-7.
109. Cunningham WT, Balekjian AY. Effect of temperature on collagen-dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1980. 49(2): p. 175-7.
110. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M. The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. *J Endod*, 2005. 31(9): p. 669-71.
111. Baugh D, Wallace J. The role of apical instrumentation in root canal treatment: a review of the literature. *J Endod*, 2005. 31(5): p. 333-40.
112. Akhlaghi NM, Dadresanfar B, Darmiani S, Moshari A. Effect of master apical file size and taper on irrigation and cleaning of the apical third of curved canals. *J Dent (Tehran)*, 2014. 11(2): p. 188-95.
113. de Gregorio C, Arias A, Navarrete N, Del Rio V, Oltra E, Cohenca N. Effect of apical size and taper on volume of irrigant delivered at working length with apical negative pressure at different root curvatures. *J Endod*, 2013. 39(1): p. 119-24.
114. Brunson M, Heilborn C, Johnson DJ, Cohenca N. Effect of apical preparation size and preparation taper on irrigant volume delivered by using negative pressure irrigation system. *J Endod*, 2010. 36(4): p. 721-4.
115. Chow TW. Mechanical effectiveness of root canal irrigation. *J Endod*, 1983. 9(11): p. 475-9.

116. Kahn FH, Rosenberg PA, Gliksberg J. An in vitro evaluation of the irrigating characteristics of ultrasonic and subsonic handpieces and irrigating needles and probes. *J Endod*, 1995. 21(5): p. 277-80.
117. Sedgley CM, Nagel AC, Hall D, Applegate B. Influence of irrigant needle depth in removing bioluminescent bacteria inoculated into instrumented root canals using real-time imaging in vitro. *Int Endod J*, 2005. 38(2): p. 97-104.
118. Goldman LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS. The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: a scanning electron microscopic study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1981. 52(2): p. 197-204.
119. Vinothkumar TS, Kavitha S, Lakshminarayanan L, Gomathi NS, Kumar V. Influence of irrigating needle-tip designs in removing bacteria inoculated into instrumented root canals measured using single-tube luminometer. *J Endod*, 2007. 33(6): p. 746-8.
120. Abou-Rass M, Piccinino MV. The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1982. 54(3): p. 323-8.
121. Vivan RR, Bortolo MV, Duarte MA, Moraes IG, Tanomaru-Filho M, Bramante CM. Scanning electron microscopy analysis of RinsEndo system and conventional irrigation for debris removal. *Braz Dent J*, 2010. 21(4): p. 305-9.
122. Hauser V, Braun A, Frentzen M. Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system (RinsEndo). *Int Endod J*, 2007. 40(8): p. 644-52.
123. Weller RN, Brady JM, Bernier WE. Efficacy of ultrasonic cleaning. *J Endod*, 1980. 6(9): p. 740-3.
124. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR. Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J*, 2007. 40(6): p. 415-26.
125. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW. A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod*, 2003. 29(10): p. 674-8.
126. Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW. Cleaning of oval canals using ultrasonic or sonic instrumentation. *J Endod*, 1993. 19(9): p. 453-7.

127. Roy RA, Ahmad M, Crum LA. Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *Int Endod J*, 1994. 27(4): p. 197-207.
128. Lee SJ, Wu MK, Wesselink PR. The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonics to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J*, 2004. 37(10): p. 672-8.
129. Gutarts R, Nusstein J, Reader A, Beck M. In vivo debridement efficacy of ultrasonic irrigation following hand-rotary instrumentation in human mandibular molars. *J Endod*, 2005. 31(3): p. 166-70.
130. Archer R, Reader A, Nist R, Beck M, Meyers WJ. An in vivo evaluation of the efficacy of ultrasound after step-back preparation in mandibular molars. *J Endod*, 1992. 18(11): p. 549-52.
131. Lumley PJ, Walmsley AD, Walton RE, Rippin JW. Effect of precurving endosonic files on the amount of debris and smear layer remaining in curved root canals. *J Endod*, 1992. 18(12): p. 616-9.
132. de Gregorio C, Estevez R, Cisneros R, Paranjpe A, Cohenca N. Efficacy of different irrigation and activation systems on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals and up to working length: an in vitro study. *J Endod*, 2010. 36(7): p. 1216-21.
133. Ahmad M, Pitt Ford TR, Crum LA, Wilson RF. Effectiveness of ultrasonic files in the disruption of root canal bacteria. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1990. 70(3): p. 328-32.
134. Ahmad M. Measurements of temperature generated by ultrasonic file in vitro. *Endod Dent Traumatol*, 1990. 6(5): p. 230-1.
135. van der Sluis LW, Shemesh H, Wu MK, Wesselink PR. An evaluation of the influence of passive ultrasonic irrigation on the seal of root canal fillings. *Int Endod J*, 2007. 40(5): p. 356-61.
136. Cameron JA. The use of ultrasonics in the removal of the smear layer: a scanning electron microscope study. *J Endod*, 1983. 9(7): p. 289-92.
137. Reit C, Hollender L. Radiographic evaluation of endodontic therapy and the influence of observer variation. *Scand J Dent Res*, 1983. 91(3): p. 205-12.



- 
138. Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. *Endod Dent Traumatol*, 1986. 2(1): p. 20-34.
139. 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.
140. KZBV. Statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung 2014.
141. GKV-Spitzenverband. Kennzahlen der gesetzlichen Krankenversicherung. Juni 2015, Berlin.
142. Calt S, Serper A. Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. *J Endod*, 1999. 25(6): p. 431-3.
143. Margelos J, Eliades G, Verdelis C, Palaghias G. Interaction of calcium hydroxide with zinc oxide-eugenol type sealers: a potential clinical problem. *J Endod*, 1997. 23(1): p. 43-8.
144. Zeppenfeld W. Wurzelkanalspülung neu gedacht. *zwp spezial*, 2015. 2015(12): p. 22-24.
145. Statistisches Bundesamt. Destatis. [Zugriff vom 03.01.2016]; Available from: <https://www.destatis.de/DE/Startseite.html>.
146. Bundeszahnärztekammer. Daten & Fakten. 2014; Available from: <http://www.bzaek.de/wir-ueber-uns/daten-und-zahlen.html>.
147. Hülsmann M, Weiger R. Revision einer Wurzelkanalbehandlung. *Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK/DGZ*, 2004. 3.0.
148. Hamood E. The evaluation of success and failure of endodontic treatments. *Aust Endod J*, 2001. 27(2): p. 80-4.
149. Bender IB, Seltzer S, Soltanoff W. Endodontic success--a reappraisal of criteria. 1. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1966. 22(6): p. 780-9.
150. Bender IB, Seltzer S, Soltanoff W. Endodontic success--a reappraisal of criteria. II. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*, 1966. 22(6): p. 790-802.
151. Abbott PV. Recognition and prevention of failures in clinical dentistry. *Endodontics. Ann R Australas Coll Dent Surg*, 1991. 11: p. 150-66.

# 10 Anhang

## 10.1 Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
CHX	Chlorhexidindigluconat
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
E. faecalis	Enterococcus faecalis
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
ESE	European Society of Endodontology
et al.	(lat.: et alii) und andere
FF	(engl.: Final File) Finalfeile
GKV	Gesetzliche Krankenversicherung
H	Hedström
HOCl	Hypochlorige Säure
IAF	(engl.: Initial Apical File) Initialfeile
ID	Identifikationsnummer
ISO	(engl.: International Organization for Standardization) Internationale Organisation für Normung
K	Kerr
kHz	Kilohertz
kV	Kilovolt
m	männlich
MAF	(engl.: Master Apical File) Masterfeile
ml	Milliliter
mm	Millimeter
Mrd.	Milliarde
n	Anzahl
NaCl	Natriumchlorid
NaOCl	Natriumhypochlorit
OK	Oberkiefer
p	Signifikanzniveau
PA-Spalt	Parodontalspalt
PAI	Periapikaler Index

PUI	(engl.: Passive Ultrasonic Irrigation) passive Ultraschallaktivierung
REM	Rasterelektronenmikroskop
s	Sekunde
Tab.	Tabelle
u.a.	unter anderem
UK	Unterkiefer
w	weiblich
z.B.	zum Beispiel
$\mu$ -Ct	Mikro-Computertomographie
$\mu$ m	Mikrometer
%	Prozent
°C	Grad Celsius
>	Größer-Zeichen
<	Kleiner-Zeichen
$\leq$	Kleiner-Gleich-Zeichen
=	Gleich-Zeichen

## 10.2 Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Aufbau des Zahnes. Abbildung entnommen aus: Lehmann KM, Hellwig E. Wenz H-J. Zahnärztliche Propädeutik. Deutscher Zahnärzte Verlag Köln , 2011, S.15.
- Abb. 2: Darstellung der Wurzelkanalkonfiguration von 48 Unterkiefer Molaren (mesiale Wurzel) mittels Mikro-CT. Abbildung entnommen aus: <http://rootcanalanatomy.blogspot.de/search/label/MandibularFirstMolar>, entnommen am 22.02.2016.
- Abb. 3: Wurzelkanalkonfiguration. Abbildung entnommen aus: <http://www.endopracticeus.com/ce-articles/treatment-of-mandibular-first-molars-with-five-root-canals/>; entnommen am 22.02.2016.
- Abb. 4: Strukturformel Chlorhexidindigluconat. Abbildung entnommen aus: de Vasconcelos BC, Luna-Cruz SM, De-Deus G, de Moraes IG, Maniglia-Ferreira C, Gurgel-Filho ED. Cleaning ability of chlorhexidine gel and sodium hypochlorite associated or not with EDTA as root canal irrigants: a scanning electron microscopy study. J Appl Oral Sci, 2007. 15(5): p. 387-91.
- Abb. 5: REM Aufnahme Dentintubuli, A: Kanalwand frei von Debris und smear layer, offene Tubuli, B/C: dünne Schmierschicht, etwas Debris, Tubuli offen, D: Kanalwand mit smear layer und Debris, Tubuli verschlossen, E/F: dicke Schmierschicht mit Debris, wenig offene Tubuli. Abbildung entnommen aus: de Vasconcelos BC, Luna-Cruz SM, De-Deus G, de Moraes IG, Maniglia-Ferreira C, Gurgel-Filho ED. *Cleaning ability of chlorhexidine gel and sodium hypochlorite associated or not with EDTA as root canal irrigants: a scanning electron microscopy study.* J Appl Oral Sci, 2007. 15(5): p. 387-91.
- Abb. 6: Dokumentationsbogen Endodontie - Auszug
- Abb. 7: Spülprotokoll für die Erst- und Revisionsbehandlung
- Abb. 8: Überblick über das Studiendesign
- Abb. 9: Periapikaler Index. Abbildung entnommen aus: Orstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. The periapical index: a scoring system for radiographic assessment of apical periodontitis. Endod Dent Traumatol, 1986. 2(1): p. 20-34.
- Abb. 10: Zahn 11, a) unauffällige periapikale Strukturen (Grad 1), zum Zeitpunkt der Masterpointaufnahme, b) unauffällige periapikale Strukturen (Grad 1), zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme

- Abb. 11: Zahn 46 (unvollständige Heilung), a) periapikaler Osteolyse zum Zeitpunkt der Wurzelfüllung (Grad 4), b) Verkleinerung der periapikalen Veränderung zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme (Grad 4)
- Abb. 12: Zahn 34 (vollständige Heilung), a) periapikale Osteolyse zum Zeitpunkt der Masterpointaufnahme (Grad 4), b) unauffällige periapikale Verhältnisse zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme (Grad 1)
- Abb. 13: Zahn 43 (Misserfolg), a) periapikale Veränderung zum Zeitpunkt der Röntgenmessaufnahme (Grad 4), b) Vergrößerung der periapikalen Osteolyse zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme (Grad 4)
- Abb. 14: Zahn 35 (unvollständige Heilung), a) periapikale Veränderung zum Zeitpunkt der Masterpointaufnahme (Grad 4), b) Verkleinerung der periapikalen Veränderung zum Zeitpunkt der Recall-Röntgenaufnahme (Grad 4)
- Abb. 15: Zahnverteilung der untersuchten Zähne nach Geschlecht (n=199), a) Gesamtkollektiv (n=199), b) Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), c) Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)
- Abb. 16: Gesamtpatientenkollektiv, dargestellt nach Altersgruppen, aufgeteilt in Gruppen (n=199), Gruppe 1: Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), Gruppe 2: Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)
- Abb. 17: Zahnverteilung der untersuchten Zähne nach Art der Behandlung (n=199), a) Gesamtkollektiv (n=199), b) Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), c) Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)
- Abb. 18: Zahnverteilung der untersuchten Zähne nach Ober- und Unterkiefer (n=199), a) Gesamtkollektiv (n=199), b) Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), c) Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)
- Abb. 19: Gruppe 1 (n=106) mit Darstellung der untersuchten Zähne nach Zahngruppen
- Abb. 20: Gruppe 2 (n=93) mit Darstellung der untersuchten Zähne nach Zahngruppen
- Abb. 21: Darstellung des Initialbefundes, aufgeteilt in Gruppen (n=199), Gruppe 1: Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), Gruppe 2: Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)
- Abb. 22: Darstellung der Röntgenbefunde der Recall-Röntgenaufnahmen, aufgeteilt in Gruppen (n=199), Gruppe 1: Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), Gruppe 2: Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)

- Abb. 23: Darstellung der Veränderung des Röntgenbefundes, aufgeteilt in Gruppen (n=199), Gruppe 1: Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=106), Gruppe 2: Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=93)
- Abb. 24: Darstellung des Behandlungserfolges in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)
- Abb. 25: Darstellung des Misserfolges in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)
- Abb. 26: Darstellung des Behandlungserfolges in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)
- Abb. 27: Darstellung des Misserfolges in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)
- Abb. 28: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom Geschlecht in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)
- Abb. 29: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom Geschlecht in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)
- Abb. 30: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom Alter in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99) und Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)
- Abb. 31: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit von der Behandlungsart in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)
- Abb. 32: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit von der Behandlungsart in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)
- Abb. 33: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom behandelten Kiefer in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)
- Abb. 34: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit vom behandelten Kiefer in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)
- Abb. 35: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit von den behandelten Zahngruppen in Gruppe 1, Spülprotokoll ohne EDTA/PUI (n=99)
- Abb. 36: Darstellung des Behandlungserfolges in Abhängigkeit von den behandelten Zahngruppen in Gruppe 2, Spülprotokoll mit EDTA/PUI (n=92)

### **10.3 Tabellenverzeichnis**

**Tabelle 1:** Übersicht Behandlungserfolg/ Misserfolg

**Tabelle 2:** Übersicht der Untersuchungsergebnisse

## 11 Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Katja Sommer, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Retrospektive Analyse endodontischer Kasuistiken im Bezug auf die chemo-mechanische Wurzelkanalaufbereitung“ 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](http://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

## **12 Lebenslauf**

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



## **13 Danksagung**

Ich möchte mich herzlich bei allen Personen bedanken, die mich auf unterschiedliche Weise unterstützt und damit zur Promotion beigetragen haben.

Mein besonderer Dank für die gute Zusammenarbeit und die Vergabe des interessanten Themas geht an Frau Priv.- Doz. Dr. Saskia Preißner. Ihre kontinuierliche Betreuung, stetige Motivation und Geduld haben wesentlich zur Realisierung dieser Dissertation beigetragen.

Mein weiterer Dank gilt Dr. Eckehard Kostka, der mir des Öfteren hilfreiche Anregungen und Anmerkungen zur fachlichen Umsetzung gegeben hat.

Ich bedanke mich bei meinem Ehemann Robert Wenk, der viel Geduld mit mir hatte und der mir durch sein fundiertes Fachwissen, besonders bei der Formgebung meiner Promotion, eine große Hilfe war.

Ich möchte meiner Familie danken, meinem Vater Detlef Sommer und meiner Schwester Madlen Sommer, die mich auf meinem bisherigen Lebensweg immer unterstützt haben.

Ich widme meine Dissertation meinen Großeltern, ohne die das Studium der Zahnmedizin nicht möglich gewesen wäre und die mir stets in allen Lebenssituationen zur Seite stehen.