

AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND-
UND KIEFERHEILKUNDE

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. U. Lotzmann

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum
Gießen und Marburg GmbH, Standort Marburg

**Zur Qualität der Applikation von Wurzelkanalmedikationen in
Gelform und als Paste in Abhängigkeit von der
Aufbereitungsgröße**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Medizin
der Philipps-Universität Marburg
vorgelegt

von

Boris Klaus Jablonski

aus Mutlangen

Marburg 2008

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 02.12.2008

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

Dekan : Prof. Dr. Matthias Rothmund

Referent : Prof. Dr. Richard Stoll

Koreferent : Prof. Dr. Lavin Flores-de-Jacoby

Vorbemerkungen	6
1 Einleitung und Problemstellung	7
2 Literaturübersicht	8
2.1 Allgemeine Anmerkungen zu Wurzelkanalaufbereitungen u. -füllungen	8
2.2 Anatomie und Pathologie von Pulpa und Periapex	11
2.2.1 Allgemeine Anmerkungen	11
2.2.2 Pulpitis und Entzündung des Periapex	12
2.2.3 Bakterielle Besiedlung bei entzündlichen Pulpitiden	12
2.3 Grundsätzliche Vorgänge einer Wurzelkanalbehandlung	14
2.3.1 Ziel einer Wurzelkanalbehandlung	14
2.3.2 Keimreduktion durch mechanische Wurzelkanalaufbereitung	14
2.3.2.1 Manuelle Aufbereitungsmethoden	16
2.3.2.2 Maschinelle Aufbereitungsmethoden	16
2.4 Keimreduktion durch Anwendung von Spüllösungen	18
2.4.1 Eigenschaften von Spüllösungen	18
2.4.2 Spüllösungen	19
2.4.2.1 Natriumhypochlorit (NaOCl)	19
2.4.2.2 Chlorhexidin (CHX)	20
2.4.2.3 EthylenDiaminTetraAcetat (EDTA)	21
2.4.2.4 Alkohol	22
2.4.2.5 Zitronensäure	22
2.4.2.6 Wasserstoffperoxid (H ₂ O ₂)	23
2.4.2.7 Mixture, Tetracyclin, Acid, Detergent (MTAD)	23
2.5 Keimreduktion durch langfristige medikamentöse Einlagen	25
2.5.1 Allgemeine Anmerkungen	25
2.5.2 Kalziumhydroxid	25
2.5.3 CHX als medikamentöse Einlage	26
2.5.4 Kombinatiospräparate	26
2.5.5 Glutardialdehyd	28
2.5.6 Phenolderivate	28
2.5.7 Lokale Antibiotika-Kortikoid-Kombinationen	29
2.6 Wurzelkanalfüllmaterial	30
2.7 Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)	32
2.8 Problematik bei der Applikation der chemischen Komponenten	32
2.8.1 Übersicht	35
2.8.2 Applikationsformen	36

2.8.3 Applikationskanülen	33
2.9 Bisherige Methoden und Ergebnisse zur Fragestellung	35
2.9.1 Auswahl der Proben	35
2.9.2 Art der Aufbereitung	36
2.9.3 Auswahl der Spüllösungen	36
2.9.4 Auswahl der medikamentösen Einlagen	36
2.9.5 Art der Applikationsmethode	36
3 Zielsetzung	39
4 Vorversuche	40
4.1 Ziel der Vorversuche	40
4.2 Probenherstellung	40
4.3 Herstellung der Versuchsgruppen u. Applikation der Mischungen	41
4.4 Anwendungen von Kalziumhydroxid in der Kontrollgruppe	42
4.5 Herstellung der Referenz	45
4.6 Auswertung der Vorversuche	45
5 Material und Methode	45
5.1 Versuchsablauf	45
5.2 Probenherstellung	50
5.2.1 Auswahl der Zähne	50
5.2.2 Vorbereitung und Trepanation der Zähne	50
5.3 Aufbereiten der Wurzelkanäle	51
5.4 Befüllen der Wurzelkanäle	51
5.4.1 Befüllen der positiven Kontrollgruppe mit Ca(OH) ₂	51
5.4.2 Befüllen der Gruppen mit CHX+BaSo ₄ mittels Kanüle	51
5.4.3 Befüllen der Gruppen mit CHX+BaSo ₄ +BaSo ₄ mittels Kanüle	53
5.4.4 Befüllen der Gruppen mit CHX+BaSo ₄ mittels Füllspirale	53
5.5 Verblindung	53
5.6 Radiologische Beurteilung der Proben	54
6 Ergebnisse und statistische Auswertung	56
6.1 Eindringtiefe der verschiedenen Gruppen	56
6.2 Eindringtiefe der unterschiedlichen Formulierungen	58
6.3 Eindringtiefe der Formulierung in Abhängigkeit der Aufbereitungsgröße	60
6.4 Eindringtiefe in Abhängigkeit der Applikationsform	61
6.5 Homogenität der Füllung der verschiedenen Gruppen	63
6.6 Blasenbildung eingeteilt nach Schweregrad	65
6.7 Überprüfung der Arbeitshypothesen	66

6.7.1 Erste Hypothese.....	66
6.7.2 Zweite Hypothese	66
6.7.3 Dritte Hypothese	66
6.7.4 Vierte Hypothese.....	66
7 Diskussion	68
7.1.1 Auswahl der Proben.....	68
7.1.2 Bestimmung der Arbeitslänge	69
7.1.3 Spüllösungen zur Unterstützung der Wurzelkanalaufbereitung	69
7.1.4 Mechanische Wurzelkanalaufbereitung	71
7.1.5 Auswahl der medikamentösen Einlagen	72
7.1.6 Wahl der Applikationsformen	73
7.1.7 Wahl der Untersuchungsmethoden.....	75
7.1.8 Herstellung der Formulierungen.....	76
7.2 Diskussion der Ergebnisse.....	77
7.2.1 Vergleich der Kontrollgruppe mit den Prüfgruppen	77
7.2.2 Beeinflussung durch den Faktor Kanüle	77
7.2.3 Beeinflussung durch den Faktor Lentulo.....	78
7.2.4 Untersuchung auf Homogenität	79
8 Klinische Schlussfolgerung	80
9 Zusammenfassungen	81
9.1 Zusammenfassung (vierseitig)	81
9.2 Zusammenfassung englisch (einseitig).....	85
9.3 Zusammenfassung für die Marburger Bibliographie	86
10 Literaturverzeichnis	87
11 Abkürzungsverzeichnis/ Glossar.....	100
12 Materialverzeichnis	101
13 Danksagung.....	102
14 Verzeichnis Akademischer Lehrer.....	103

Vorbemerkungen

Das Literaturverzeichnis ist in alphabetischer Reihenfolge am Ende dieser Arbeit zu finden. Auf Bezeichnungen wie ® oder © wurde verzichtet. Hieraus kann jedoch nicht geschlossen werden, dass die entsprechenden Präparate nicht geschützt sind.

Teile aus dieser Dissertation wurden als Postervortrag auf der 21. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltung (DGZ) am 24.11.2007 in Düsseldorf vorgestellt.

Der entsprechende Artikel wurde bereits publiziert:

Stoll R, Jablonski B, Jablonski-Momeni A, Stachniss V: Zur Qualität der Applikation von Wurzelkanalmedikation in Gelform und als Paste in Abhängigkeit von der Aufbereitungsgröße. Deutsche Zahnärztliche Z 63, 544-549 (2008).

1 Einleitung und Problemstellung

In den letzten Jahrzehnten wurden neben der präventiven Zahnheilkunde auch konservierende Maßnahmen wie z.B. die Füllungstherapie und auch die Endodontologie durch Forschung qualitativ verbessert. Gerade in der Endodontologie wurden in den vergangenen Jahren vielfache Entwicklungen und Änderungen erreicht. So zogen in den vergangenen Jahren viele Zahnärzte die Wurzelkanalbehandlungen der Extraktion vor [Kockapan 2003].

Ein wichtiger Schritt war in erster Linie die Anerkennung der Endodontie als Spezialdisziplin im Jahre 1963 durch die American Dental Association (ADA). Dies ermutigte auch zahlreiche Wissenschaftler zu weiterer Grundlagenforschung auf diesem Gebiet. So zeigte sich, dass die Keimbeseidlung bei irreversiblen Pulpitiden eine wichtige Rolle spielen kann. Damit konnte durch Auflösung von nekrotischem Gewebe und Abtötung von Mikroorganismen die Erhaltung durch eine gezielte Wurzelkanalbehandlung erreicht werden. Hier trat der Einsatz von Spüllösungen und medikamentösen Einlagen in den Vordergrund. Um den Kontakt der Wirkstoffe mit den Keimen und Wurzelkanaloberflächen zu erreichen arbeitet die Industrie z.B. im Bereich der Wurzelkanalspülung ständig an neu gestalteten Spülkanülen. Diese sollen durch ihre Form oder neuwertige biegsame Legierungen den konventionellen Kanülen deutlich überlegen sein. Bei der Applikation von Gelen oder Pasten als medikamentöse Zwischeneinlagen findet meist nur die Anwendung einer Füllspirale Beachtung.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Eindringtiefe medikamentöser Einlagen in den Wurzelkanal extrahierter Zähne mit zwei unterschiedlichen Methoden, die sich mit Situationen in-vivo vergleichen lassen.

Ein Ziel dieser Studie war es zu zeigen, dass Medikamente mit unterschiedlichen Methoden ohne Qualitätsverlust in Wurzelkanäle eingebracht werden können. Der Einfluß der angewendeten Applikationsmethode beim Einbringen des Medikaments in Richtung des apikalen Drittels vom Wurzelkanal, sollte ebenfalls überprüft werden.

2 Literaturübersicht

2.1 Allgemeine Anmerkungen zu Wurzelkanalaufbereitung und -füllungen

Mit Wurzelkanalbehandlungen versucht man Zähne, die durch Entzündungen der Pulpa verursacht wurden zu erhalten. Diese Entzündungen können bakteriell, traumatisch, chemisch oder durch toxische Noxen verursacht werden [Harndt 1967]. Dabei bestimmen Dauer und Intensität der Reizeinwirkung den Verlauf der Entzündung. Bei der Entzündung kommt es zu einer Veränderung des physiologischen Zellstoffwechsels, die sich vor allem durch eine Reaktion des Gefäßbindegewebes auszeichnet. Ist die Reizeinwirkung von geringer Intensität, kann es nach Ausschaltung des Reizes zu einer *restitutio ad integrum* kommen. In diesem Fall spricht man von einer reversiblen Pulpitis. Schreitet die Entzündung weiter fort, so entsteht aus der reversiblen eine irreversible Pulpitis. Dies kann der Fall sein, wenn es nach einem Trauma oder aufgrund einer fortgeschrittenen kariösen Läsion (Abb. 2.1) zu einer bakteriellen Besiedlung der Pulpa gekommen ist.

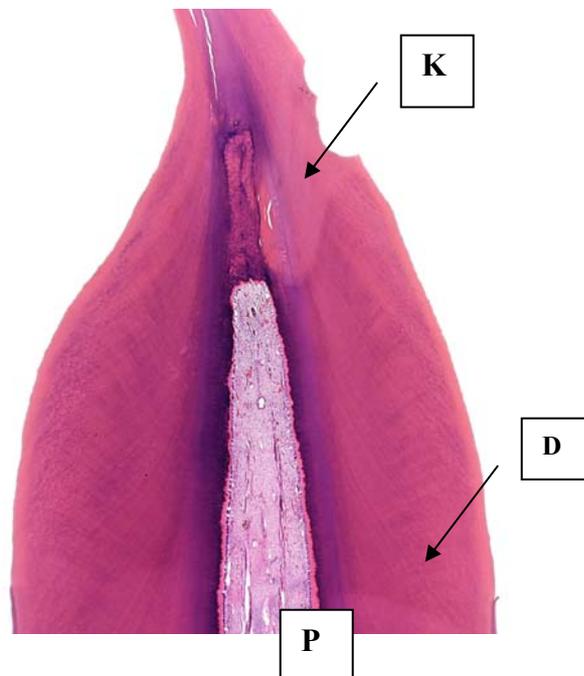
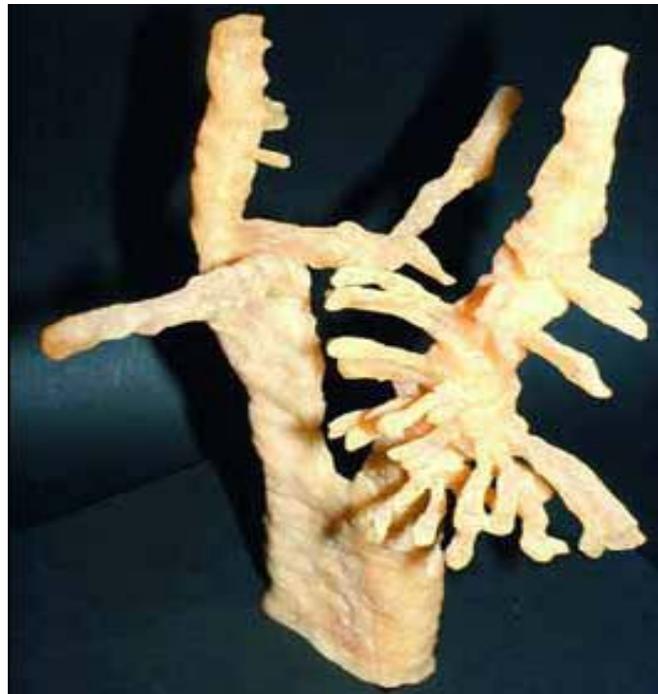


Abb. 2.1:
Dentinkaries bis kurz vor die Pulpa, P = Pulpa, D = Dentin, K = Karies.
Der Pfeil zeigt den Fortschritt der Karies bis kurz vor die Zahnpulpa.
Quelle: Prof. V. Stachniss/ Marburg

Eine Vitalerhaltung der Pulpa ist nach dieser bakteriellen Infektion nicht mehr möglich. Um solche Zähne erhalten zu können muss eine Wurzelkanalbehandlung durchgeführt werden [Harndt 1938]. Eine Wurzelkanalbehandlung setzt sich aus der Entfernung des Pulpengewebes, Vergrößerung der Kanalverläufe durch Aufbereitung, der Kanaldesinfektion durch Spüllösungen und medikamentöse Einlagen und dem Füllen des Wurzelkanals zusammen. Um eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung durchzuführen sind eine vollständige Entfernung der dort persistierenden Mikroorganismen und das als Nährmedium wirkende infizierte Pulpengewebe aus dem Kanalsystem wichtig. Hier spielt die hohe anatomische Varianz bei Zahnwurzeln eine wichtige Rolle, da Wurzelkanäle meist nicht nur ein großes Hauptkanalsystem enthalten, sondern auch ein häufig weit verzweigtes System an Nebenkanälen. Diese Varianz betrifft die Zahl der Wurzelkanäle, deren dreidimensionale Wurzelstruktur, wie auch eine runde oder ovale Kanalform und andere Wurzelkonfigurationen (Abb. 2.2) die sehr vielfältig ausfallen können [Schilder 1974, Kunzelmann et al. 1992, Baumann 1995].



*Abb. 2.2:
Dreidimensionale Struktur eines Wurzelkanalsystems.
Quelle: Bild von Prof. Hülsmann aus: C. Bargholz; Praxisleitfaden Endodontie*

Vor allem die Wurzelkanalkonfigurationen im apikalen Drittel spielen bei der Reinigung des Kanalsystems eine wichtige Rolle, da sie sich durch ihre komplexe Struktur mechanisch und physikalisch schlecht aufarbeiten lassen. *Weine* [1996] teilt die verschiedenen Wurzelkonfigurationen in vier unterschiedliche Typen auf (Abb. 2.3):

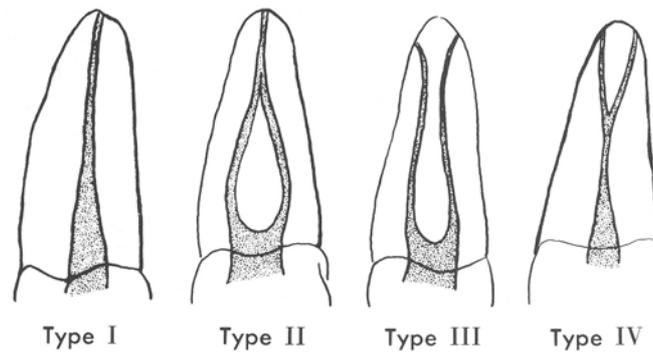


Abb. 2.3:

Die vier möglichen Typen der Wurzelkanalkonfigurationen nach Weine:

Typ I 1 Kanal

Typ II 2 Kanäle, die sich vor dem Apex vereinigen

Typ III 2 Kanäle mit getrennten apikalen Foramina

Typ IV 1 Kanal, der sich im mittleren oder apikalen Wurzelabschnitt in 2 Kanäle verzweigt

Quelle: Weine; Endodontic Therapy, S.243

Dies führt dazu, dass selbst bei vollständiger Aufbereitung der Wurzelkanäle nicht alle Bakterien eliminiert werden können. Die Gewebeflüssigkeit in den Hohlräumen des Wurzelkanals dient den verbliebenen Bakterien als Substrat und fördert damit deren Vermehrung. Es kann zu einer persistierenden Entzündung bzw. zu einem Übergreifen des entzündlichen Geschehens auf das periapikale Gewebe und damit zu weiterführenden Erkrankungen kommen. Um dies zu umgehen sollten während der Aufbereitung die Wurzelkanäle mit einer keimreduzierenden Spülung gereinigt werden.

Da bei einer bakteriell infizierten Pulpa durch alleinige Aufbereitung und Spülung die pathogenen Keime meist nicht ausreichend entfernt werden können, sollte eine medikamentöse Einlage von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ erfolgen. Bereits eine einwöchige Applikation von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ kann bakterielle Endotoxine neutralisieren und die Zahl der Mikroorganismen erheblich reduzieren, sowie

eine Reinfektion des obturierten Wurzelkanals deutlich hinauszögern [Barthel-Zimmer 2001].

Um eine Penetration der Bakterien zu verhindern muss abschließend zur Aufbereitung und Keimreduktion eine Wurzelkanalfüllung durchgeführt werden. Somit hat eine Wurzelkanalfüllung zwei Aufgaben. Zum einen soll sie eine Verbindung zwischen der Mundhöhle und dem Apex unterbinden und zum anderen einen dichten Verschluss zur Kanalwand herstellen, um Ansammlung von Gewebeflüssigkeit und zusätzliche Bakterienbesiedlung zu verhindern.

Eine definitive Versorgung des wurzelgefüllten Zahnes sollte spätestens nach drei Monaten erfolgt sein, da provisorische Füllmaterialien sowie adhäsive Aufbaumaterialien keinen Langzeitschutz bieten können und somit die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen nicht gewährleistet werden kann [Barthel-Zimmer 2001].

2.2 Anatomie und Pathologie von Pulpa und Periapex

2.2.1 Allgemeine Anmerkungen

In der natürlichen Mundflora befinden sich zahlreiche Mikroorganismen. *Moore* konnte mehrere hundert verschiedene Bakterienspezies in der menschlichen Mundhöhle nachweisen [Moore 1987]. In der Zahnheilkunde spielen vor allem pathogene Keime wie *Streptococcus mutans*, *Streptococcus salivarius*, *Streptococcus milleri* und *Streptococcus oralis* [Schiffner 1997] eine wichtige Rolle. Diese sind in erster Linie deshalb von Bedeutung, da sie für die Karies verantwortlich gemacht werden. Somit ebnet sich der Weg für die Penetration von diversen Keimen in Richtung Zahnpulpa und geht somit in den meisten Fällen einer irreversiblen Pulpitis voraus. Während sich bei einer Karies meist aerobe Keime isolieren lassen, findet man bei apikalen Entzündungen vermehrt anaerobe Keime [Gomes et al. 2004].

2.2.2 Pulpitis und Entzündungen des Periapex

Generell kann man bei Pulpitiden zwischen einer reversiblen und irreversiblen Pulpitis unterscheiden. Während es bei einer reversiblen Pulpitis zu einer Ausheilung des entzündlichen Geschehens nach Ausbleiben der Reizeinwirkung kommt, ist bei einer irreversiblen Pulpitis keinerlei Ausheilung der Pulpa mehr möglich. Diese Entzündungen der Pulpa können bakteriell, traumatisch, chemisch oder toxischen Ursprungs sein. Die häufigste Ursache für eine entzündliche Reaktion in der Pulpa wird der bakteriellen Komponente zugeschrieben. So ist z.B. der Entzündungsgrad einer Pulpitis abhängig von der Penetrationstiefe der Bakterien im kariösen Bereich. Eine Entzündung der Pulpa verläuft generell genauso wie in anderen Bindegewebsregionen des Körpers ab, mit dem Unterschied der Ummantelung der Pulpa mit Hartgewebe. Die Wirkung der Bakterien kommt vor allem durch ihre toxischen Stoffwechselprodukte und durch Abbauprodukte der involvierten Gewebeteile des Dentins und der Pulpa zustande. *Lin et al.* [1991] konnten nachweisen, dass sich durch die Pulpavenen die Infiltration dieser Produkte in die periapikale Region bahnt.

Unter einer apikalen Parodontitis hingegen versteht man die Entzündung der Wurzelhaut des Zahnes. Dies kann durch bakterielle Besiedlung des Endodonts z.B. in Form von fortschreitender Karies, undichten Füllungen, Sprünge oder Frakturen im Zahn, oder auch durch bakterielle Verschleppung bei Überinstrumentierung einer Wurzelkanalaufbereitung geschehen. Der Verlauf einer apikalen Parodontitis kann akut oder chronisch sein. Ursachen dafür liegen bei Traumen, Infektionen und chronischen Entzündungen. Bei einer intakten Immunabwehr kann es zu einem Gleichgewicht zwischen Entzündungszellen und Abwehrzellen kommen. Dieser Zustand wird als chronische apikale Parodontitis bezeichnet.

2.2.3 Bakterielle Besiedlung bei entzündlichen Pulpitiden

Da die vitale Pulpa keine oder nur wenig Keime enthält kann der Wurzelkanal nach Pulpaexstirpation, Aufbereitung und Spülung meist direkt abgefüllt werden. Bei einer Pulpanekrose mit einer apikalen Entzündung hingegen

sollte eine Kalziumhydroxideinlage erfolgen [Trope et al. 1999]. Um die Entzündung im Bereich der Wurzelhaut zu verstehen und medikamentöse Unterstützung in Anspruch nehmen zu können, wurden schon viele Versuche gestartet, um die bakteriellen Keime aus dem Wurzelkanal zu isolieren und zuzuordnen. Untersucher wie *McDonald et al.* [1957] oder *Brown&Rudolph* [1957] konnten 24%-32% anaerobe Keime isolieren. Seit damals stieg die Zahl der Anaerobier über die Jahrzehnte deutlich an. Während z.B. *Sundqvist* [1976] über 90% anaerobe Bakterien isolieren konnte, kommen neuere Untersuchungen auf Werte zwischen 70-80% [Le Goff et al. 1997, Gomes et al. 2004,]. Der Grund dafür liegt bei der Probengewinnung, die seit damals auch ein effizientes Isolieren von anaeroben Keimen mit Hilfe von Stickstoff und standardisierten Untersuchungsmethoden ermöglicht. Um eine möglichst effektive Medikation im Wurzelkanal zu erreichen, ist die Kenntnis der sich im Kanal befindlichen Keime wichtig. So konnten *Le Goff et al.* [1997] in nekrotischen Zähnen 81% Anaerobier isolieren. Vertreten waren Keime wie: *Bacteroides gracilis*, *Propionibacterium acnes*, *Fusobacterium nucleatum*, *Prevotella buccae* und *Eubacterium lentum* [Le Goff et al. 1997]. Leider ist bei dieser Studie die Zahl der Proben sehr gering und muss daher kritisch beurteilt werden. Bei einer weiteren Studie von *Gomes et al.* [2004] wurden 70% Anaerobier isoliert. Hier konnten Keime wie: *Peptostreptococcus micros*, *Fusobacterium necrophorum*, *Fusobacterium nucleatum*, *Prevotella intermedia/nigrescens*, *Porphyromonas gingivalis* und *Porphyromonas endodontialis* isoliert werden [Gomes et al. 2004].

Immer stärker werden Problemkeime in Diskussionen eingebunden, wie sie meistens bei persistierenden apikalen Parodontitiden vorgefunden werden. Hier lassen sich hauptsächlich gram-positive Bakterien isolieren. Als einer der Problemkeime wird *E. faecalis* beschrieben. Viele Autoren bringen diesen Keim mit endodontischen Misserfolgen in Verbindung [Pinheiro et al. 2003]. Diese „Problemkeime“ weisen immer häufiger Resistenzen gegenüber Kalziumhydroxid auf. Dies konnte von *Haapasalo&Østravik* [1987] und *Waltimo et al.* [1999a&1999b] durch Isolieren von kalziumhydroxidresistenten fakultativen Anaerobiern nachgewiesen werden. Damit zeigt sich, dass diese Keime für das Wiederaufflammen von apikalen Parodontitiden verantwortlich sind.

2.3 Grundsätzliche Vorgänge bei einer Wurzelkanalbehandlung

2.3.1 Ziel und statistische Erfolge von Wurzelkanalbehandlungen

Das Ziel einer Wurzelkanalbehandlung ist der dauerhafte, dreidimensionale, bakteriendichte und hermetische Verschluss des aufbereiteten und gereinigten Wurzelkanals zum Schutz des periradikulären Zahnhalteapparats und anatomisch angrenzender Strukturen [Schilder 1967]. Hierdurch soll es zu einem vollständigen Verschluss kommen, welcher die Passage von Mikroorganismen und Flüssigkeiten die ihnen als Substrat dienen können, entlang des Wurzelkanals verhindert [Kersten&Moorer 1989, Wu&Wesselink 1993]. Um dies zu erreichen muss nach der Keimreduktion durch Aufbereitung, keimabtötende Spüllösungen und keimreduzierenden Einlagen eine Wurzelkanalfüllung durchgeführt werden. In der Literatur lassen sich in Bezug zur erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung Zahlen zwischen 56% [Cheung 2002] und 92,7% [Rocke et al. 1997] finden. Die durchschnittliche Überlebenszeit wurde bei *Cheung* [2002] in der Hongkongstudie mit 7,6 Jahren eruiert. Die Zahlen von *Rocke* [1997] zeigten nach fünf Jahren sehr gute Ergebnisse. Leider gibt es hier keine standardisierten Untersuchungsmethoden, mit denen man die unterschiedlichen Studien vergleichen kann. So wurde bei *Cheung* [2002] nicht nur die Extraktion von Zähnen als Misserfolg gewertet, sondern schon das Vorhandensein von apikalen Veränderungen auf dem Röntgenbild und Endo-Revisionen. Ein eventueller Erhalt der Zähne durch eine Wurzelspitzenresektion wurde nicht beachtet. Bei *Rocke* [1997] zeigt sich hingegen der Vorteil, dass auch Zähne mit apikalen Läsionen und Zähne mit Revisionen in die Untersuchung einbezogen wurden. Leider liegt hier der Untersuchungszeitraum nur bei fünf Jahren.

2.3.2 Keimreduktion durch mechanische Wurzelkanalaufbereitung

Von *Rollison et al.* konnte [2002] nachgewiesen werden, dass bei einer mechanischen Aufbereitung auf die Größe ISO-50 eine stärkere Bakterienreduktion im Vergleich zur Aufbereitung bis ISO-35 erfolgt. Hierbei gibt es

keinerlei Unterschiede zwischen maschinellen Instrumentierungsmethoden bei der Keimreduktion im Endodont gegenüber Handinstrumentation [Dalton et al. 1998].

Die Probleme der Keimreduktion mittels mechanischer Aufbereitungsinstrumente liegen nicht in der Aufbereitungsart, sondern viel mehr daran, dass der anatomische Bau der Wurzelkanäle komplizierter ist als angenommen ist. Anhand von Metallkorrosionspräparaten konnte schon anfang des Jahrhunderts der Nachweis erbracht werden, dass es eine große Variation von Formen, Anzahl sowie Verzweigungen der Wurzelkanäle gibt. *Fischer* [1907] kam mit einer anderen Methode, nämlich der Anwendung von verdünnter Zelluloidflüssigkeit, zu ähnlichen Erkenntnissen und folgerte daraus, dass infolge des komplizierten Baus der Wurzelkanäle auch an oberen Prämolaren eine restlose Entfernung der Pulpa nicht durchführbar sei. Auch *Hülsmann et al.* [1997] konnten nachweisen, dass weder eine Handaufbereitung noch eine kreisrunde Aufbereitung mit rotierenden Instrumenten eine vollständige mechanische Bearbeitung aller Kanalwandbereiche und Rezessus ermöglicht. Daran lässt sich erkennen wie wichtig die Rolle der chemischen Desinfektion ist [Schäfer et al. 2000].

Grundsätzlich kann man apikal-koronale und koronal-apikale Aufbereitungsmethoden unterscheiden. Welcher der beiden Wege gewählt wird hängt von der Kanalform und Krümmung, sowie den Kenntnissen und den Fähigkeiten des Behandlers ab. Der erste Schritt einer Wurzelkanalaufbereitung besteht in der Substanz schonenden Kanaleingangsdarstellung mittels Substanz abtragenden Bohrern. Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass kariöse Läsionen wie auch Plaque im Vorfeld entfernt werden, damit ein keimreduziertes Arbeiten unter Kofferdam möglich ist [Beer&Baumann 1997]. Im Anschluss daran werden die Wurzelkanäle entweder mit Handinstrumenten oder maschinell mit speziellen Wurzelkanalfeilen aufbereitet.

Um eine qualitativ hochwertige Wurzelkanalfüllung zu erhalten ist auch die Auswahl der Aufbereitungsinstrumente nicht ohne Belang. So birgt die Aufbereitung, vor allem in gekrümmten Kanälen die Gefahr des Instrumentenbruchs oder auch die einer *Via Falsa*.

Um diese Probleme zu kompensieren kann z.B. auf Wurzelkanalinstrumente aus Ni-Ti meist nicht verzichtet werden. So beschreibt z.B. *Herrmann* [1999]

einen deutlichen Vorteil in der Aufbereitung von rotierenden Lightspeed Instrumenten in Kombination mit anderen rotierenden Ni-Ti Instrumenten für die Aufbereitung in gekrümmten Kanälen. Vor allem zeichnet sich Ni-Ti durch Formgedächtnis und Elastizität aus [Merte 2002a&2002b, Baumann 2004].

2.3.2.1 Manuelle Aufbereitungsmethoden

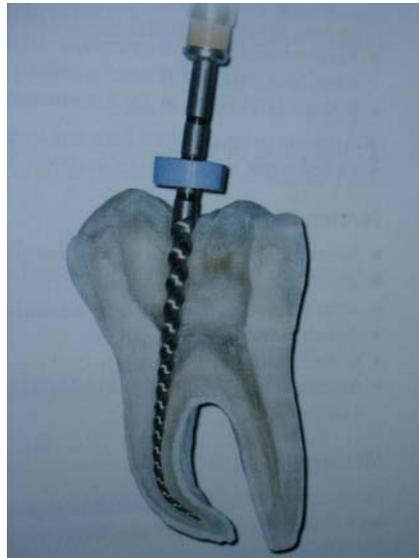
Als Standardmethode wird in der Literatur bei der manuellen mechanischen Aufbereitungsmethode die Aufbereitung von Wurzelkanälen mit Reamern und Feilen im Wechsel beschrieben [Hellwig et al. 2003]. Sie setzt die primäre Darstellung des Kanaleingangstrichters mit rotierenden Instrumenten voraus. Hedström-Feilen können bei nicht drehender, ziehender Arbeitsweise zur effektiven Kanalerweiterung von Wurzelkanälen eingesetzt werden. Eine gute Glättung der Wurzelkanalwände kann anschließend mit einem Reamer unter stoßend-drehender Arbeitsweise mit geringem Druck erreicht werden. Feilen und Reamer unterscheiden sich entsprechend ihrer Arbeitsweise voneinander. Die Feile ermöglicht bei ziehender Arbeitsweise einen suffizienten Dentinabtrag. Eine gute Glättung der Wurzelkanalwände kann anschließend mit Reamern unter geringem Druck erreicht werden [Guldner 1987, Guldener&Langeland 1993].

Bei der konventionellen Aufbereitung von geraden Wurzelkanälen wird das Kanalsystem mit jedem verwendeten Instrument bis auf die volle Aufbereitungstiefe bearbeitet [Schilder 1974, Guldener&Langeland 1993, Beer&Baumann 1997]. Bei der Verwendung von ISO-genormten Instrumenten und konventioneller Aufbereitung erhält der Wurzelkanal somit eine Konizität mit einem Taper von 02.

2.3.2.2 Maschinelle Aufbereitungsmethoden

In den letzten Jahren sind die maschinellen Aufbereitungsmethoden fester Bestandteil der endodontischen Behandlung geworden. Diese führen bei Wurzelkanalaufbereitungen zu einer Erleichterung und Zeitersparnis, insbesondere seit Instrumente aus hochflexibler Nickel/Titan-Legierung verfügbar sind [Schäfer et al. 1994, Hülsmann et al. 2003, Schäfer et al. 2004]. Bei

der Bewertung dieser Aufbereitungsmethoden herrscht in der Literatur Konsens darüber, dass sie mit verringerter Taktilität einhergehen [Beer 1993, Tepel 1998&2000].



*Abb. 5:
Flexibilität der NiTi Instrumente (Querschnitt)
Quelle: Praxisleitfaden Endodontie*

Um das Risiko der verminderten Taktilität zu reduzieren, wurden von der Industrie Motoren mit einstellbarer Drehmomentbegrenzung entwickelt [Tepel 2000]. Diese basieren entweder auf dem mechanischen Prinzip einer Rutschkupplung, oder auf der elektronischen Überwachung des maximal zulässigen Drehmoments. Während es bei der Überschreitung des eingestellten Drehmoments bei den mechanischen Systemen nur zu Abbruch des Arbeitsganges kommt, ändern die elektronischen Systeme teilweise ihre Drehrichtung (Drehzahl/Drehmoment regulierter Motor für Endodontie, Fa. VDW, Zdarsky Ehrler GmbH&Co KG, München). Das bewirkt, dass ein „festsitzendes“ Instrument wieder gelöst wird, um damit die Bruchgefahr erheblich zu reduzieren. Weiterhin erlauben elektronische Systeme im Gegensatz zu mechanisch kontrollierten Systemen eine elektronische Einstellung aller Parameter für den individuellen Feilentyp aus einer internen Datenbank [Hülsmann 2002].

2.4 Keimreduktion durch Anwendung von Spüllösungen

Spüllösungen haben das Ziel, das gesamte Kanalsystem frei von kultivierbaren Bakterien zu machen. Dennoch reduziert die Spülung mit einer inerten Lösung zwar die Keimzahl in infizierten Wurzeln erheblich, macht aber das Wurzelkanalsystem nicht frei von kultivierbaren Bakterien [Byström&Sundqvist 1981]. Dies verdeutlicht, dass eine Wurzelkanalspülung ohne weitere erwünschte Eigenschaften nicht mehr zeitgemäß ist. Neben der keimreduzierenden Eigenschaft sind weiteren Kriterien, wie die Reinigung des Wurzelkanals während der Aufbereitung bedeutend. Durch alternierende Spülungen werden hier die bei der Aufbereitung gelockerten Dentinspäne, Gewebereste und Bakterien mechanisch entfernt und somit auch die Kanalabschnitte erreicht, die einer mechanischen Aufbereitung nicht zugänglich sind [Hülsmann 2000]. Dies beinhaltet auch die Wirkung als Gleitmittel für die angewendeten Wurzelkanalinstrumente und die Eigenschaft nekrotisches Gewebe aufzulösen um eine effizientere Keimreduktion zu erreichen.

2.4.1 Eigenschaften von Spüllösungen

Als Spüllösungen in Wurzelkanälen kann generell jede Flüssigkeit Anwendungen finden, die mittels Spülkanüle in den Kanal eingebracht werden kann, biokompatibel ist und für den menschlichen Körper keinerlei toxische Tendenz aufweist. Dennoch werden heute immer noch formalinhaltige Präparate [Barbakow et al. 1995] angewendet, obwohl deren Anwendung schon seit 1981 als toxisch und kanzerogen gilt und somit obsolet ist [Lewis&Chestner 1981].

Nicht nur toxische und biokompatible Eigenschaften müssen beim Einsatz von Spüllösungen Berücksichtigung finden, sondern auch der maximale erwünschte Effekt. Deshalb finden immer mehr Präparate Anwendung, die antimikrobielle und reinigende Eigenschaften aufweisen, sowie die Fähigkeit besitzen, nekrotisches Gewebe aufzulösen, den „Smear layer“ entfernen und die Oberflächenspannung herabsetzen [Trojabinejad et al. 2003a&2003b].

In den letzten Jahren wurden als Spüllösungen Stoffe wie z.B.

Wasserstoffperoxid, Ethylalkohol, Phenolderivate, Schwermetallsalze, quaternäre Ammoniumverbindungen, organische Säuren oder auch Halogenverbindungen angewendet [Spångberg 1994, Sedgley et al. 2004]. Die meisten dieser Lösungen zeigen eine mehr oder weniger starke antimikrobielle Wirkung, dennoch konnte sich Natriumhypochlorit-Lösung (NaOCl) durchsetzen. Es hatte sich gezeigt, dass es durchaus sinnvoll sein kann, verschiedene Präparate zu kombinieren.

2.4.2 Spüllösungen

2.4.2.1 Natriumhypochlorit (NaOCl)

Spüllösungen haben die Aufgabe die bei der Aufbereitung entstehenden Dentinspäne zu entfernen und die mechanische Reinigung des Wurzelkanalsystems zu unterstützen, indem sie als Schmier- und Transportmedium wirken. Dazu konnte nachgewiesen werden, dass bereits eine Spülung des Wurzelkanals unter alleiniger Verwendung von Kochsalzlösung eine Reduktion der Bakterienanzahl um etwa eine Zehnerpotenz bewirkt [Byström&Sundqvist 1981, Delany et al. 1982]. Eine weitere erwünschte Eigenschaft weist unter vielen anderen Spüllösungen Natriumhypochlorit auf, da dieses neben der antimikrobiellen Wirkung die Fähigkeit besitzt nekrotisches Gewebe aufzulösen. Viele Wurzelkanäle besitzen ein weit verzweigtes System an Nebenkanälen, deshalb ist diese Eigenschaft äußerst wichtig. Nicht alle Areale des Wurzelkanalsystems können mechanisch aufbereitet werden [Hülsmann et al. 1997]. NaOCl ist bereits in einer 0,5%igen Konzentration antibakteriell wirksam und in höheren Konzentrationen gewebeauflösend [Byström&Sundqvist 1983]. In Bezug zur Konzentration konnte nachgewiesen werden, dass keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der antibakteriellen Wirkung von NaOCl-Konzentrationen zwischen 1%, 2,5%, und 5,25% bestehen [Baumgartner&Cuenin 1992, Siqueira et al.1999]. Die höchste Effektivität wird jedoch bei 1% NaOCl und einer Temperatur von 45° erreicht [Sirtes et al. 2005]. Bereits bei einer 0,5%igen Lösung ist Natriumhypochlorit antibakteriell wirksam und in höheren Konzentrationen wirkt es

gewebeauflösend [Byström&Sundqvist 1985]. Im Allgemeinen wird eine Konzentration zwischen 0,5% und 2% empfohlen [Moorer&Wesselink 1982, Byström&Sundqvist 1983]. In Konzentrationen von mehr als 5% kann NaOCl eine toxische Wirkung auf das apikale Gewebe aufweisen [Gernhardt et al. 2004]. Bei der Anwendung von NaOCl-Lösungen von mehr als 5% kann es zu postoperativen Beschwerden kommen [Guldner 1987]. Diese können auch unabhängig von der Konzentration auftreten, wenn bei der Spülung der Kanäle mit einem zu hohem Druck gearbeitet wird [Becker et al. 1974]. Nach vollständiger Instrumentierung und intensiver Spülung mit NaOCl und anschließender Einlagemedikation kann bei infizierten Kanälen eine Keimreduktion erreicht werden [Sjörögen et al. 1991, Peters et al. 2002]. Natriumhypochlorit hat neben der bakteriziden Wirkung auch ein gewebeauflösendes Potential. Hier löst NaOCl nekrotisches Gewebe viel schneller auf als vitales [Austin&Taylor 1918]. In einer weiteren Studie erwies sich die Lösung organischer Dentinanteile in einer Konzentration von 1,3% als Effektivste [Beltz et al. 2003]. *Zehnder et al.* [2003] kamen zu dem Ergebnis, dass 5%iges NaOCl eine höhere Effektivität in Bezug auf die Gewebeauflösung als CHX 0,2% hat, gefolgt von 0,5%igem NaOCl. Andere Studien deuten darauf hin, dass bei der Keimreduktion NaOCl in Kombination mit Chlorhexidin (CHX) der Vorzug gegeben werden soll [Kuruvilla&Kamath 1998].

2.4.2.2 Chlorhexidin (CHX)

Die Desinfektion von Chlorhexidin (CHX) ist seit langem bekannt und konnte in verschiedenen Studien nachgewiesen werden [Kidd 1991, Baqui et al. 2001]. CHX ist ein Bisguanid und liegt in reiner Form als weißes geruchsloses Pulver vor. Es wird meist als Chlorhexidindigluconat-Salz in 0,06- bis 0,2%igen Mundspüllösungen verwendet. CHX wirkt antibakteriell [Leonardo et al. 1999], bakteriostatisch und bakterizid gegen grampositive Bakterien und in höheren Konzentrationen auch gegen gramnegative bakterizid [Rosenthal et al. 2004]. Im Wurzelkanal wird CHX meist als 2%ige Spülung angewendet und bis vor kurzem in der Parodontologie zur Keimreduktion in parodontalen Taschen sogar in einer Konzentration von bis zu

36%. Gegenüber NaOCl hat CHX einen deutlichen Vorteil durch eine geringere Zytotoxizität, aber auch Defizite bei der gewebeauflösenden Wirkung und ist deshalb als alleinige Spüllösung in der Endodontologie nicht zu empfehlen. Einen deutlichen Vorteil weist CHX in der kürzer benötigten Kontaktzeit (2-5min) zur Desinfektion spezieller Keime gegenüber NaOCl auf [Weber et al. 2003]. Eine abschließende Reinigung mit 2%iger CHX-Lösung wird wegen guter keimreduzierender Wirkung von vielen Autoren empfohlen, konnte bisher aber nicht sicher belegt werden [Eddy et al. 2005]. Bei Kontakt mit NaOCl und CHX kann es zum Ausfällen von rötlich-braunem Niederschlag kommen, die durch unzureichende Trocknung der Kanäle verursacht wird.

2.4.2.3 EthylenDiaminTetraAcetat (EDTA)

Um den bei der Wurzelkanalaufbereitung entstehenden „Smear layer“ zu entfernen, und um eine effektivere Spülung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems zu erreichen, wurde schon vor etwa fünfzig Jahren EDTA als Spüllösung verwendet [Nygaard-Østby 1957]. Heute findet EDTA oft in Gelform bei der maschinellen Aufbereitung Anwendung. Dies wird in der Literatur kontrovers diskutiert, da Reste der EDTA Spülflüssigkeiten positive wie auch negative Eigenschaften in Bezug auf die Interaktion mit Sealern bewirken kann. EDTA-Lösungen werden meist in Konzentrationen zwischen 8 bis 17% angewendet. Eine gute Entfernung der Schmierschicht kann schon nach einer Minute mit einer 17% Lösung erreicht werden [Mayer et al. 2002]. *Calt&Serper* [2002] eruierten in einer Studie, dass ein übermäßiges Spülen mit EDTA zu deutlichen Erosionen des Wurzelkanal Dentins und zur Herabsetzung der Dentinhärte führt. In einer anderen Studie wurde die Erosion der Dentintubuli nach Spülung einer 17%igen EDTA-Lösung und einer MTAD-Lösung ausgewertet [Torabinejad et al. 2003a&2003b]. Auch hier bestätigte sich die verstärkte Erosion von EDTA im koronalen und mittleren Kanaldrittel gegenüber MTAD. Die antibakterielle Wirkung auf Bakterien hängt vorwiegend von dem pH-Wert und der Konzentration ab, ist aber geringer als die von NaOCl. EDTA desinfiziert das Wurzelkanalsystem besser als eine Kochsalzlösung [Yoshida et al. 1995]. Weiterhin zeigt sich bei

einer abwechselnden Spülung von EDTA und NaOCl eine bessere Keimreduktion als bei alleiniger Anwendung von NaOCl [Byström&Sundqvist 1985]. Bei der Auflösung von nekrotischem Gewebe ist NaOCl den EDTA-Lösungen deutlich überlegen. Auch hier muss eine Interaktion beachtet werden, da EDTA mit freiem Chlor von Hypochloritlösungen reagiert und das Hypochlorit deaktiviert. Im Gegensatz dazu hemmt Hypochlorit die Wirkung von EDTA nicht. Daraus resultiert eine Spülung während der Aufbereitung nur mit einer NaOCl-Lösung ohne die von EDTA [Grawehr et al. 2003]. Erst nach Abschluss der Aufbereitung sollte das Kanalsystem mit EDTA gespült werden um die Schmierschicht zu entfernen und abschließend ein weiteres Mal mit NaOCl um die Keime in den geöffneten Dentintubuli zu entfernen [Yamada et al. 1983]. Weiterhin sollte wegen verschiedenen zytotoxischen Reaktionen ein Überpressen von EDTA vermieden werden [Serper et al. 2001]. Ein wesentlicher Vorteil bei der Anwendung mit EDTA liegt in der Entfernung der Schmierschicht, welche auch Seitenkanäle nach der Aufbereitung verblockt und somit eine vollständige chemische Reinigung oder die gewebeauflösende Wirkung von Ca(OH)_2 verhindert. Durch die unzureichende Auflösung und Desinfektion der Seitenkanäle kann es zu Schmerzempfindlichkeit des Zahnes führen.

2.4.2.4 Alkohol

In einer Studie von Engel wird die Anwendung einer 70%igen Isopropyl-Alkohol-Lösung vorgeschlagen. Dadurch wird die Trocknung des Wurzelkanalsystems ermöglicht und eine verbesserte Adhäsion der Wurzelfüllung erreicht [Engel et al. 2005].

2.4.2.5 Zitronensäure

In den meisten Studien wird die Anwendung von Zitronensäure mit der von EDTA verglichen. In der Tat ist Zitronensäure in der Entfernung der Schmierschicht involviert, und hat einen gewebeauflösenden Effekt, bewirkt aber in Bezug auf EDTA eine schlechtere Auflösung des „Smear layers“ und öffnet somit die Dentintubuli schlechter. Dies verdeutlicht sich in der anschließend-

en antimikrobiellen Wirkung [Yamada et al.1983]. Seit 2003 wird Zitronensäure als Bestandteil in MTAD verwendet und weist in dieser Kombination eine gute Wirkung auf. Zur Entfernung der Schmierschicht wird eine 6-20%ige Lösung mit einem pH-Wert von 1-2 und einer Einwirkzeit von 1-2 Minuten empfohlen. Dabei scheint die Konzentration der Lösung wichtiger als der pH-Wert zu sein. Es zeigte sich, dass eine bessere Entfernung der Schmierschicht durch eine Lösung mit niedrigerem pH-Wert erreicht werden konnte [Haznedaroglu 2003].

2.4.2.6 Wasserstoffperoxid (H₂O₂)

Wasserstoffperoxid findet z.B. in Mundspüllösungen in einer Konzentration von 0,3- bis 0,5% Anwendung. Aufgrund der Sauerstoffabspaltung und Schaumbildung besitzt es reinigende mechanische und desinfizierende Eigenschaften. Durch die Freisetzung von Sauerstoff besitzt es einen hemmenden Einfluss auf anaerobe Keime. Weiterhin besitzt es ein Gewebe auflösendes Potential und eine desinfizierende Wirkung, ist aber dennoch NaOCl unterlegen [Baumgartner&Ibay 1987]. Eine effektivere Wirkung von NaOCl gegenüber Wasserstoffperoxid konnten auch weitere Studien zeigen [Lehmann et al. 1981, Svec&Harrison 1981, Abou-Rass&Patonai 1982]. Dazu wurde Jahrzehntlang eine Wechselspülung mit NaOCl und H₂O₂ (3%) empfohlen. Dies gilt heute nicht mehr als lege artis gilt, da sich durch eine Wechselspülung mit NaOCl beide Spüllösungen neutralisieren und die gewünschte Wirkung verlieren.

2.4.2.7 Mixture, Tetracyclin, Acid, Detergent (MTAD)

MTAD wurde von dem amerikanischen Endodontologen Mahmoud Torabinejad entwickelt und 2003 erstmals vorgestellt. Der Name leitet sich ab von M für Mixture, T für Tetracyclin, A für Zitronensäure und D für ein Detergens. Die Lösung weist einen pH-Wert von 2,15 auf, soll den „Smear layer“ entfernen und gleichzeitig eine effektivere Desinfektion des Wurzel-dentins bewirken [Torabinejad et. al. 2003a]. Die Auflösung der organischen und anorganischen Komponenten des „Smear layers“ soll ein Eindringen der

Lösung in die Dentintubuli und in Seitenkanäle ermöglichen und die Wirkung durch Herabsetzen der Oberflächenspannung deutlich verbessern. Als Antibiotikum enthält MTAD Doxycyclin, ein Tetracyclinderivat, welches dem Tetracyclin-HCL in der Wirkung auf gramnegative fakultative Anaerobier überlegen ist [Hellwig et al. 2003]. Zur Auflösung von nekrotischem Gewebe, zur Keimreduktion und der Entfernung des „Smear layers“ enthält die Lösung wie schon beschrieben Zitronensäure und als Besonderheit zur Reduktion der Oberflächenspannung das Detergens Tween 80.

In einer Studie wurde die Wirkung einer Abschlussspülung von MTAD auf die Entfernung der präparationsbedingten Schmierschicht auf der Wurzelkanalwand überprüft. Hier zeigte sich, dass MTAD eine gute Wirkung im Bezug auf die Entfernung der Schmierschicht hat. Weiterhin zeigte sich eine geringere Erosion des Wanddentins im koronalen und mittleren Kanaldrittel in Bezug auf EDTA [Torabinejad et al. 2003a]. Die höchste Effektivität von MTAD zeigte sich bei Anwendung einer NaOCl-Lösung während der Aufbereitung [Torabinejad et al. 2003b]. In einer weiteren Studie konnte nachgewiesen werden, dass MTAD eine effektivere antimikrobielle Wirkung aufweist als 5,25%iges NaOCl [Shabahang et al. 2003]. Auch in Bezug auf die Zytotoxizität von MTAD im Vergleich mit anderen Spülmedien zeigte sich eine dosisabhängige Wirkung. Eine NaOCl-Lösung mit einer Konzentration von 0,66 bis 2,63% wies die geringste Zytotoxizität, gefolgt von MTAD, EDTA und NaOCl 5,25% auf [Zhang et al. 2003]. *Machnik et al.* [2003a&2003b] bewiesen, dass der Einsatz von MTAD zur Abschlussspülung nach vorheriger Spülung mit 1,3%iger NaOCl-Lösung keine Veränderung der Biegefestigkeit und des E-Moduls im Dentin bewirkt und keinerlei Einfluss auf die Anwendung eines Adhäsivsystems hat.

Diese Ergebnisse zeigen einen viel versprechenden Verlauf und die fortschrittliche Entwicklung von MTAD. Berücksichtigung sollte die Einseitigkeit der Studien finden, da diese alle der gleichen Institution angehören. Des Weiteren sollten Studien von MTAD in Bezug auf Langzeiterfolge erfolgen.

2.5 Keimreduktion durch langfristige medikamentöse Einlagen

2.5.1 Allgemeine Anmerkungen

Der Wurzelkanal stellt durch Traumata, kariöse Läsionen oder auch iatrogen durch die Aufbereitung eine direkte Verbindung zwischen Mundhöhle und Blutbahn dar, deshalb kann eine Infektion und Keimverschleppung zu weiteren Problemen führen. Weiterhin kann der infizierte Wurzelkanal durch seine Krümmungen, Pulpaperiodontal- und Seitenkanälen nicht allein durch substanzabtragende Aufbereitung in Kombination mit einer desinfizierenden Spüllösung keimfrei, gewebefrei und toxisch gemacht werden [Byström& Sundqvist 1981], deshalb ist eine desinfizierende Einlage mit längerer Expositionszeit wichtig [Barthel-Zimmer 2001].

Nach Aufbereitung und Spülung des Wurzelkanalsystems folgt in vitalen Fällen eine direkte Abfüllung der Kanäle. Hier ist mit einer geringen oder keiner Keimbesiedlung zu rechnen. Selten wird nekrotisches Gewebe vorgefunden [Langeland 1987]. Bei einer Pulpanekrose mit apikaler Parodontitis oder einer verzögerten Abfüllung wird eine medikamentöse Einlage empfohlen, da eine Reinfektion des Kanalsystems erwartet werden kann [Byström&Sundqvist 1981].

Als keimreduzierende Einlagen finden Kampfermonochlorphenol (CMCP), Metacresylacetat, Eugenol, Glutaraldehyd, Iod- Kaliumiodid, Kalziumhydroxid und zahlreiche lokale Antibiotika Anwendung [Dankert 1976, Masillamoni et al. 1981, s`Gravenmade 1981, Wemes 1983, Wolke 2002, Ehrmann et al. 2003, Grawehr 2003]. Hier hat sich Kalziumhydroxid als Mittel der Wahl etabliert.

2.5.2 Kalziumhydroxid $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Kalziumhydroxid wurde von Herrmann als medikamentöse Zwischeneinlage 1920 zum ersten Mal im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung angewendet [Herrmann 1920]. Es ist mit einem pH-Wert von 12,5 stark alkalisch und dissoziiert in wässriger Lösung in Kalzium- und Hydroxyl-Ionen. Anwendung findet es nicht nur als medikamentöse Zwischeneinlage, sondern auch zur

direkten Überkappung nach Perforation der Pulpa und neben neueren Materialien wie Mineral Trioxid Aggregate (MTA) zur Apexifizierung der Wurzelspitze nach einem dentalen Trauma. Der antimikrobielle Effekt kommt durch die konstante Abgabe von Hydroxidionen ins Dentin zustande ohne den pH-Wert an der Wurzeloberfläche allzu stark zu erhöhen und so umliegendes Gewebe zu schädigen [Tronstad et al. 1981, Nerwich et al. 1993]. Neben der antibakteriellen Wirkung zeigt sich bei Kalziumhydroxid ein gewebeauflösender Effekt [Grawehr 2003], die Fähigkeit Lipopolisaccharide zu neutralisieren [Safafi&Nichols 1993], Knochenneubildungen anzuregen [Kockapan 2003] und bakterielle Keime zu hemmen [Estrela et al. 2001]. Auch eine geringe Zytotoxizität macht $\text{Ca}(\text{OH})_2$ zu einem anwenderfreundlichen Medikament. Im Zahnkanal finden sich dennoch Keime wie z.B. *Enterococcus faecalis* und andere Keime, die eine Resistenz gegenüber $\text{Ca}(\text{OH})_2$ aufweisen können [Gomes et al. 2003].

2.5.3 Chlorhexidin (CHX) als medikamentöse Einlage

Um auch Resistenzkeime zu erreichen, die nicht allein durch eine Spülung oder mit einer Kalziumhydroxideinlage entfernt werden können wird zunehmend die Anwendung von CHX-Gel als medikamentöse Einlage empfohlen. *Gomes et al.* [2003] prüften in einer Studie die Effektivität von 2%igem CHX in Kombination mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ohne Kombination gegenüber *Enterococcus faecalis*. Die effektivste Wirkung zeigte das CHX-Gel alleine ohne die Kombination mit anderen Mitteln [Gomes et al. 2003]. Das Ziel der medikamentösen Einlage liegt in der Keimeliminierung und der Ausheilung von apikalen Parodontitiden. Hier konnte eine Studie von *Dammaschke et al.* [2005] anhand von Ratten zeigen, dass mit Chlorhexidin apikale Parodontitiden genauso ausheilen können, wie bei der Anwendung von Kalziumhydroxid.

2.5.4 Kombinationspräparate

In der Literatur finden sich immer häufiger Beschreibungen von Kombinationslösungen und -pasten mit Kalziumhydroxid. Ein Grund für kontroverse

Diskussionen ist, dass $\text{Ca}(\text{OH})_2$ gegen basisresistente fakultativ anaerobe Bakterien und Hefen nur ein geringes Wirkungsspektrum aufweist [Haapasalo&Østravik 1987, Waltimo 1999a&1999b]. Hier konnten Studien einen besseren Effekt in Bezug zur gewebeauflösenden Wirkung bei Kombinationen von $\text{Ca}[\text{OH}]_2/\text{NaOCl}$ und $\text{Ca}[\text{OH}]_2/\text{CHX}$ innerhalb der ersten 4 Tage im Vergleich zu konventionellen Mischungen aufzeigen. Nach 7 Tagen konnten die anfänglichen Vorteile in Bezug zur konventionellen Mischung mit NaCl - und der NaOCl -Mischung nicht mehr beobachtet werden. Die CHX -Mischung wies sogar eine schlechtere Effektivität auf. Hinsichtlich der antimikrobiellen Eigenschaft konnten die Kombinationen mit NaOCl und CHX einer schnelleren und vollständigen Desinfektion mit *E. faecalis* infizierte Dentinblöcke zeigen. Der pH-Wert von Kalziumhydroxid wies mit der konventionellen Anmischmethode mit NaOCl einen konstanteren Wert auf als mit CHX [Zehnder et al. 2003]. Evans et al. [2003] wiesen bei einer medikamentösen Einlage aus $\text{Ca}[\text{OH}]_2/\text{CHX}$ (2%) eine höhere Effektivität bei der Eliminierung von *E. faecalis* auf, als eine konventionelle $\text{Ca}[\text{OH}]_2/\text{NaOCl}$ Suspension. Auch weitere Studien wie die von Lin et al. [2003] und Siren et al. [2004] kamen zu ähnlichen Ergebnissen. Sie kamen zu dem Schluss, dass eine Kombination mit CHX die Effektivität in Bezug zu Kalziumhydroxid resistenten Bakterien wie *E. faecalis* deutlich steigert. Auch Gomes et al. [2003] kamen zum gleichen Ergebnis, wobei sie einen Effektivitätsverlust nach 7 Tagen eruieren konnten. Eine andere Studie aus dem Jahr 2003 zeigte, dass die antimikrobielle Aktivität einer Kombination aus $\text{Ca}[\text{OH}]_2/\text{CHX}$ (0,5%) auf *E. faecalis* und *C. albicans* einer reinen Kalziumhydroxidpaste nicht überlegen ist und den antimikrobiellen Effekt des CHX signifikant reduziert, während mit Kombinationen von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und NaCl oder Jod-Jod-Kali kein Synergieeffekt festgestellt werden konnte [Haenni et al. 2003]. Interessanterweise kam Waltimo et al. [1999a&1999b] zu dem Ergebnis, dass Kalziumhydroxid den antibakteriellen Effekt von CHX zwar verringert, aber die Kombination beider Medikamente dennoch effektiver ist als Kalziumhydroxid allein. Dennoch besteht hier die Möglichkeit, Kalziumhydroxid mit NaOCl anzumischen um den antimikrobiellen Effekt gegen resistente Keime und Hefen auszunutzen. Hier zeigt sich ein deutlicher Vorteil darin, dass Hypochlorit von einem stark basischen pH-Wert

nicht gehemmt wird [Haenni et al. 2003, Zehnder et al. 2003]. In Bezug zur Zytotoxizität konnte *Siren et al.* [2004] keinerlei Unterschied zwischen der Kombination von $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{CHX}$ und den einzelnen Komponenten feststellen.

2.5.5 Glutardialdehyd

Im Jahr 1973 stellten *s`Gravenmade&Wemes* [1973] Glutardialdehyd erstmals zur Wurzelkanalbehandlung beherdeter und nicht beherdeter Zähne vor. Glutardialdehyd findet vor allem in der Histologie bei der Fixierung von Präparaten Anwendung. Weiterhin wird es in der Literatur als Alternative zu formaldehydhaltigen Präparaten wie Formocresol und Tricresolformalin verglichen, die heute als obsolet gelten. Im Vergleich zu Formaldehydhaltigen Präparaten bindet Glutardialdehyd Proteine irreversibel, zeigt kaum eine immunologische Reaktion, eine sofortige Fixation von Proteinen und Toxinen diffundiert nicht durch das Dentin, und umgeht eine schädigende Wirkung auf das periapikale Gewebe [Wemes 1982]. Eine weitere Eigenschaft besteht in der Erweichung des Dentins, das hier mit Hilfe von Aufbereitungsinstrumenten verbolzt werden kann und zu einem Verschluss der Seitenkanäle führt [Dankert 1976]. Untersuchungen konnten zeigen, dass 2%iges Glutardialdehyd die gesamte Kanalinnenwand verschließt und nicht wie bei Formocresol eine rasche und vollständige Diffusion in die Umgebung des Zahnes führt [Dankert 1976, s`Gravenmade 1981, Wemes 1983,]. In einer in-vivo Untersuchung von *Wolke* [2002] lag die Erfolgsrate bei Anwendung von 2%igem Glutardialdehyd bei 97%. Leider gibt es nur sehr wenig aktuelle Veröffentlichungen, was die Beurteilung einschränkt. Dazu gibt es heute zahlreiche Untersuchungen mit anderen Einlagen, die wissenschaftlich zahlreich gesichert und bestätigt sind.

2.5.6 Phenolderivate

Phenolkampfer-Mischungen wurden in der Medizin von Otto Walkhoff eingeführt, der diese für die Anwendung von Pulpaerkrankungen erstmals 1882 empfahl [Walkhoff 1982]. Seit jener Zeit waren diese Mischungen sehr beliebt und wurden zahlreich angewendet. Die Anwendung reichte von

Gangränbehandlung, Peridontitis [Imming 1911] bis zur Durchspülungstherapie von Fistelgängen [Münch 1923, Rosental et al. 1929]. Parachlorphenol-Lösungen sind starke Desinfektionsmittel wirken eiweißfällend und ätzend bei Kontakt mit vitalem Gewebe. Sie dringen bei der Anwendung im Wurzelkanal bis tief in das infizierte Kanalwanddentin vor, jedoch auch bis über das Foramen apicale hinaus in das periapikale Gewebe. Die antibakterielle Wirkung des Phenols beruht vermutlich auf der Fähigkeit, lipidhaltige Bakterienmembranen zu stören und in höheren Konzentrationen eine Denaturierung der Zellproteine zu bewirken. Bei niedrigeren Konzentrationen werden essentielle Enzymsysteme inaktiviert und Bakterienzellwände aufgelöst [Siqueira et al. 2002]. Durch den Zusatz von Kampfer wollte man die ätzende und toxische Wirkung des Chlorphenols aufheben. Es stellte sich heraus, dass sich durch das Zusetzen von Kampfer die Zytotoxizität steigert [Soekanto et al. 1996]. *Rosental et al.* [1929] werteten Langzeitergebnisse nach Anwendung verschiedener medikamentöser Einlagen aus. Hier konnten sie lediglich eine kurzfristige Hemmung des Wachstums von Mikroorganismen feststellen. Auch *Treanor&Goldman* [1972] konnten keine vollständige antiseptische Wirkung feststellen. In einer Studie von *Haapasalo&Ørstavik* [1987] konnte eine vollständige Keimfreiheit erreicht werden. In mehreren Studien konnte auch eine Zytotoxizität nachgewiesen werden [Harrison&Madonia 1971, Spangberg et al.1979]. In einer In-vitro-Untersuchung wurde das antibakterielle und zytotoxische Potential verschiedener Medikamente, unter anderem von Chlorphenol-Kampfer, Eugenol, Formokresol und EDTA untersucht. Hier zeigte sich, dass Chlorphenol-Kampfer weniger bakterizid wirkt als Eugenol und Formokresol, seine Biokompatibilität jedoch schlechter ist, als die von Eugenol, Formokresol und EDTA [Masillamoni et al. 1981]. In der Endodontie finden Chlorphenol-Präparate keine Indikationen mehr, da mit Kalziumhydroxid ein effektiveres und biologisch kompatibleres Material zur Verfügung steht.

2.5.7 Lokale Antibiotika-Kortikoid-Kombipräparate

Bei akuten apikalen Abszessen kommen häufig auch lokale Antibiotika zum Einsatz. Eines der am häufigsten angewendeten Produkte ist Ledermix.

Dieses Kombinationspräparat besteht aus Antibiotika und Kortison. Als Antibiotikum enthält es Demeclocyclin und die Kortikoid-Komponente besteht aus Triamcinolon. Die Wirkung von Ledermix ist seit Jahren umstritten und bis in die heutige Zeit nicht vollständig geklärt. Triamcinolon wird appliziert, um eine Schmerzreduktion durch Unterdrückung der Entzündungsreaktion zu erreichen. Damit kommt es leider zu keinerlei Keimreduktion im periapikalen Gewebe. Um dies zu erreichen und ein Vermehren der Bakterien zu verhindern wird Demeclocyclin beigegeben.

In einer Studie wurden Zähne von zahlreichen Schmerzpatienten aufbereitet und mit Ledermix, Ca(OH)_2 und ohne Einlage behandelt. Die geringsten Schmerzen für den Patienten lag bei der Einlage von Ledermix, gefolgt von Kalziumhydroxid [Ehrmann et al. 2003]. Dennoch konnte nachgewiesen werden, dass effektivere Kombinationen möglich sind. So z.B. eine Kombination mit Clindamycin [Lin et al. 2003]. Doch aufgrund zunehmender Allergiker und anderen Nachteilen wie Resistenzen und Unverträglichkeiten sollte dieses Antibiotikum gezielt eingesetzt werden.

2.6 Wurzelfüllmaterialien

Die European Society of Endodontologie (ESE) hat im Jahr 1994 die Anforderungen an ein Wurzelkanalfüllmaterial in Richtlinien klar definiert. Die geforderten Eigenschaften von Materialien zur Füllung von Wurzelkanälen umfassen Biokompatibilität, Dimensionsstabilität, Unlöslichkeit, und das Füllmaterial darf bakteriellem Wachstum gegenüber nicht förderlich sei, und es sollte röntgenopak und aus dem Kanal entfernbar sein [Richtlinien der European Society of Endodontologie 1994].

Hier hat sich die Wurzelfüllung mit Guttaperchapoints in Kombination mit einem Sealer als bewährte Methode etabliert. Dies wurde in zahlreichen klinischen Studien, wie der von *Guldener&Langeland* [1993] bewiesen.

Gewonnen wird Guttapercha aus dem eingedickten Milchsaff des Isonandra-Gutta-Baumes [Guldener&Langeland 1993]. Die Zusammensetzung der Guttaperchapoints ist herstellerabhängig. Meistens bestehen Guttaperchapoints zu ca. 20% aus Natur-Guttapercha als Matrix, Zinkoxid als Füllstoff, kleinen Mengen von Wachsen oder Kunststoffen als Zusatz zur Erhöhung

der Plastizität und aus Metallsulfaten, wie z.B. Bariumsulfat, als Röntgenkontrastmittel. Sie werden in allen ISO-Größen ab Größe 15 entsprechend den Aufbereitungsinstrumenten und verschiedenen Tapern angeboten. Normalerweise liegt Guttapercha bei Raumtemperatur in der β -Form vor. Erhitzung bis zur Erweichung bei 65°C und anschließende Abkühlung lassen bei 42 bis 49°C die α -Form entstehen, die klebrig, fließfähig und für die Kondensation im Wurzelkanal zu weich ist [Beer&Baumann 1997]. Die Verwendung von Guttapercha-Stiften hat den Vorteil, dass die Länge der Wurzelfüllung vor der Wurzelfüllungsprozedur festgelegt wird und somit diese erheblich erleichtert. Die alleinige Verwendung von Guttapercha wurde in diversen Dichtigkeitsstudien schlechter bewertet als die Kombination aus einer erhärtenden Wurzelkanalfüllpaste (Sealer) und Guttapercha [Oguntebi&Shen 1992, Hata&Kawazoe 1995, Niss et al. 1996, Mannocci&Ferrari 1998].

Seit geraumer Zeit sind Wurzelkanalfüllmaterialien aus Polycaprolacton auf dem internationalen Markt zu finden. Im Jahr 2003 wurde dieses Material von der American Dental Association als viel versprechend vorgestellt. Mehrere Studien kommen auch zu diesem Ergebnis [Teixeira et al. 2004, Shipper et al. 2005]. Der Vorteil dieses Füllmaterials liegt unter anderem in der Anwendung des polymerbasierten Sealers Epiphany, der aus dem gleichen Material besteht und mit diesem einen Monoblock bildet. Der Sealer Epiphany erleichtert auch die Handhabung der Wurzelkanalfüllungen, da dieser innerhalb von 25 Minuten autopolymerisiert aber auch mittels Polymerisationslampe innerhalb von 40 Sekunden zum Aushärten gebracht werden kann. Auch in der Dichtigkeit weist Resilon eine 6fach bessere Dichtigkeit zur Guttapercha in Kombination eines Pastensealers auf [Shipper et al. 2004]. In Abhängigkeit zur Aufbereitungsmethode zeigt Resilon auch eine geringere Frakturneigung gegenüber Wurzelkanälen auf, die mit Guttapercha gefüllt wurden [Teixeira et al. 2004].

In wie fern Resilon Guttapercha ablöst, wird sich in weiteren Studien zeigen müssen. Da dieses Material erst seit wenigen Jahren auf dem Markt ist kann diesbezüglich keine abschließende Aussage wegen fehlender Langzeitergebnisse gemacht werden.

2.7 Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)

Wurzelfüllpasten haben die Aufgabe, einen bakteriendichten Verschluss zwischen dem Wurzelfüllmaterial und der Kanalwand zu vermitteln. Die Europäische Gesellschaft für Endodontologie sieht Aufgaben eines Sealers vor allem beim Verschluss lateraler, akzessorischer Kanäle, offenliegender Dentintubuli, Ausgleich kleiner Unebenheiten entlang der Kanalwand und der Herstellung einer dichten Verbindung zwischen Stift und Kanalwand [Richtlinien der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie 1994].

Es stehen uns verschiedene Sealerprodukte zur Verfügung. Pasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis, Kunstharz-Basis, Kalziumhydroxid-Basis, Glasionomerzemente und auch neuere Produkte auf Polymerbasis. Dabei gibt es Qualitätsunterschiede der verschiedenen Pasten. So haben Silikon- und Kunstharz-Sealer die besten Abdichtungseigenschaften und Silikon-Sealer besitzen die beste Biokompatibilität. Etabliert hat sich die laterale Kondensationstechnik mit Guttapercha in Kombination mit einem Pastensealer.

2.8 Problematik bei der Applikation der chemischen Komponenten in Wurzelkanäle

2.8.1 Übersicht

Medikamente, die in der Zahnmedizin im Bereich der Wurzelkanäle eingesetzt werden, können verschiedene Konsistenzen und Viskositäten aufweisen. Im Prinzip können keimreduzierende Medikamente in allen Formen vorliegen und angewendet werden. Im Bereich der Endodontie bietet sich dennoch an, Gele, Pasten oder Suspensionen anzuwenden und auf Lösungen in wässriger Form als Einlage zu verzichten [Gomes et al. 2006]. Um dies zu erreichen werden diese wässrigen Einlagen nur kurzfristig zur Keimreduktion als Spüllösungen angewendet. Gele, Pasten und Suspensionen hingegen als längerfristige medikamentöse Einlagen.

2.8.2 Applikationsformen

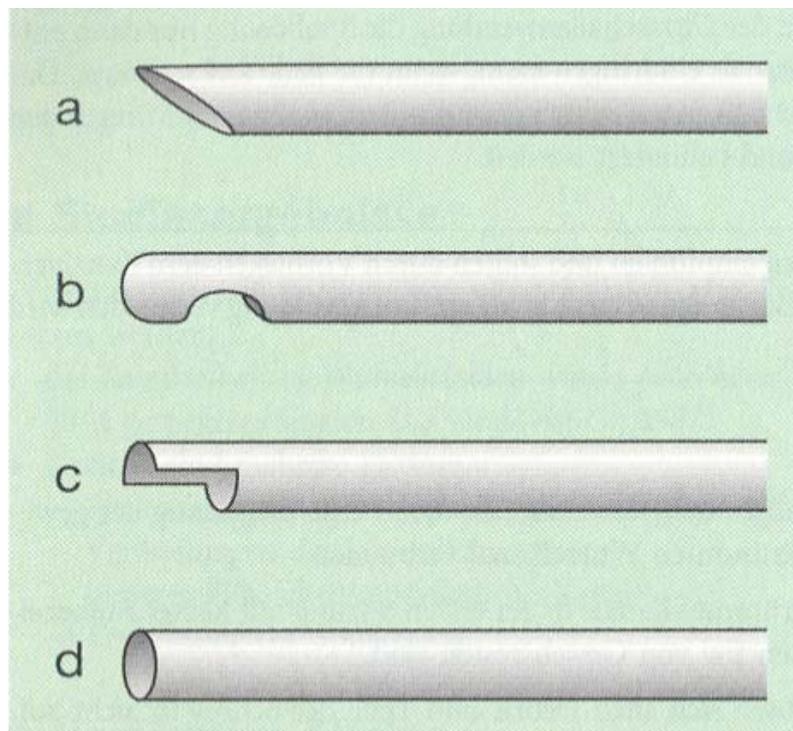
Pasten oder Gele können auf verschiedene Weisen in den Wurzelkanal eingebracht werden. So ist es theoretisch auch möglich, diese auf den Kanal zu applizieren und mit einem Instrument mit passendem Durchmesser nach apikal zu befördern. Um eine effektive Applikation zu erreichen sollten Applikationsmethoden eine leichte und sichere Applizierbarkeit sowie eine hohe Effektivität bei der Benetzung im Kanal ermöglichen.

Leider wird die Applikationsart bei Studien nicht erwähnt. Deshalb ist es schwierig, annähernd vergleichende Beschreibungen in diesem Bereich zu finden. Weiterhin findet eine Dokumentation im Hinblick auf den Durchmesser der Kanülen bei der Applikation von Spüllösungen und Penetrationstiefen im Bereich des Wurzelkanals nur unzureichend Beachtung. Allein für Kalziumhydroxid lassen sich in der Literatur Hinweise finden. Als Standardapplikationsmethode wird empfohlen, eine $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Paste mit einem Lentulo in den Kanal einzubringen und mit einem Plugger oder einer Papierspitze zu verdichten, um einen Kontakt zwischen der Paste und der Wurzelkanalwand zu ermöglichen [Bargholz et al. 2006]. Im Anschluss daran wird der Kanal mit einer sterilen Watte abgedeckt und mit einem provisorischen Material verschlossen. Auch CHX-Gel kann mit einem Lentulo in den Kanal eingebracht werden [Haenni et al. 2003]. Um eine einfachere Applizierbarkeit zu erreichen wurden kalziumhydroxidhaltige Guttaperchaspitzen entwickelt. In einer Studie von *Barthel-Zimmer* [2001] konnte nachgewiesen werden, dass diese Spitzen in Bezug auf die Applikation Vorteile besitzt, dennoch in der Effektivität im Vergleich von CHX und $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Pasten oder Gelform ohne die Kombination mit Guttapercha deutlich unterlegen ist.

2.8.3 Applikationskanülen

Zum Spülen kommen meist verschiedene Typen von Kanülen zum Einsatz. So finden diese meist mit einem Durchmesser von 0,3-0,4 mm Anwendung. Auch die Form der Spitze kann unterschiedliche Formen aufweisen. Zum einen können Kanülen mit scharfer Spitze, mit einer abgerundeten Spitze

und seitlichen Austrittsfenstern (Max-i-Probe) oder auch gerade stumpfe Kanülen verwendet werden (Abb. 2.7) [Bargholz et al. 2006]. Kanülen mit seitlichen Austrittsfenstern haben eine höhere Sicherheit gegenüber dem Überpressen von Spülflüssigkeit, erschweren dafür aber auch den Austausch der apikal befindlichen Spülflüssigkeit. Ein Überpressen der Spülflüssigkeit sollte vermieden werden [Gernhardt 2004, Al-Hadlag 2006]. Um eine effektivere Reinigung der apikalen Region zu erreichen, wurden Spülkanülen mit einem Spitzendurchmesser von 0,3 mm (entspricht ISO 30) aus Nickel-Titan entwickelt. Damit kann auch in gekrümmten Kanälen Spülflüssigkeit in die Region des apikalen Deltas gebracht werden.



*Abb. 2.7:
Verschiedene Spitzen verwendeter Spülkanülen.
Quelle: C.Bargholz; Praxisleitfaden Endodontie*

2.9 Bisherige Methoden und Ergebnisse zur Fragestellung in-vitro

2.9.1 Auswahl der Proben

In der Regel werden in-vitro Untersuchungen an extrahierten menschlichen Zähnen durchgeführt. Um aussagekräftige Ergebnisse aus solchen Studien abzuleiten, sollten die Proben in allen Untersuchungsgruppen unter gleichen anatomischen Gesichtspunkten, ausgewählt werden [Wu&Wesselink 1993]. Dies gilt für die Faktoren Wurzellänge, Wurzelkonfiguration, apikale Konstriktion und Zahngruppe.

2.9.2 Art der Aufbereitung

Um den Wurzelkanal frei von Geweberesten und Mikroorganismen zu machen und einen Langzeiterfolg der Wurzelkanalbehandlungen zu gewährleisten, wird eine Aufbereitung mit chemischen und mechanischen Mitteln empfohlen [Schäfer et al. 2000]. Dabei soll der ursprüngliche Verlauf des Wurzelkanals beibehalten werden. Weiterhin sollte die endgültige Aufbereitungslänge vorher festgelegt sein, um eine Überinstrumentierung zu vermeiden [Schäfer et al. 2000]. Die Aufbereitungslänge ist durch das Foramen physiologicum vorgegeben [Voß et al. 2004].

Die Aufbereitung kann in geraden Kanälen mit Edelstahlinstrumenten erfolgen oder in gekrümmten Kanälen mit Ni-Ti Instrumenten, um eine Begradigung des ursprünglichen Kanalverlaufs zu verhindern [Merte 2002a&2002b]. In jüngster Zeit werden dennoch zunehmend maschinelle Aufbereitungstechniken mit Ni-Ti Instrumenten in Kombination mit der Crown Down Technik angewendet [Hülsmann 2002a]. Auch die Aufbereitung mit einem Taper von 04 wird zunehmend empfohlen [Al-Hadlaq et al. 2006]. Hier zeigt sich neben einer deutlichen Zeitersparnis eine gute Formgebung insbesondere bei der Aufbereitung von gekrümmten Kanälen [Hülsmann et al. 2003, Schäfer et al. 2004]. Leider weisen im Vergleich zu manuellen Handinstrumenten die Ni-Ti-Instrumente ein größeres Frakturrisiko auf und müssen frühzeitig ausgetauscht werden, um Torsions- und Biegeermüdungen vorzubeugen [Pruett et al. 1997, Booth et al. 2003]. Am Sichersten sind

die Ni-Ti-Instrumente bei drehmomentbegrenzter Rotation [Tepel 2000].

2.9.3 Auswahl der Spüllösungen

Es zeigt sich, dass vor allem apikale Bereiche des Wurzelkanals oft ungenügend aufbereitet werden [Foschi et al. 2004]. Um auch diese Bereiche zu erreichen und die Gängigkeit des Zahnkanals gewährleisten zu können und Gewebereste, sowie Bakterien, die einer mechanischen Aufbereitung nicht zugänglich sind zu entfernen, sollen Spüllösungen angewendet werden [Hülsmann 2000]. Als Standardmedium bei der Spülung des Wurzelkanals gilt NaOCL [Gernhardt et al. 2004, Clarkson et al. 2003], welches meist in Konzentrationen zwischen 0,5% und 2% empfohlen wird [Moorer&Wesselink 1982, Byström&Sundqvist 1983]. Unabhängig von der Konzentration spielt hier auch noch die Kontaktzeit eine Rolle. Beschrieben wird eine allgemeine Spülzeit von 5 Minuten pro Kanal [Tronstad 2003]. Dennoch werden durch die mechanische Aufbereitung Seitenkanäle und Dentintubuli verblockt und verhindern somit eine weitere Keimreduktion durch fehlende Kontaktzeit mit der Spüllösung. Um diesen „Smear layer zu entfernen, wird EDTA in flüssiger oder in pastöser Form als Gleitmittel vor allem bei maschineller Wurzelkanalaufbereitung angewendet. Mayer et al. [2002] zeigten, dass nach einer einminütigen Einwirkzeit von EDTA eine gute Entfernung der Schmierschicht zu erreichen ist. Eine Spülung mit EDTA empfiehlt sich erst nach Abschluss der Aufbereitung, um die Schmierschicht zu entfernen und abschließend ein weiteres Mal mit NaOCL zu spülen. Dadurch können die Keime in den geöffneten Dentintubuli und im apikalen Drittel entfernt werden [Yamada et al. 1983]. Zur Behandlung von Problemfällen müssen zeitweise Kombinationen angewendet werden. So wird z.B. bei persistierenden apikalen Parodontitiden *E. faecalis* verantwortlich gemacht [Pinheiro et al. 2003]. Da NaOCL eine schlechtere Wirkung gegen *E. faecalis* im Vergleich zu CHX aufweist [Menezes et al. 2004, Siren et al. 2004], und CHX keine proteolytische Eigenschaft aufweist, wird eine Kombination mit NaOCL empfohlen [Law&Messer 2004, Okino et al. 2004]. Weiterhin zeigt die Entwicklung, dass auch neuere Spüllösungen wie MTAD von Bedeutung sein können. In dieser Kombinationslösung sind

alle erwünschten Eigenschaften kombiniert [Torabinejad et al. 2003a&2003b]. Leider fehlen diesbezüglich unabhängige Studien.

2.9.4 Auswahl der medikamentösen Einlagen

Die Wahl der chemischen Einlagen sollte situationsbedingt eingesetzt werden. Um z.B. nach einer akuten apikalen Parodontitis eine Schmerzausschaltung zu erreichen, sollte eine Einlage mit lokalen Antibiotika-Kortikoid-Präparaten vorgenommen werden [Ehrmann et al. 2003].

Dennoch ist Kalziumhydroxid in der Endodontie noch immer das Mittel der Wahl, um Keime zu reduzieren und Bakterien abzutöten. Ein weiterer Vorteil liegt in der leicht gewebeauflösenden Wirkung [Grawehr 2003] und der geringen Toxizität. Dennoch gibt es Gründe für andere medikamentöse Einlagen oder auch Kombinationen verschiedener Komponenten. Hier spielen Problemkeime wie *E. faecalis* [Pinheiro et al. 2003] eine wichtige Rolle, da sie für das Persistieren von apikalen Parodontitiden verantwortlich gemacht werden. Um auch diese Keime zu eliminieren und die Prognose für den Erhalt der trepanierten Zähne zu verbessern, empfehlen mehrere Autoren Kalziumhydroxid mit anderen Stoffen wie z.B. Chlorhexidin [Evans et al. 2003] oder NaOCl [Zehnder 2003] zu kombinieren. So zeigt eine Kombination von Kalziumhydroxid und Chlorhexidin eine schnellere keimtötende Wirkung gegenüber *P. micros* und *S. intermedius* [Podbielski et al. 2003].

2.9.5 Art der Applikationsmethode

Damit der Wurzelkanal eine ausreichende Kontaktfläche mit Spüllösungen aufweist, spielt die Anwendung von Spülkanülen eine wichtige Rolle. Diese sollen möglichst dem Kanaldurchmesser angepasst sein, um auch apikale Bereiche des Wurzelkanals zu erreichen und ein Ausschwemmen der Spüllösung und von Sekreten zu ermöglichen [Sedgley et al. 2005]. Ein Überpressen der Spüllösung über die apikale Region hinaus ist zu vermeiden [Gernhardt et al. 2004]. Deshalb werden Kanülen mit seitlichem

Austrittsfenster empfohlen [Stock et al. 2005].

Im Bereich der medikamentösen Einlagen wird als Standardmethode empfohlen eine Ca(OH)_2 -Paste mit einem Lentulo in den Kanal einzubringen und mit einem Plugger oder einer Papierspitze zu verdichten, um einen Kontakt zwischen der Paste und der Wurzelkanalwand zu ermöglichen [Bargholz et al. 2006]. Auch CHX-Gel kann mit einem Lentulo in den Kanal eingebracht werden. [Haenni et al. 2003]. Wie effektiv dabei Pasten oder Gele mit einem Lentulo oder einer Kanüle in den Wurzelkanal eingebracht werden können, lässt sich in der Literatur leider nicht finden.

3. Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit hat zum Ziel, für keimreduzierende Medikamente in Gelform die Eindringtiefe in Wurzelkanäle zu beurteilen und zu bewerten. Hierbei soll die Abhängigkeit zur Aufbereitungsgröße des Kanals berücksichtigt werden. Als Kontrolle dient der bisherige Goldstandard (Medikament $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Suspension, Einbringung mit Füllspirale). Als Medikamente dienen einerseits ein reines Chlorhexidindigluconat-Gel, andererseits das benannte CHX-Gel in Kombination mit Kalziumhydroxid.

Mit Hilfe statistischer Methoden sollen folgende Arbeitshypothesen überprüft werden:

1. Die Eindringtiefe des CHX-Gels ist genau so groß wie diejenige des Goldstandards.
2. Die Eindringtiefe des kombinierten Gels (CHX + Kalziumhydroxid) ist genau so groß wie diejenige des reinen CHX-Gels.
3. Die Eindringtiefe für alle Versuchsgruppen ist bei einer Kanalaufbereitung von 04/25 genau so groß wie für eine mit 04/35.
4. Die Eindringtiefe des CHX-Gels und des kombinierten Gels (CHX + Kalziumhydroxid) weist keinerlei Abhängigkeit von der Applikationsform (Lentulo oder Applikationsspritze) auf.

4 Vorversuche

4.1 Ziel der Vorversuche

Ein Ziel bei den Vorversuchen war es, ein CHX-Gel mit einem Röntgenkontrastmittel zu versetzen, um verschiedene Applikationsmethoden beurteilen zu können. Ein weiteres Ziel galt der Herstellung einer Mischung eines CHX-Gels in Kombination mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$, das auch mit einem Röntgenkontrastmittel versetzt wurde und auf gleiche Weise appliziert und beurteilt werden sollte. In den Vorversuchen sollte der Durchfluss der Prüf-Formulierungen durch eine Kanüle mit einem Durchmesser von 0,4 mm erreicht und überprüft werden. Ein weiteres Ziel war es, einen Weg für die Kalibrierung der Röntgenbilder nach Medikamentenapplikation zu erreichen.

Taper

Unter einem Taper versteht man die Konizität, der Aufbereitungsinstrumente in Durchmesseränderung in mm der Instrumentenlänge. Instrumente mit einer Konizität von 02 sind nach ISO 3630 genormt. Konizitäten die stärker als 02 sind weichen von den ISO-Normen ab. Für die Aufbereitung von Wurzelkanälen finden meist Instrumente mit einem Taper von 02-06 Anwendung.

4.2 Probenherstellung

Für die Vorversuchsreihe wurden 8 extrahierte menschliche Zähne per Zufall in zwei Gruppen eingeteilt. Nach der Kanaleingangsdarstellung und der Festlegung der apikalen Masterfeile wurde die eine Gruppe mit einem Taper von 04/25 und die andere mit 04/35 aufbereitet. Während der Aufbereitung wurden die Proben regelmäßig mit 3% NaOCl gespült. Nach einer Abschlusspülung mit 17% EDTA und einer Einwirkzeit von 1min wurden die Proben mit NaOCl nachgespült und mit Papierspitzen getrocknet.

4.3 Herstellung der Versuchsgruppen und Applikation der Mischungen

Hier wurde ein konventionelles CHX-Gel mit verschiedenen Konzentrationen von Bariumsulfat in einem Anmischrührgerät und einer Umdrehungszahl von 200 U/min für 5 Minuten gemischt.

Mischung in Gew. % CHX:BaSo ₄	Zahn 1 ISO 25	Zahn 2 ISO 35	Zahn 3 ISO 25	Zahn 4 ISO 35	Zahn 5 ISO 25	Zahn 6 ISO 35	Zahn 7 ISO 25	Zahn 8 ISO 35
Mischung A 1:1	X	X						
Mischung B 1:0,5			X	X				
Mischung C 1:0,25					X	X		
Mischung D 1:0,1							X	X

Tab. 4.1:

Die unterschiedlichen Mischungen A-D wurden in eine Glasampulle eingefüllt, mit einer Druckeräthesiespritze und einer Kanüle mit einem Durchmesser von 0,4 mm in je zwei Zahnwurzeln appliziert. Mischung A in Zahn 1 und 2, Mischung B in Zahn 3 und 4, Mischung C in 5 und 6, Mischung D in 7 und 8.

Die Herstellung der zweiten Probennguppe erfolgte in Anlehnung an die erste. Auch hier wurde jede Mischung in eine Glasampulle eingefüllt, mit einer Druckeräthesiespritze und einer Kanüle mit einem Durchmesser von 0,4 mm in je zwei Zahnwurzeln appliziert. Es wurde bei der Applikation der beiden Versuchsgruppen darauf geachtet, dass je Mischung ein Zahn der Aufbereitungsgröße ISO 25 und ein Zahn der Größe ISO 35 abgefüllt wurde (ungerade Zahlen ISO 25).

Mischung in Gew. % CHX:BaSO ₄ : Ca(OH) ₂	Zahn 1 ISO 25	Zahn 2 ISO 35	Zahn 3 ISO 25	Zahn 4 ISO 35	Zahn 5 ISO 25	Zahn 6 ISO 35	Zahn 7 ISO 25	Zahn 8 ISO 35
Mischung I 1:0,9:0,1	X	X						
Mischung II 1:0,4:0,4			X	X				
Mischung III 1:0,6:0,4					X	X		
Mischung IV 1:0,5:0,1							X	X

Tab. 4.2:

Der Unterschied der Versuchsgruppen I-IV zu den Versuchsgruppen A-D liegt in der Beimengung von Ca(OH)₂.

4.4 Anwendungen von Kalziumhydroxid in der Kontrollgruppe

Um eine homogene Füllung mit Kalziumhydroxid zu erreichen, musste die fabrikgefertigte Mischung mit dest. Wasser zu einer breiigen Suspension verdünnt werden.

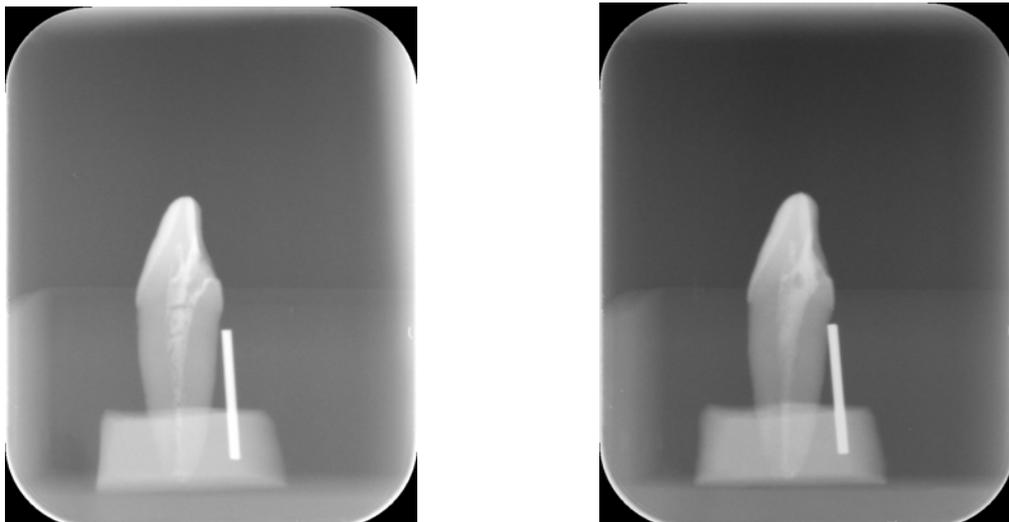


Abb. 4.1:

Calxyl ohne dest. Wasser und Calxyl mit dest. Wasser. Das Kalziumhydroxid wurde im Verhältnis 1:0,5 Vol% angemischt.

4.5 Herstellung der Referenzstifte

Um nach der Applikation der Medikamente und der Anfertigung von Röntgenbildern diese richtig auswerten zu können, wurde aus einem Stahldraht mit einem Durchmesser von 0,9 mm ein Referenzstift mit einer Länge von 1 cm angefertigt, damit eine Kalibrierung der Röntgenbilder durchgeführt werden konnte.

4.6 Auswertung der Vorversuche

Die Vorversuche wurden nach folgenden Kriterien beurteilt:

0: Keine Applikation möglich
1: Gute Applikation und keine oder schlechte Röntgenkontrastgebung
2: Gute Applikation und schlechte Röntgenkontrastgebung
3: Gute Applikation und gute Röntgenkontrastgebung

CHX +Bariumsulfat

Mischung in Gew.% CHX:BaSO ₄	Zahn 1 ISO 25	Zahn 2 ISO 35	Zahn 3 ISO 25	Zahn 4 ISO 35	Zahn 5 ISO 25	Zahn 6 ISO 35	Zahn 7 ISO 25	Zahn 8 ISO 35
Mischung A 1:1	0	0						
Mischung B 1:0,5			3	3				
Mischung C 1:0,25					2	2		
Mischung D 1:0,1							1	1

Tab. 4.3:

Die Tabelle zeigt das beste Ergebnis bei Mischung B, wobei keinerlei Unterschied in Bezug zur Aufbereitungsgröße festgestellt werden konnte.

CHX +Bariumsulfat + Kalziumhydroxid

Mischung in Gew. % CHX:BaSO₄:Ca(OH)₂	Zahn 1 ISO 25	Zahn 2 ISO 35	Zahn 3 ISO 25	Zahn 4 ISO 35	Zahn 5 ISO 25	Zahn 6 ISO 35	Zahn 7 ISO 25	Zahn 8 ISO 35
Mischung I 1:0,9:0,1	0	0						
Mischung II 1:0,4:0,4			0	0				
Mischung III 1:0,3:0,2					2	2		
Mischung IV 1:0,5:0,1							3	3

Tab. 4.4:

Hier zeigte die Mischung IV das beste Ergebnis, wobei auch hier kein Unterschied zur Aufbereitungsgröße festgestellt werden konnte.

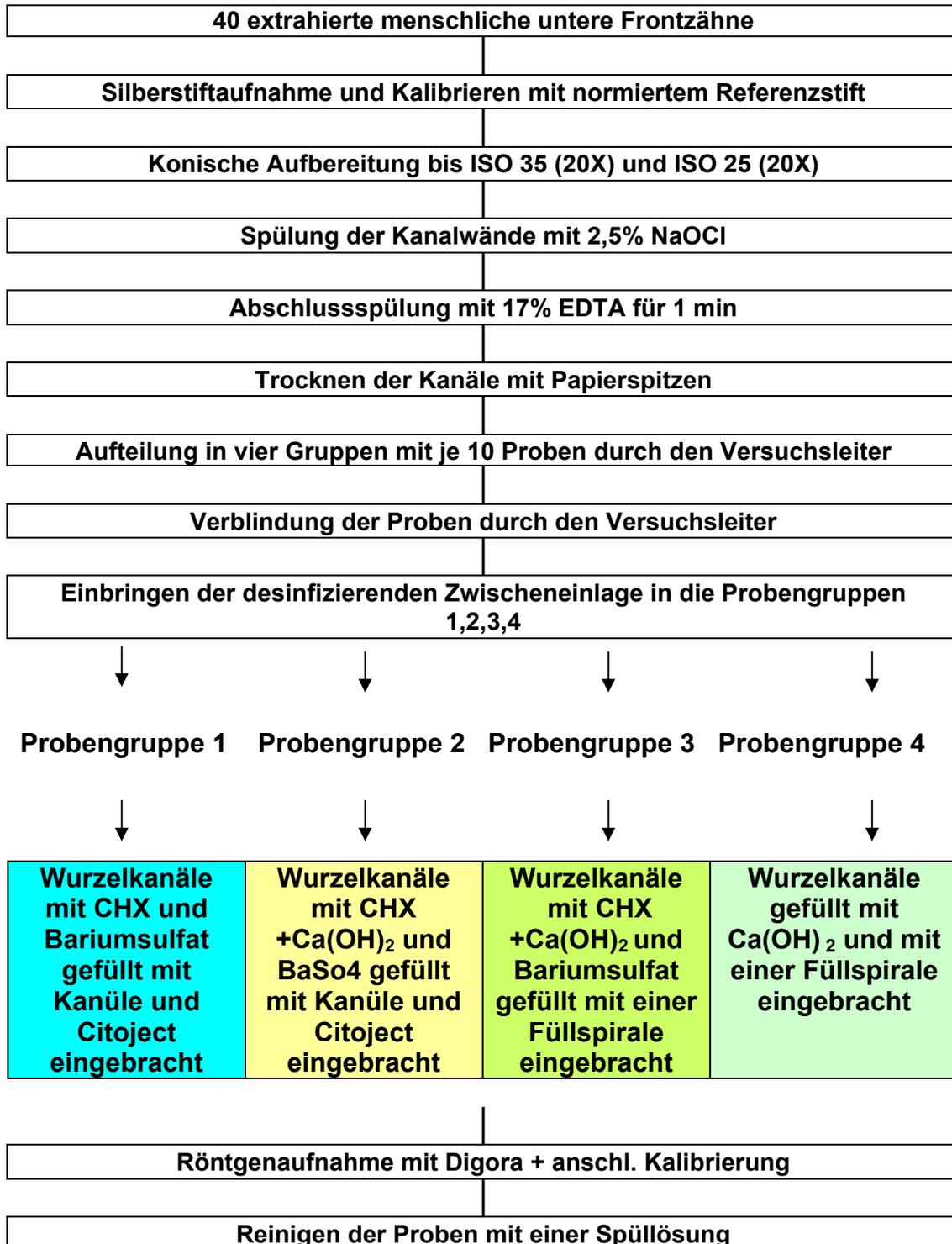
5 Material und Methode

5.1 Versuchsablauf

Es wurden 40 extrahierte menschliche einkanalige Frontzähne mit einem geraden oder leicht gekrümmten Kanal nach der Kanaleingangsdarstellung mit einer Referenz versehen und geröntgt. Nach der Kalibrierung mit Hilfe des Referenzstiftes wurden 20 Zähne mit einer Aufbereitungsgröße von ISO 25 und 20 Zähne mit der Größe 35 aufbereitet. Während der Aufbereitung wurden die Kanäle mit 2,5%iger NaOCl-Lösung gespült. Als Abschluss-Spülung diente eine 17%ige EDTA Lösung. Die Kanäle wurden im Anschluss mit Papierspitzen getrocknet und durch den Versuchsleiter verblindet und in vier Versuchsgruppen (zu je 10 Zähnen) eingeteilt. Nun wurden die desinfizierenden Zwischeneinlagen in die verschiedenen Probengruppen eingebracht.

Probengruppe 1 wurde mit einer Mischung von CHX und BaSo₄ und Kanüle eingebracht, Probengruppe 2 mit CHX +Ca(OH)₂ und Kanüle, Probengruppe 3 mit CHX+BaSo₄ und Füllspirale, Probengruppe 4 mit Ca(OH)₂ und Füllspirale. Danach wurde von allen Zähnen Röntgenaufnahmen in zwei Ebenen hergestellt. Die Zähne wurden im Anschluss gereinigt, um die gleichen Probengruppen mit den nächsten Formulierungen und entsprechenden Techniken abfüllen zu können. Dieser Vorgang wurde so oft wiederholt, dass jede Probengruppe mit jeder Formulierung einmal abgefüllt wurde. Die Röntgenaufnahmen wurden nun ausgewertet und anschließend durch den Versuchsleiter entblindet.

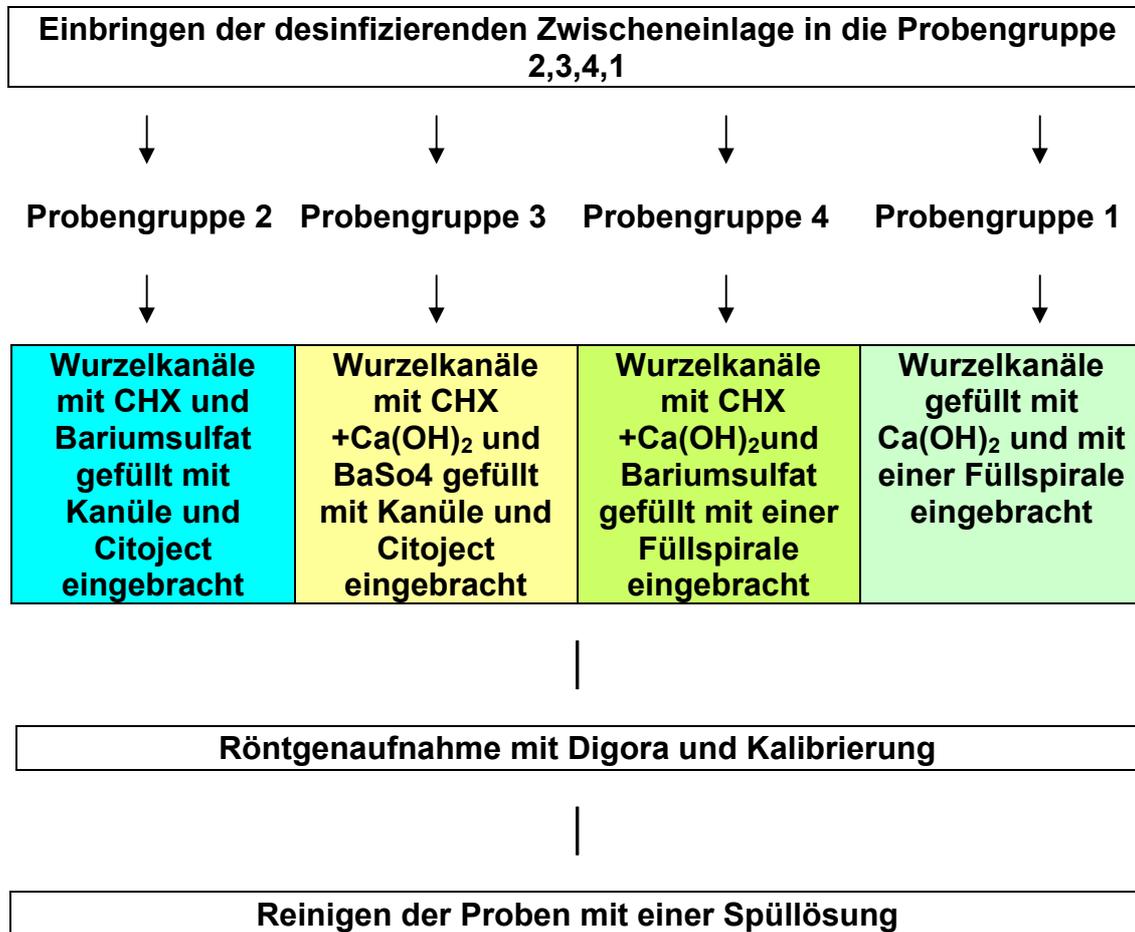
Die folgenden Tabellen beschreiben den schematischen Versuchsaufbau:



Tab. 5.1:

Erster Versuchsdurchlauf der Probengruppen 1-4. Die Probengruppe 1 wurde mit der Mischung CHX/BaSo₄ und Kanüle gefüllt, die Probengruppe 2 mit CHX/Ca(OH)₂/ BaSo₄ gefüllt mit Kanüle, die Probengruppe 3 CHX/ BaSo₄ mit Füllspirale gefüllt und Probengruppe 4 Ca(OH)₂ mit einer Füllspirale.

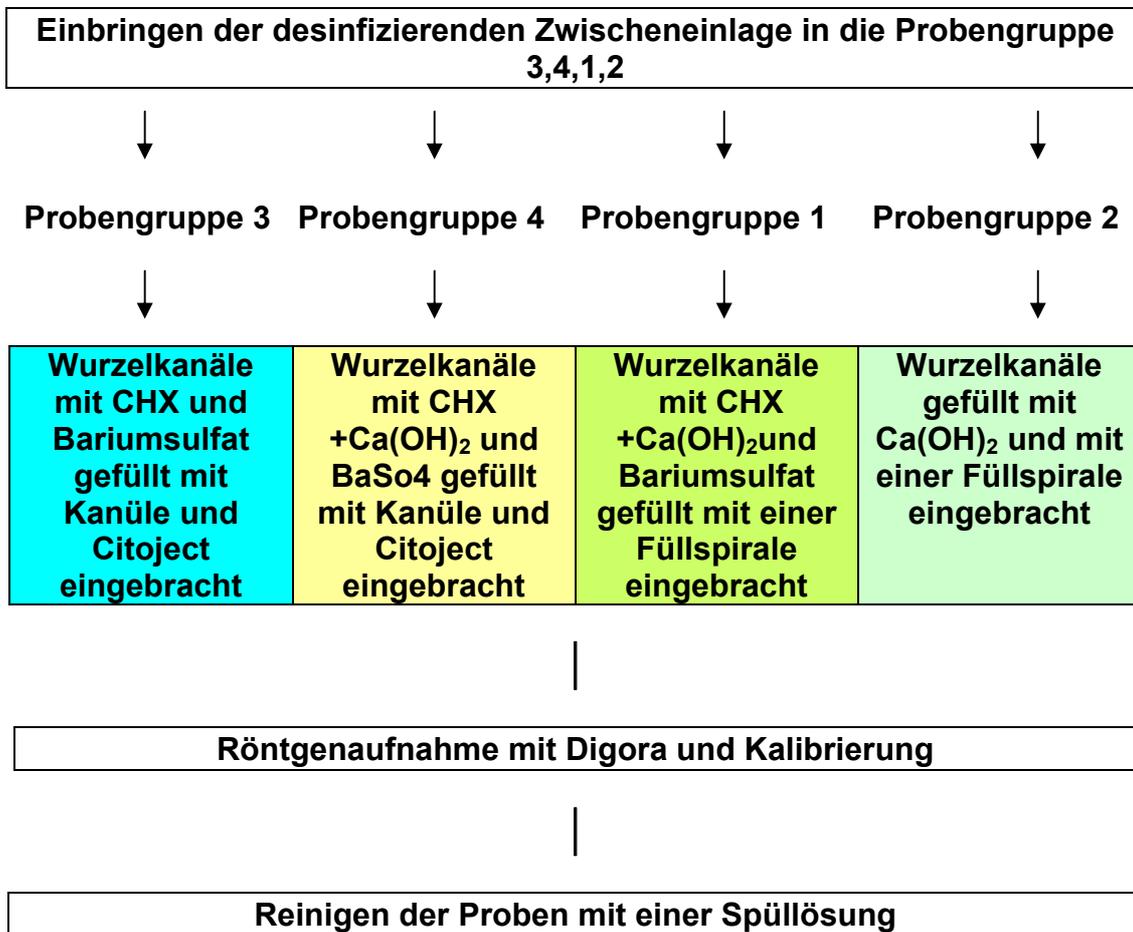
Nach dem Reinigen der Probengruppen wurde im zweiten Versuchsablauf die Reihenfolge der Gruppen verändert:



Tab. 5.2:

Zweiter Versuchsdurchlauf der Probengruppen 1-4. Hier wurde die Probengruppe 2 mit der Mischung CHX/BaSo₄ und Kanüle gefüllt, die Probengruppe 3 mit CHX/Ca(OH)₂/ BaSo₄ gefüllt mit Kanüle, die Probengruppe 4 CHX/ BaSo₄ mit Füllspirale gefüllt und Probengruppe 1 mit Ca(OH)₂ und einer Füllspirale.

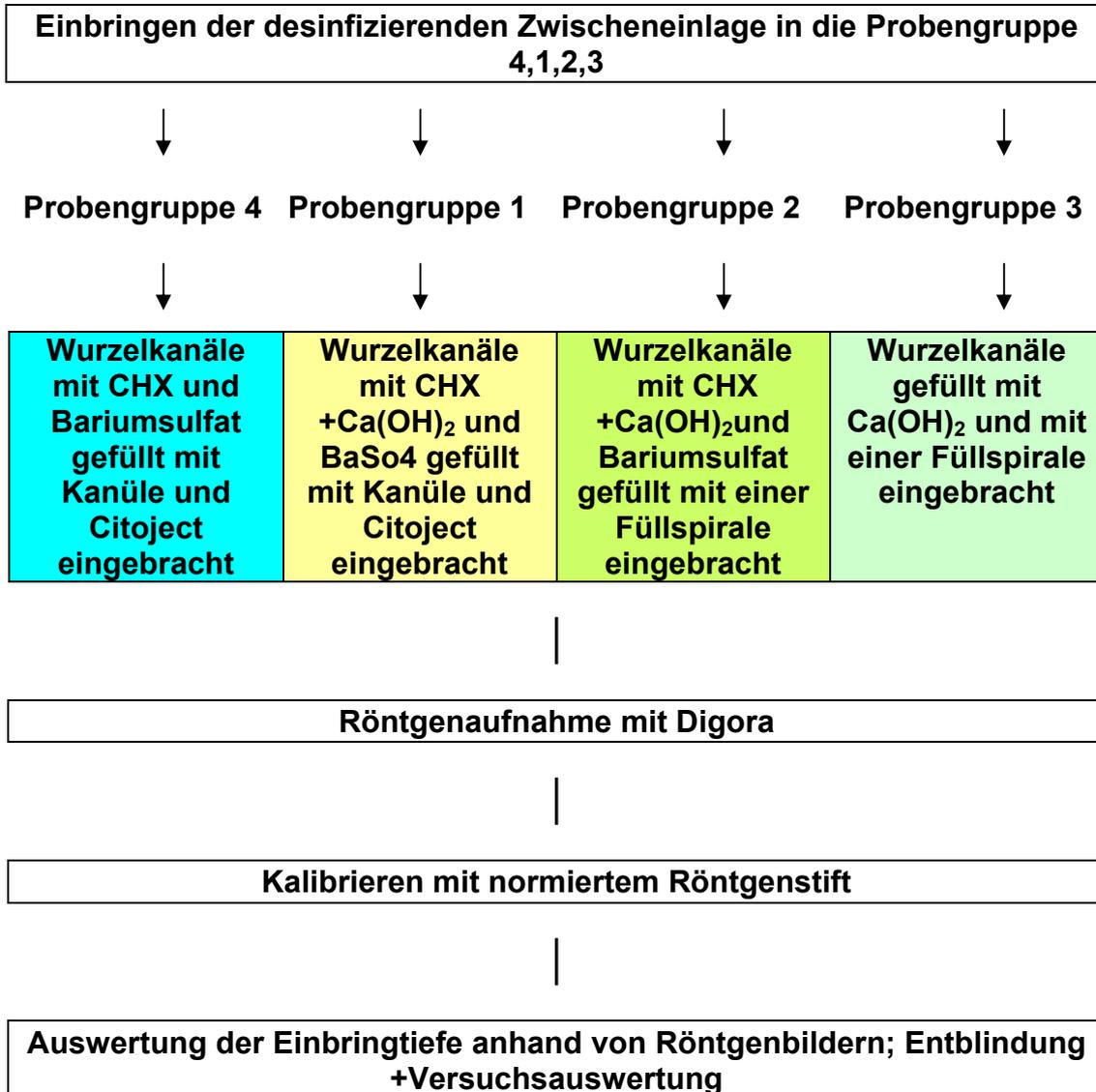
Der dritte Versuchsablauf verlief schematisch genau wie der erste und zweite Versuchsablauf. Auch hier wurde die Reihenfolge verändert:



Tab. 5.3:

Dritter Versuchsdurchlauf der Probengruppen 1-4. Hier wurde die Probengruppe 3 mit der Mischung CHX/BaSo₄ und Kanüle gefüllt, die Probengruppe 4 mit CHX/Ca(OH)₂/ BaSo₄ gefüllt mit Kanüle, die Probengruppe 1 CHX/ BaSo₄ mit Füllspirale gefüllt und Probengruppe 2 mit Ca(OH)₂ und einer Füllspirale.

Im letzten Versuchsdurchlauf wurde die Reihenfolge erneut verändert, damit alle Proben mit jeder Versuchsgruppe einmal abgefüllt waren und die Gesamtergebnisse ausgewertet werden konnten:



Tab. 5.4:

Vierter Versuchsdurchlauf der Probengruppen 1-4. Hier wurde die Probengruppe 4 mit der Mischung CHX/BaSo₄ und Kanüle gefüllt, die Probengruppe 1 mit CHX/Ca(OH)₂/ BaSo₄ gefüllt mit Kanüle, die Probengruppe 2 CHX/ BaSo₄ mit Füllspirale gefüllt und Probengruppe 3 mit Ca(OH)₂ und einer Füllspirale

5.2 Probenherstellung

5.2.1 Auswahl der Zähne

Für die Studie wurden extrahierte menschliche Zähne aus der Unterkieferfront mit geraden Wurzeln ausgewählt. Gesammelt wurden die Zähne in freien Praxen in Marburger und Stuttgarter Umgebung und waren zu Versuchsbeginn nicht älter als 12 Wochen. Sie wiesen nur einen Wurzelkanal auf. Weitere Auswahlkriterien waren ein gerader oder nur leicht gekrümmter Kanalverlauf, ein abgeschlossenes Wurzelwachstum, ein kariesfreier Wurzelbereich, fehlen mechanischer Beschädigungen und das Fehlen einer endodontischen Vorbehandlung.

Die Zähne wurden nach der Extraktion bis zum Zeitpunkt des Versuchsbeginns bei Raumtemperatur in gesättigter Thymollösung (Merk, Darmstadt) gelagert. Hierin wurden sie weiter während der gesamten Versuchsdauer aufbewahrt.

5.2.2 Vorbereitung und Trepanation der Zähne

Die 40 Zähne wurden zunächst mittels eines Ultraschall-Zahnreinigungsgerätes (Kavo, Leutkirch), eines Hand-Scalers (Deppeler, Rolle) und eines Skalpell (Aesculap, Tuttlingen) von Zahnstein, subgingivalen Konkrementen und Geweberesten befreit. Anschließend wurde mit einem Diamantbohrer eine Kanalzugangskavität geschaffen und die Kanaleingänge dargestellt. Mit einer Handfeile (ISO 10) wurde die Gängigkeit des Kanals geprüft und im Anschluss daran die Länge jeder Wurzel mittels einer Silberstiftaufnahme bestimmt. Hierzu wurden Silberstifte bis zum Apex vorgeschoben und die Röntgenaufnahmen mit den bekannten Längen dieser Stifte kalibriert und somit die Aufbereitungslänge festgelegt.

Um eine Verwechslung der Zähne auszuschließen, wurde auf der vestibulären Zahnfläche mit einem rotierenden Instrument eine eindeutige Zahl eingraviert.

5.3 Aufbereiten der Wurzelkanäle

Die Zähne wurden mit maschinellen Instrumenten (Flexmaster, VDW, München) und der Crown-down-Technik aufbereitet. Je 20 Zähne wurden auf einen apikalen Durchmesser der ISO-Größe 25 aufbereitet, hierzu wurde folgende Reihenfolge der Instrumente verwendet:

06/25; 06/20; 04/30; 04/25.

Je 20 Zähne wurden auf einen apikalen Durchmesser der ISO-Größe 35 aufbereitet, hierzu wurde folgende Reihenfolge der Instrumente verwendet:

06/30; 06/25; 06/20; 04/30; 04/35.

Während der Aufbereitung wurden die Kanäle aller Versuchsgruppen mit 2,5% Natriumhypochlorit (Dr. Seeger GmbH, Stuttgart) gespült. Als Abschlusspülung wurden die Zähne mit einer 15%igen EDTA-Lösung (Klinikum Marburg) für eine Minute gespült, und anschließend mit Papier spitzen getrocknet (VDW, München). Aufbewahrt wurden die Proben bis zur weiteren Verarbeitung für maximal 1 Woche in gesättigter Thymollösung (Merk, Darmstadt).

5.4 Befüllen der Wurzelkanäle

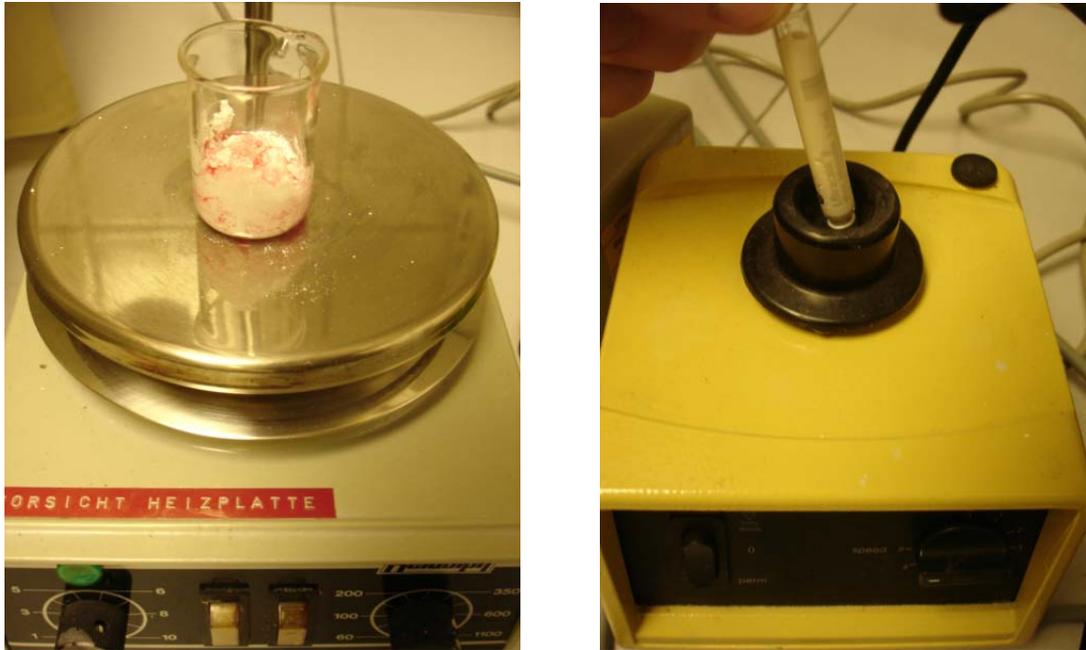
5.4.1 Befüllen der positiven Kontrollgruppe mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$

Die Zähne der ersten Gruppe wurden mit einer wässrigen Suspension von Kalziumhydroxid (Calxyl, OCO Präparate GmbH, Darmstadt) mittels einer Füllspirale (Lentulo, Firma Komet, Lemgo) befüllt. Hierzu wurde die Lentulo-Spirale der ISO-Größe 25 bei einer Umdrehungszahl von 300 UpM im grünen Winkelstück eingebracht.

5.4.2 Befüllen der Wurzeln mit CHX + BaSO_4 mittels Kanüle

In der Versuchsgruppe 2 wurde eine fertige Formulierung von CHX in Gelform (Galaxo SmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, Bühl) im Verhältnis 2:1 mittels eines Rührgefäßes (5min, 1100U/min) mit Bariumsulfat

gemischt. Dieses wurde mit einer Druckenästhesiespritze und einer Kanüle mit einem Durchmesser von 0,4 mm und einer Länge von 25 mm (Free Flow, Heraeus Kulzer, Hanau) in die Wurzelkanäle injiziert.



*Abb. 5.4.1:
Herstellung der Formulierung bei 1100U/min und Abfüllen der Formulierung
in Glasampullen*



*Abb. 5.4.2:
Druckenästhesiespritze mit Kanüle (Fa.Heraeus, 0, 4mm)*

5.4.3 Befüllen der Wurzeln mit CHX + Ca(OH)₂ + BaSO₄ mittels Kanüle

Für die Gruppe 3 wurde dieses Gel zusätzlich mit Kalziumhydroxid beladen (Verhältnis CHX/ BaSO₄/ Ca(OH)₂ 1:0,4:0,1). Die Applikation erfolgte wie bei Gruppe 1.

5.4.4 Befüllen der Wurzeln mit CHX + BaSO₄ mittels Füllspirale

Für die Gruppe 4 wurde die gleiche Mischung wie bei Gruppe 1 angewendet. Die Zähne dieser Gruppe wurden mit einer Füllspirale gefüllt. Auch hier wurde die Lentulo-Spirale bei einer Umdrehungszahl von 300 UpM im grünen Winkelstück eingebracht.

5.5 Verblindung und Probenverteilung während der Versuchsdurchführung

Den Zähnen wurde nach Aufbereitung und vor Durchführung der Versuche eine Probennummer per Zufall zugeteilt (Zufallszahlentabelle). Die Zuordnung der Zähne zu den einzelnen Aufbereitungsgrößen verblieb beim Versuchsleiter. Der Versuchsleiter teilte nunmehr die Zähne per Zufallsauswahl so in vier Gruppen auf, dass je Gruppe 10 Zähne mit einer Aufbereitung auf ISO 25 und 10 Zähne mit einer Aufbereitung auf ISO 35 zugeteilt wurden. Die Liste hierzu verblieb beim Versuchsleiter. Alle Zähne wurden dann in optisch dichte Silikonblöcke eingebettet, so dass die Zahnnummern nicht mehr lesbar waren.

Alle Zähne wurden nunmehr durch den Versuchsleiter vermischt und im verblindeten Zustand weiterbearbeitet. Von allen Zähnen wurden nun Röntgenbilder in zwei Ebenen angefertigt, mit Versuchsnummer und Probennummer markiert. Anschließend wurden die Zähne durch den Versuchsleiter entblindet und durch erneute Instrumentierung und Spülung gereinigt. Durch den Versuchsleiter wurden die Zähne nunmehr erneut auf vier Gruppen aufgeteilt, und zwar so, dass jeder Zahn einer anderen Gruppe zugeordnet wurde. Der oben beschriebene Versuchsablauf wurde nunmehr

erneut durchgeführt. Für den vierten Versuch wurden die Zähne vom Versuchsleiter so verteilt, dass alle Zähne nunmehr in allen vier Gruppen eingeteilt waren. Nach Ablauf der vier Versuche wurden die gewonnenen Daten vom Versuchsleiter entblindet und statistisch ausgewertet.

5.6 Radiologische Beurteilung der Proben

Gemessen wurden die Eindringtiefen (Differenz zum Apex in mm) und die Ausprägung von Lufteinschlüssen nach folgender Tabelle:

Grade	Kriterien
0	Keine Blasen, Füllung ist homogen
1	Leichte Blasenbildung, vereinzelte kleine Blasen
2	Deutliche Blasenbildung
3	Starke Blasenbildung

Tab. 5.6:
Kriterien für die Auswertung

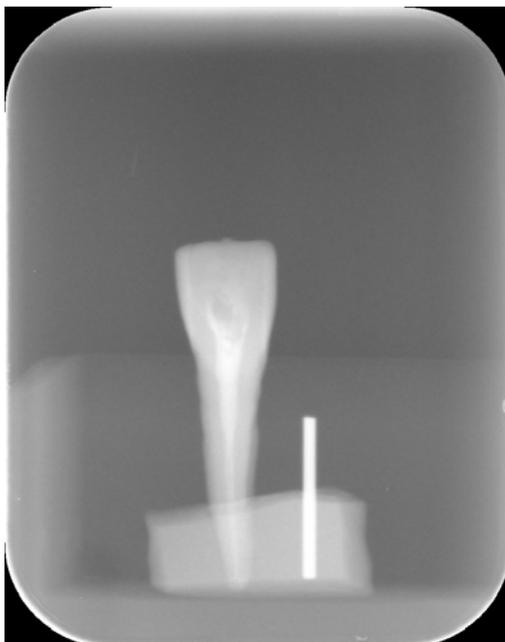
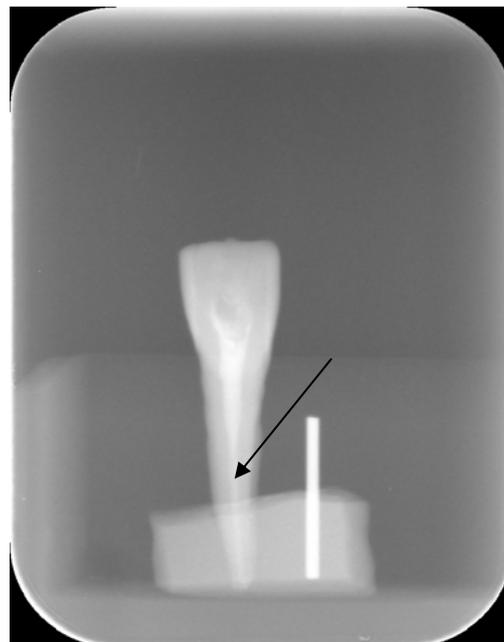


Abb. 5.6.1:
Links: Füllung ist homogen
(Grad 0)



Rechts: leichte Blasenbildung
(Grad 1)

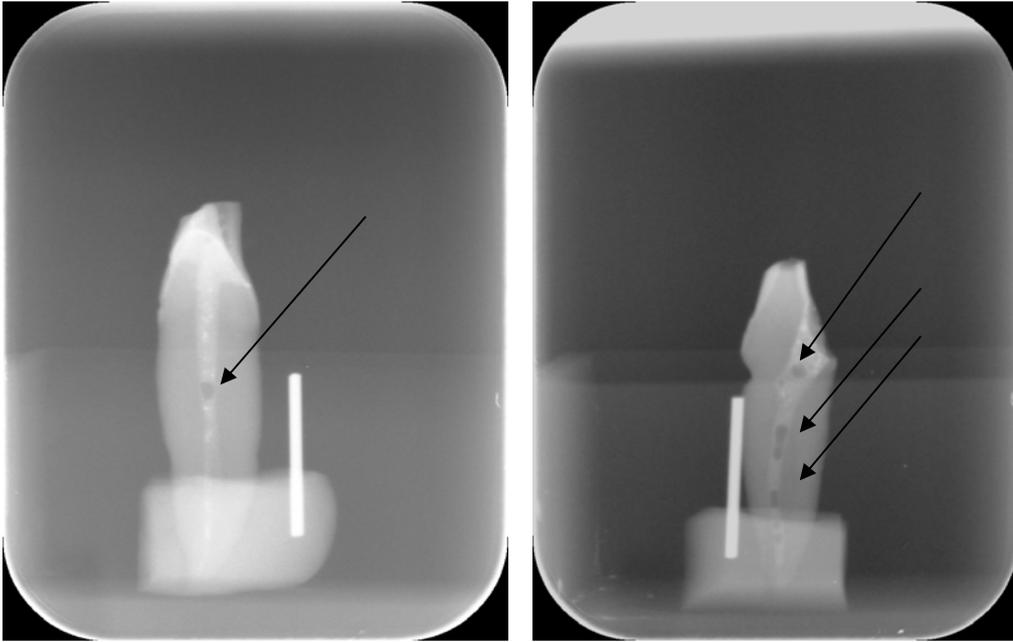


Abb. 5.6.2:
Links: deutliche Blasenbildung
(Grad 2)

Rechts: starke Blasenbildung
(Grad 3)

6 Ergebnisse und statistische Auswertung

Die Messdaten wurden in das Statistikprogramm SPSS 12.0 eingegeben und auf Plausibilität überprüft. Die statistische Signifikanz von Unterschieden zwischen den einzelnen Gruppen wurde mit dem Kruskal-Wallis-Test geprüft. Die Irrtumswahrscheinlichkeit wurde auf $p \leq 0,05$ festgelegt.

6.1 Eindringtiefe der verschiedenen Gruppen

Tabelle 6.1 zeigt die Medianwerte und die Interquartilbereiche in den einzelnen Gruppen. In Abb. 6.1 ist der dazugehörigen Boxplot dargestellt.

Eindringtiefe der verschiedenen Gruppen					
Gruppe	N	M	I	95% KI Untergrenze	95% KI Obergrenze
CHX/Kanüle/25	20	0,000	0,000	-0,097	0,364
CHX/Ca(OH) ₂ /Kanüle/25	20	0,000	0,800	0,056	0,884
CHX/Ca(OH) ₂ /Lentulo/25	20	0,000	0,000	-0,060	1,140
Ca(OH) ₂ /Lentulo/25	20	0,000	0,200	-0,076	0,816
CHX/Kanüle/35	20	0,000	0,500	-0,030	0,750
CHX/Ca(OH) ₂ /Kanüle/35	20	0,000	0,000	-0,124	0,644
CHX/Ca(OH) ₂ /Lentulo/35	20	0,000	0,000	-0,043	0,463
Ca(OH) ₂ /Lentulo/35	20	0,000	0,500	0,020	0,780
M = Median I = 25% Interquartilbereich 95% KI = 95% Konfidenzintervall					

*Tab. 6.1:
Eindringtiefe der verschiedenen Gruppen mit Medianwerten, Interquartilbereich und Konfidenzintervall*

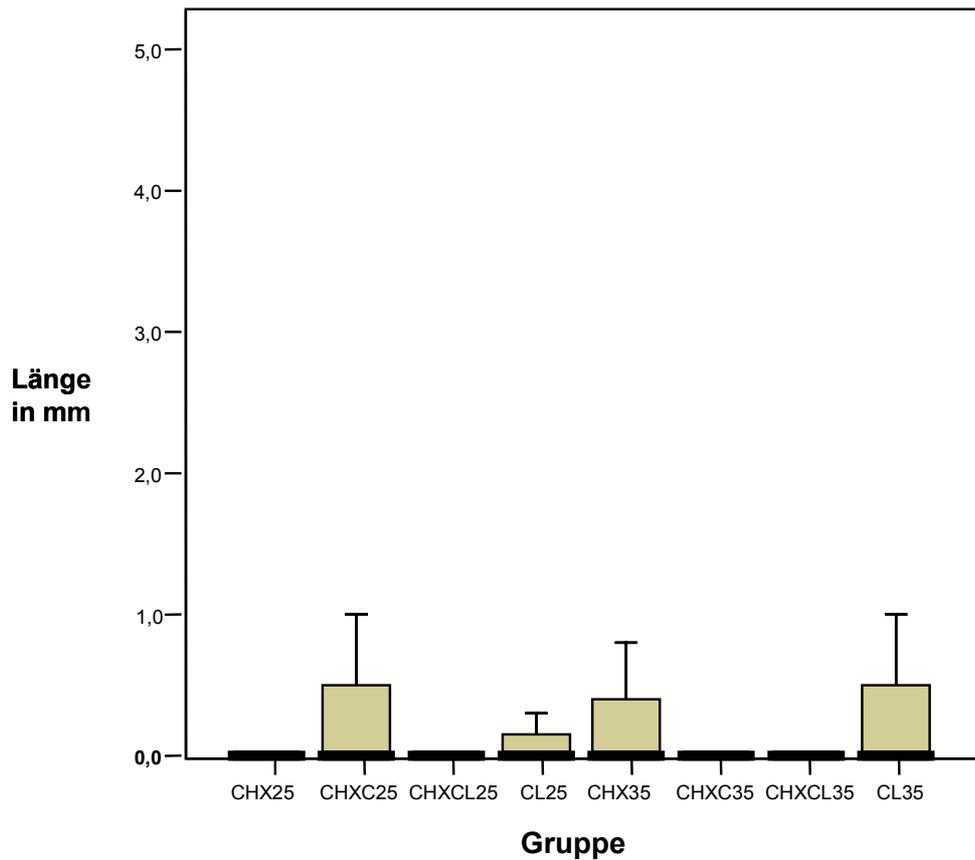


Abb. 6.1:
Eindringtiefe der einzelnen Gruppen in mm vom Apex aus gemessen.

Im Kruskal-Wallis-Test konnte gezeigt werden, dass keine der Gruppen hinsichtlich der Eindringtiefe signifikant abweicht ($p=0,638$).

6.2 Eindringtiefe der unterschiedlichen Formulierungen

Eindringtiefe der unterschiedlichen Formulierungen					
Gruppe	N	M	I	95% KI Untergrenze	95% KI Obergrenze
CHX	40	0,000	0,2000	0,028	0,466
CHX/Ca(OH) ₂	80	0,000	0,0000	0,167	0,573
Ca(OH) ₂	40	0,000	0,5000	0,105	0,665
M = Medianwert I = 25% Interquartilbereich 95% KI = 95% Konfidenzintervall					

Tab. 6.2 :

Eindringtiefe der verschiedenen Gruppen mit Medianwerten, Interquartilbereich und Konfidenzintervall

Beim Kruskal-Wallis-Test waren keine signifikanten Abweichungen hinsichtlich der Formulierungen erkennbar ($p=0,602$). Für die Frage nach der Eindringtiefe in Abhängigkeit von der Formulierung wurden die Daten entsprechend umgruppiert. Die Ergebnisse sind in Tab. 6.2 und Abb. 6.2 zusammengefasst.

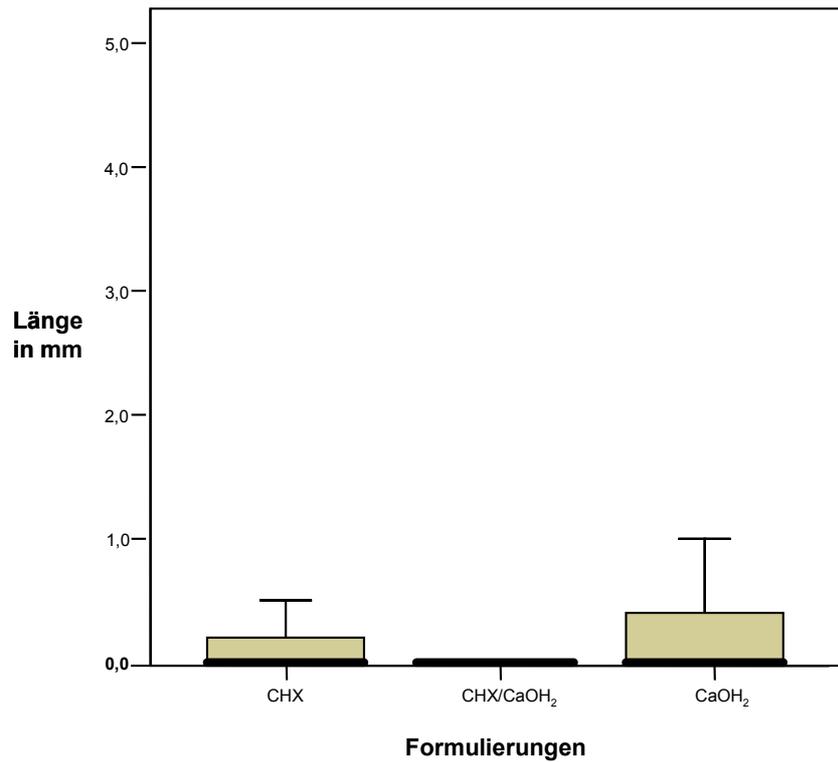


Abb.6.2:
Eindringtiefe der einzelnen Formulierungen in mm von apikal nach koronal

Der Boxplot zeigt die drei unterschiedlichen Formulierungen. Es zeigt sich, dass die Eindringtiefe des reinen CHX-Gels mit der Formulierung CHX-Gel+Ca(OH)₂ gleichzusetzen ist.

6.3 Eindringtiefen der Formulierungen in Abhängigkeit der Aufbereitungsgröße

Die Tabelle 6.3 zeigt den Vergleich der Aufbereitungsgruppen ISO 25 und ISO 35 bei der deskriptiven Datenanalyse.

Eindringtiefe der unterschiedlichen Formulierungen					
Gruppe	N	M	I	95% KI Untergrenze	95% KI Obergrenze
Iso 25	80	0,000	0,000	0,169	0,588
Iso 35	80	0,000	0,200	0,140	0,475

M = Medianwert
I = 25% Interquartilbereich
95% KI = 95% Konfidenzintervall

Tab. 6.3:
Eindringtiefe der Formulierungen in Abhängigkeit der Aufbereitungsgröße mit Medianwerten, Interquartilbereich und Konfidenzintervall

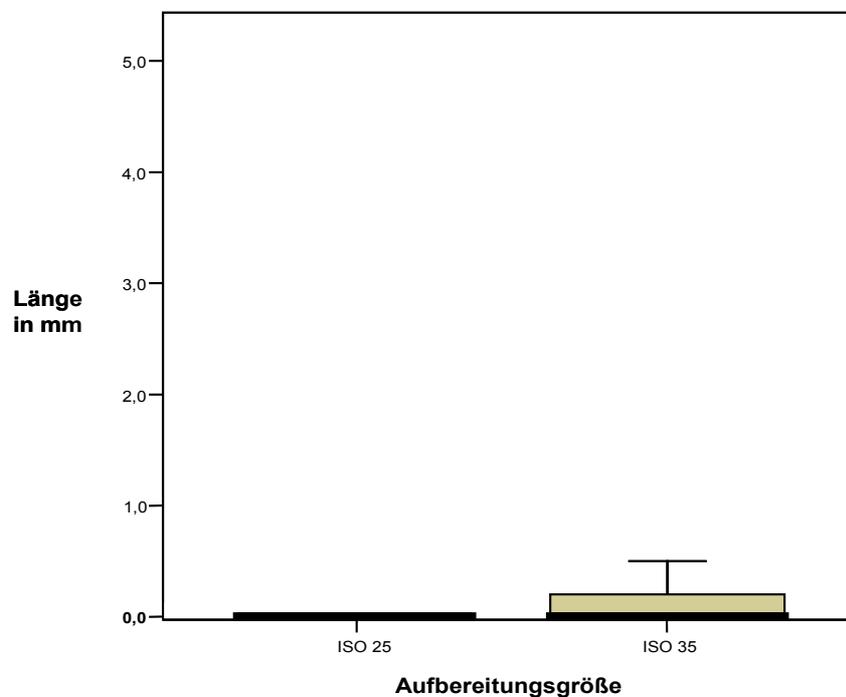


Abb. 6.3:
Penetrationstiefe (in mm vom Apex) in Abhängigkeit der Aufbereitungsgröße

Die Abbildung zeigt, dass die Eindringtiefe nicht von der Aufbereitungsgröße abhängt. Auch hier konnte mit dem Kruskal-Wallis-Test gezeigt werden, dass beide Gruppen aus einer Grundgesamtheit stammen ($p=0,475$).

6.4 Eindringtiefen in Abhängigkeit der Applikationsform

Die Tabelle 6.4 zeigt den Vergleich der Eindringtiefen der verschiedenen Gruppen in Abhängigkeit der Applikationsform. Verglichen wurden die unterschiedlichen Formulierungen in Kombination mit der entsprechenden Applikationsform (Abb. 6.4).

Eindringtiefe der unterschiedlichen Formulierungen					
Gruppe	N	M	I	95% KI Untergrenze	95% KI Obergrenze
CHX/Kanüle	40	0,000	0,200	0,280	0,466
CHX/Ca(OH) ₂ /Kanüle	40	0,000	0,000	0,094	0,636
CHX/Ca(OH) ₂ /Lentulo	40	0,000	0,000	0,600	0,690
Ca(OH) ₂ /Lentulo	40	0,000	0,500	0,105	0,665
M = Medianwert I = 25% Interquartilbereich 95% KI = 95% Konfidenzintervall					

*Tab. 6.4 :
Eindringtiefe der verschiedenen Gruppen in Abhängigkeit der Applikationsform mit Medianwerten, Interquartilbereich und Konfidenzintervall*

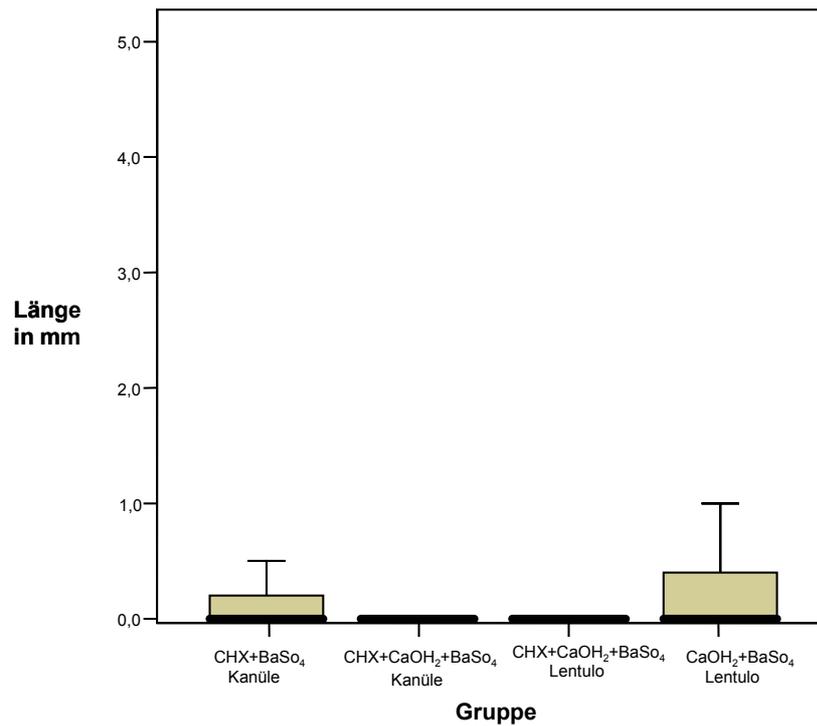


Abb. 6.4:
Eindringtiefen der medikamentösen Einlagen in Abhängigkeit der Applikationsform

Die Abbildung legt bereits nahe, dass die vier Gruppen nicht signifikant differieren.

Der Kruskal-Wallis-Test zeigt, dass die Applikation der Prüfgruppe CHX-Gel-Kanüle und der positiven Kontrollgruppe keinen signifikanten Unterschied aufweist. Auch die Gruppen CHX-Gel mit Ca(OH)₂ mit Lentulo und mit Kanüle sind nicht signifikant verschieden ($p = 0,798$).

6.5 Homogenität der Füllung der verschiedenen Gruppen

In der Tabelle 6.5 kann eine Abweichung der Mittelwerte in der Gruppe CHXCL25 (CHX-Gel/Ca(OH)₂/BaSo₄ mit einem Lentulo eingebracht) beobachtet werden.

Homogenität der unterschiedlichen Formulierungen					
Gruppe	N	M	I	95% KI Untergrenze	95% KI Obergrenze
CHX/Kanüle	40	0,000	1,000	0,280	0,466
CHX/Ca(OH) ₂ /Kanüle	40	0,000	1,000	0,094	0,636
CHX/Ca(OH) ₂ /Lentulo	40	1,000	1,000	0,600	0,690
Ca(OH) ₂ /Lentulo	40	0,000	1,000	0,105	0,665

M = Medianwert
I = 25% Interquartilbereich
95% KI = 95% Konfidenzintervall

Tab. 6.5:
Homogenität der Füllung der verschiedenen Gruppen mit Medianwerten, Interquartilbereich und Konfidenzintervall

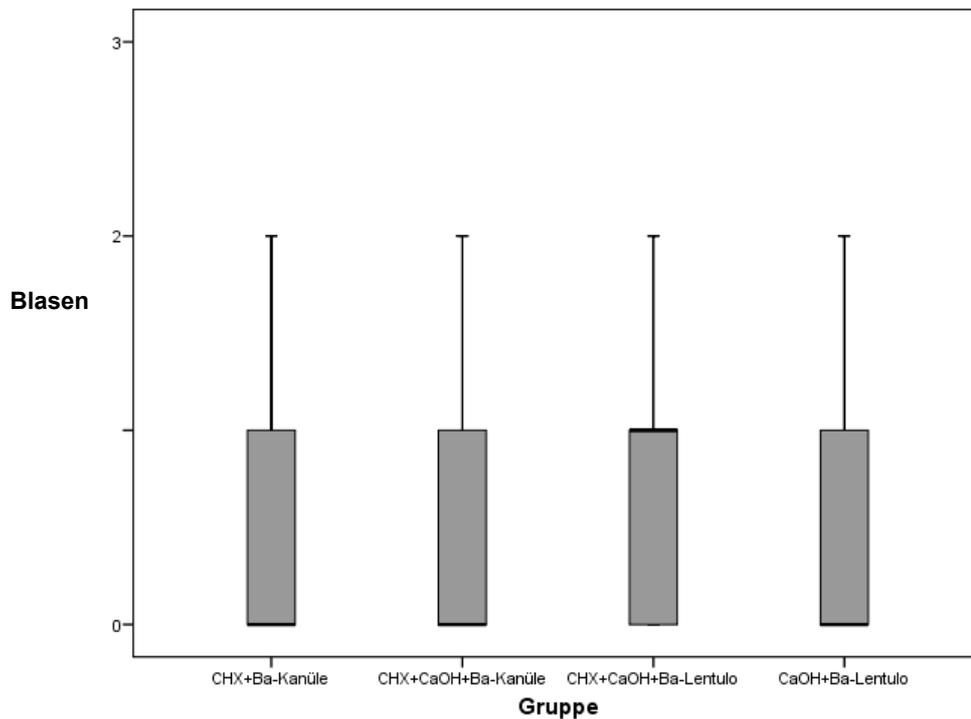


Abb. 6.5: Füllungshomogenität der verschiedenen Gruppen

Die Ergebnisse zur Blasenbildung wurden zunächst aufgeteilt nach Gruppen mit dem Kruskal-Wallis-Test verglichen. Hier zeigte sich, dass zumindest eine Gruppe mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von $p=0.013$ aus einer anderen Grundgesamtheit stammt. Der Vergleich der Gruppenmittelwerte zeigt, dass es sich hierbei um die Gruppe $\text{CHX}+\text{Ca}(\text{OH})_2+\text{BaSo}_4+\text{Lentulo}$ handelt. Dieses Ergebnis wurde mit paarweisen Mann-Whitney Tests bestätigt. Zur Abschätzung der möglichen Ursache wurde nachgeprüft, ob die Verwendung eines Lentulos hier im Vergleich zur Applikation mittels Kanüle einen Unterschied zeigt. Hierzu wurden die Daten umgruppiert und hinsichtlich des Parameters „Applikation“ untersucht. Es ergab sich im Mann-Whitney Test ein signifikanter Unterschied ($p=0,031$).

6.6 Blasenbildung eingeteilt nach Schweregrad

Tabelle 6.6 zeigt das Auftreten von Blasenbildung aufgeteilt nach Grad und Versuchsgruppe. Gewertet wurde die Blasenbildung im Füllmaterial eines Versuchskörpers je nach Größe. In den Gruppen CHX/Ca(OH)₂ mit Lentulo befüllt konnten vermehrt Inhomogenitäten festgestellt werden. Hier scheint die Mischung für die Anwendung eines Lentulos nicht geeignet zu sein.

Gruppe	Blasenbildung				Gesamt
	0	1	2	3	
Kontrollgruppe ISO 25	12	5	3	0	20
Kontrollgruppe ISO 35	14	4	1	0	20
CHX Kanüle ISO 25	15	3	2	0	20
CHX Kanüle ISO 35	14	5	1	0	20
CHX/Ca(OH) ₂ Lentulo ISO 25	6	10	2	2	20
CHX/Ca(OH) ₂ Lentulo ISO 35	10	6	2	2	20
CHX/Ca(OH) ₂ Kanüle ISO 25	12	5	3	0	20
CHX/Ca(OH) ₂ Kanüle ISO 35	14	5	1	0	20
GESAMT					160

Tab. 6.6:
Anzahl von Blasenbildung aufgeteilt nach Schweregrad und Versuchsgruppe.
(0=keine Blasenbildung; Füllung ist homogen, 1=leichte Blasenbildung, 2=deutliche Blasenbildung, 3=starke Blasenbildung)

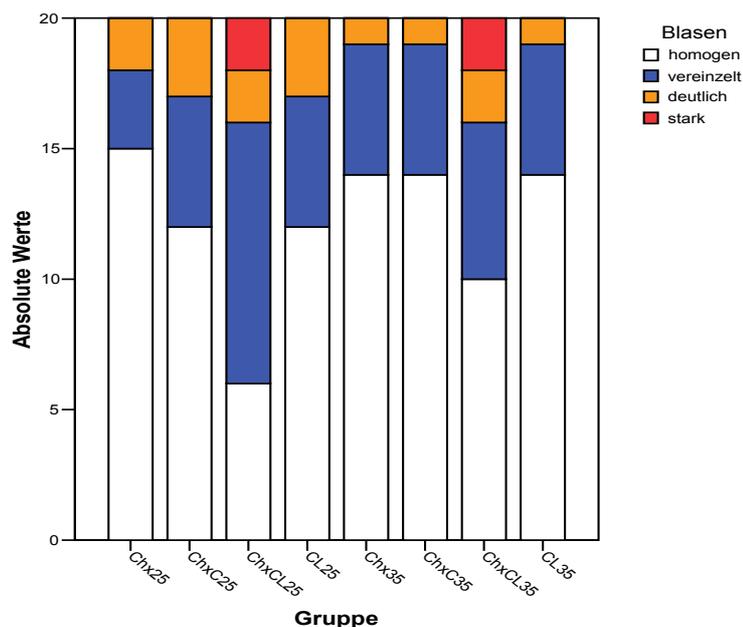


Abb. 6.6:
Häufigkeit der einzelnen Homogenitätsklassen in Bezug zur Füllmethode

6.7 Überprüfung der Arbeitshypothesen

6.7.1 Überprüfung der 1. Hypothese

Die Eindringtiefe des CHX-Gels mittels Applikationskanüle ist genau so groß wie diejenige des Goldstandards mit einem Lentulo.

Hier konnte mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Test gezeigt werden, dass die Eindringtiefe des CHX-Gels zur Kontrollgruppe keinen signifikanten Unterschied aufweist ($p=0,798$). **Die erste Hypothese kann daher bestätigt werden.** Das gewählte Verfahren ist geeignet, CHX-Gels in die gesamte Zahnlänge einzubringen.

6.7.2 Überprüfung der 2. Hypothese

Die Eindringtiefe des kombinierten Gels (CHX + Kalziumhydroxid) ist genau so groß wie diejenige des reinen CHX-Gels.

Der Vergleich der Gruppen CHX + Kalziumhydroxid und des reinen CHX-Gels ergibt im Kruskal-Wallis-Test keinen signifikanten Unterschied für den Faktor Eindringtiefe ($p=0,602$). **Die zweite Hypothese kann daher bestätigt werden.** Die Gruppenmittelwerte aus der Varianzanalyse zeigen ähnliche Ergebnisse. Diese Formulierungen können beide auf gleichem Wege angewendet werden.

6.7.3 Überprüfung der 3. Hypothese

Die Eindringtiefe für alle Versuchsgruppen ist bei einer Kanalaufbereitung von 04/25 genau so groß wie für eine mit 04/35.

Beim Kruskal-Wallis-Test ergibt sich ein p-Wert von $p=0,475$. **Die dritte Hypothese ist daher auch zu bestätigen.** Die Gruppenmittelwerte zeigen, dass die Applikationstiefe unabhängig von der Aufbereitungsgröße 04/25 versus 04/35 ist.

6.7.4 Überprüfung der 4. Hypothese

Die Eindringtiefe des CHX-Gels und des kombinierten Gels (CHX + Kalziumhydroxid) ist unabhängig von der Applikationsform (Lentulo oder Applikationsspritze).

Die Untersuchung der Applikationsform zeigte beim Kruskal-Wallis-Test keine Signifikanz an ($p=0,798$). **Die vierte Hypothese ist daher auch zu bestätigen.** Es zeigt sich, dass die Applikationstiefe unabhängig von der Aufbereitungsform zu bewerten ist.

Weiterhin kann lediglich die Homogenität der Füllung des kombinierten Gels CHX/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ einen signifikanten Unterschied in Bezug zur Applikationsart aufweisen. Hier zeigte die Applikation im Mann-Whitney Test eine schlechtere Homogenität ($p= 0,031$).

7 Diskussion

7.1 Material und Methode

7.1.1 Auswahl der Proben

Das Ziel dieser Studie war es, Applikationsmethoden für die Einbringung medikamentöser Wurzelkanaleinlagen zu untersuchen und zu vergleichen. Die Schwierigkeit solcher in-vitro Untersuchungen liegt in der Aussagekraft, da sich diese Studien mit in-vivo Situationen vergleichen lassen müssen. So ist eine standardisierte Untersuchung mit künstlichen Zahnwurzeln einfacher als mit echten Zähnen, erschwert aber Rückschlüsse auf die in-vivo Situationen deutlich. Dies liegt unter Anderem an der Materialbeschaffenheit der künstlichen Wurzeln, der anatomischen Varianz und den natürlichen Veränderungen, die nicht dem Original entsprechen. Um dennoch Beurteilungen treffen zu können, ist eine vergleichende Standardisierung der Untersuchungsmethodik wichtig, da bei Wurzelkanälen eine hohe anatomische Varianz vorhanden ist [Weine 1996]. Aus diesem Grund wurden in dieser Studie menschliche bleibende Unterkieferzähne mit geraden Wurzeln ohne endodontische Vorbehandlung bei abgeschlossenem Wurzelwachstum der Wurzelkonfiguration Typ I verwendet. Zähne mit anderen Wurzelkanalkonfigurationen wurden durch Silberstiftaufnahmen in zwei Ebenen oder mikroskopisch erkannt und verworfen. Die Beurteilung der suffizienten medikamentösen Einlage in Wurzelkanälen basiert auf einer hohen Kontaktfläche von Wurzelkanaloberfläche und Medikament [Basrani et al. 2004]. Auch die Auswahl der medikamentösen Einlage und die vorbereitende Spülung des Kanalsystems spielen hier eine entscheidende Rolle [Delany et al. 1982, Byström&Sundqvist 1981, Dammaschke et al. 2003&2005]. Um eine hohe Aussagekraft in Bezug auf die Qualität der medikamentösen Applikation treffen zu können, wurden die Medikamente mit Bariumsulfat versetzt und die Zähne in zwei Ebenen geröntgt.

7.1.2 Bestimmung der Arbeitslänge

Der Erfolg einer endodontischen Behandlung ist abhängig vom dreidimensionalen, bakteriendichten Verschluss des Kanals [Schilder 1967]. Der optimale Endpunkt der Wurzelkanalfüllung ist das Foramen physiologicum. Die Erfolgsrate einer Wurzelkanalfüllung ist neben der bakteriellen Belastung im Zahnkanal von der Länge der Wurzelfüllung abhängig. Die Erfolgsrate einer Wurzelkanalfüllung sinkt bei Füllungen, die mehr als 2 mm vor dem radiologisch erkennbaren Apex enden. Hier liegt das Problem in den Verzweigungen im apikalen Drittel, welche bei ungenügender Abdichtung Bakterien mit Substrat versorgen können [Schilder 1974]. Füllungen die zu lang sind weisen eine deutlich schlechtere Prognose auf, da diese oft mit der Schädigung und der Verschleppung von Keimen in das periapikale Gewebe in Zusammenhang gebracht werden [Damaschke et al. 2005]. Um dies zu vermeiden, muss die Arbeitslänge genau festgelegt werden. Die Bestimmung der Arbeitslänge konnte bis vor wenigen Jahren nur mit radiologischen Silberstift- oder Feilenaufnahmen gemacht werden. In den sechziger Jahren wurde erstmals die Längenmessung anhand von Impedanzmessung vorgestellt. Die anfänglichen qualitativen Einschränkungen spielen heute keine Rolle mehr [Moshonov&Slutzky-Goldberg 2004]. So kann z.B. die Längenmessung mit modernen Geräten mit einer unbedeutenden Fehlerquote bestimmt werden [Wrbas et al. 2007]. In unserer Studie wurde die Länge mit einer Silberstiftaufnahme die in zwei Ebenen angefertigt wurde bestimmt und kalibriert. Auf eine künstliche Simulation in-vitro für eine elektronische Längenmessung wurde verzichtet, da es sich hier um extrahierte Zähne handelte und eine Strahlenbelastung durch Röntgenstrahlen außer Acht gelassen werden konnte.

7.1.3 Spüllösungen als Unterstützung der Wurzelkanalaufbereitung

Bei Untersuchungen zur langfristigen Wurzelkanalbehandlung lassen sich Zahlen zwischen 56% [Cheun 2002] und 92,7% [Rocke et al. 1997] finden. Leider wurden hier keine Untersuchungen in Bezug zur Keimeliminierung mit

einbezogen. Einen Erfolg von 89,2% bei Molaren und 82% bei Frontzähnen in einem Untersuchungszeitraum von zwölf Jahren konnte eine Untersuchung von *Dammaschke et al.* [2003] zeigen. Hier wurde der vorausgehenden Keimeliminierung bei infizierten Kanälen eine wichtige Rolle zugeschrieben und ein Spülprotokoll erstellt. Dem geht natürlich die Aufbereitung von Wurzelkanälen mit mechanischen Methoden und der Desinfektion durch chemische Mittel voraus (Spüllösungen und medikamentöse Einlagen), da nicht alle Areale des Wurzelkanalsystems mechanisch aufbereitet werden können [Hülsmann et al. 1997]. Zu der Desinfektion mit chemischen-physikalischen Mitteln zählt die Gewebeauflösung mit Spüllösungen jeglicher Art. Etabliert haben sich hier NaOCl in einer Konzentration zwischen 0,5 und 2% [Moorer&Wesselink 1982, Byström et al. 1983] oder auch neuere Substanzen wie MTAD [Torabinejad et al. 2003a&2003b]. Diese Spüllösungen haben bei der mechanischen Aufbereitung nur eine ergänzende Wirkung, in Form von Keimreduktion, einer gewebeauflösenden Wirkung [Byström&Sundqvist 1983] und Entfernen der Schmierschicht [Mayer et al. 2002]. Weiterhin kommt EDTA als Spülung nach der mechanischen Aufbereitung zum Einsatz, um den „Smear Layer“ zu entfernen und die Seitenkanäle für keimreduzierende und gewebeauflösende Spüllösungen gängig zu machen [Mayer et al. 2002]. In der Literatur gilt die Schmierschicht auch als Diffusionsbarriere. Ohne Entfernen der Schmierschicht würde die Tiefenwirkung von antimikrobiellen Desinfizienzien bei der chemischen Aufbereitung des Wurzelkanals verhindert [Kockapan 1995]. In der Vergangenheit wurde aber auch häufig die Anwendung von Wasserstoffperoxid propagiert. Dieser Substanz konnte in neueren Studien eine nur unzureichende Effektivität gegenüber anderen Substanzen wie z.B. NaOCl zugeschrieben werden und sollte deshalb nicht mehr angewendet werden [Baumgartner 1987]. Aus diesem Grund wurde in unserer Studie auf die Anwendung von Wasserstoffperoxid verzichtet. Seit 2003 ist eine kombinierte Spüllösung auf dem Markt mit dem Namen MTAD. Diese Lösung besteht aus Tetracyclin, Zitronensäure, und dem Detergens Tween 80. Diese Lösung soll vorteilhaft in der Entfernung der Schmierschicht sein, eine gute antimikrobielle Wirkung haben und die Oberflächenspannung herabsetzen

[Torabinejad et al. 2003a]. Leider stammen fast alle Studien aus der gleichen Institution, damit werden weitere unabhängige Studien nötig. In unserer Studie wurden die Zähne während der Aufbereitung viermal für 30 Sekunden mit 2,5%iger NaOCl-Lösung gespült. Der Kanal wurde mit Papierspitzen der Größe ISO 25/ 35 (je nach Aufbereitungsgröße) getrocknet um eine mögliche Wechselwirkung der Lösungen zu verhindern. Anschließend diente eine 15%ige EDTA-Lösung für 1 Minute dazu den Smear-Layer zu entfernen. Der Kanal wurde erneut mit Papierspitzen getrocknet. Abschließend wurde der Kanal nochmals mit 2,5%iger NaOCl-Lösung gespült und getrocknet.

7.1.4 Mechanische Wurzelkanalaufbereitung

Die mechanische Wurzelkanalaufbereitung kann auf verschiedenen Wegen erfolgen. Die Aufbereitung kann z.B. von Hand oder auch mit maschineller Hilfe durchgeführt werden. Studien konnten zeigen, dass die Aufbereitung in gekrümmten Kanälen mit maschinellen Instrumenten wesentlich einfacher und genauer im Vergleich zur Aufbereitung mit Handinstrumenten ist [Herrmann 1999]. Auch die Wahl der Aufbereitungsinstrumente spielt eine große Rolle. So zeigte eine Studie, dass Ni-Ti Instrumente in Kombination mit drehmomentbegrenzter Rotation zu den effektivsten Ergebnissen bei der Aufbereitung führen [Tepel 1998]. Aus diesem Grund wurden die Zähne in unserer Studie mit Ni-Ti Instrumenten und einem maschinellen, drehmomentreguliertem Motor aufbereitet. Ob maschinelle Aufbereitungsmethoden mit einer verringerten Taktilität in Bezug stehen sind sich nicht alle Untersucher einig [Beer 1993, Tepel 2000]. Eine vollständige Aufbereitung aller Kanalwände mit Handinstrumenten und rotierenden Instrumenten ist mit beiden Verfahren nicht möglich [Hülsmann 1997]. Damit lässt sich erkennen, dass die ursprüngliche Kanalform und die Aufbereitung des Wurzelkanallumens nicht vollständig identisch sind. So ist es z.B. nicht möglich, mit einem rotierend arbeitenden Instrument, das kleiner als die komplette Fläche des Wurzelkanals im Querschnitt ist, einen ovalen Kanal vollständig zu bearbeiten. Auch die Konizität bei der Aufbereitung spielt eine wichtige Rolle für den Erfolg einer Wurzelkanalfüllung. Eine Studie von *Stoll* konnte zeigen,

dass eine Konizität von 4% bei der Aufbereitung zu einer besseren Dichtigkeit der späteren Wurzelkanalfüllung führt [Stoll 2007]. Wie tief medikamentöse Einlagen bei einer Konizität von 4% und unterschiedlicher Aufbereitungsgröße in den Kanal eindringen können, wurde bisher noch nicht geklärt. Unsere Ergebnisse konnten aufzeigen, dass CHX-Gel, eine Formulierung von CHX/Ca(OH)₂ und BaSo₄ bei einer Konizität von 4% in die gesamte Wurzelkanallänge eingebracht werden kann. Lediglich die Formulierung CHX-Gel eingebracht mit einem Lentulo zeigte in Bezug zur Homogenität der Einlage ein schlechteres Ergebnis.

7.1.5 Auswahl der medikamentösen Einlagen

Neben einer allgemeinen Desinfektionswirkung zielen Einlagemedikamente im Wurzelkanal auf die Beeinflussung von periapikalen Prozessen im Gewebe hin [Kockapan 2003]. So zeigten Wurzelkanalfüllungen mit entzündlichen apikalen Läsionen eine höhere Mißerfolgsrate im Vergleich zu nicht infizierten Kanälen [Damaschke et al. 2003]. In der Literatur finden sich Beschreibungen und Vorteile bei der Anwendung verschiedener Medikamente wie Glutardialdehyd [Wolke 2002] und Phenolderivate, welche heute kaum noch von Bedeutung sind, da die Eigenschaften von Kalziumhydroxid deutlich überlegen ist. Aus diesem Grund wurde in dieser Studie als Goldstandard Kalziumhydroxid angewendet. Ein großer Vorteil von Kalziumhydroxid liegt in seiner leicht gewebeauflösenden Wirkung und der geringen Toxizität [Grawehr 2003]. So konnte von *Damaschke et al.* [2003] gezeigt werden, dass Zähne, die eine vorausgegangene Einlage mit Kalziumhydroxid hatten eine bessere Langzeitprognose der Wurzelkanalfüllung aufwiesen, als die Zähne, denen eine Einlage mit Ledermix vorausging. Dennoch gibt es Gründe für andere medikamentöse Einlagen oder auch Kombinationen verschiedener Komponenten. Hier spielen Problemkeime wie *E. faecalis* eine wichtige Rolle, da sie für das Persistieren von apikalen Parodontitiden verantwortlich gemacht werden [Pinheiro et al. 2003]. Um auch diese Keime zu eliminieren, wird empfohlen Kalziumhydroxid mit anderen Substanzen wie z.B. Chlorhexidindigluconat [Evans et al. 2003]

oder NaOCl [Zehnder et al. 2003] zu kombinieren. So zeigt eine Kombination von Kalziumhydroxid und Chlorhexidindiglukonat eine schnellere Wirkung gegenüber *P. micros* und *S. intermedius* [Podbielski et al. 2003]. Andere Autoren kommen zu dem Ergebnis, dass die alleinige Anwendung von CHX-Gel am effektivsten ist [Gomes et al. 2003, Wang et al. 2007]. Eine reine Einlage des CHX-Gels konnte in unserer Studie leider nicht angewendet werden. Hier musste auf eine Kombination mit dem Röntgenkontrastmittel Bariumsulfat zurückgegriffen werden um auswertbare Ergebnisse zu erzielen. Bei der Wahl weiterer Testgruppen kamen für unsere Studie Kombinationen mit Kalziumhydroxid zur Anwendung. So kam z.B. Waltimo et al. [1999b] zu dem Ergebnis, dass der antibakterielle Effekt von CHX durch Kalziumhydroxid zwar verringert wird, eine Kombination beider jedoch effektiver ist als Kalziumhydroxid allein. Eine höhere Effektivität bei der Eliminierung von *E. faecalis* durch die medikamentöse Einlage von $\text{Ca(OH)}_2/\text{CHX}$ konnte auch in einer weiteren Studie belegt werden [Evans et al. 2003]. Eine adäquate Aufbereitung gefolgt von der Applikation von Kalziumhydroxid und Chlorhexidin konnte auch in einer anderen Studie zur einer deutlichen Bakterienreduktion führen [Soares et al. 2006]. Unsere Ergebnisse konnten zeigen, dass eine Formulierung von CHX-Gel und Kalziumhydroxid mit einer Druckanästhesiespritze genauso effektiv in den Wurzelkanal eingebracht werden kann wie mit einem Lentulo.

7.1.6 Wahl der Applikationsformen

Als Standardapplikationsmethode wird empfohlen, eine Ca(OH)_2 -Paste mit einem Lentulo in den Kanal einzubringen und mit einem Plugger oder einer Papierspitze zu verdichten, um einen Kontakt zwischen der Paste und der Wurzelkanalwand zu ermöglichen [Bargholz 2006]. Hierbei besteht die Gefahr, die Paste beim Verdichten in das apikale Gewebe zu überpressen. Ob ein solches Überpressen des Medikaments für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung von Bedeutung ist, wie das bei der definitiven Wurzelkanalfüllung der Fall ist [Damaschke et al. 2003], ist jedoch bislang unbekannt. In unserer Studie wurde auf ein Verdichten mit einem Plugger

oder einem ähnlichen Instrument verzichtet. Medikamentöse Einlagen für den Wurzelkanal können auch mittels einer Kanüle appliziert werden. Hier liegt der Vorteil in der einfachen Anwendung des Systems. Die Eindringtiefe kann hierbei wie beim Lentulo kontrolliert werden. Ein Nachteil liegt in der benötigten Viskosität der Zubereitung. So konnte in Vorversuchen eine reine $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Paste mit einer Kanüle von 0,4 mm und einer Applikationsspritze mit diesem System nicht in den Wurzelkanal eingebracht werden. Bei der Anwendung von thixotropen Gelen ist eine Applikation unter hohem Druck jedoch möglich. Die Thixotropie sorgt hierbei auch für einen stabilen Verbleib der Gelmatrix im Wurzelkanal, ohne die Diffusion des Wirkstoffes aus der Gelmatrix zu behindern. Spüllösungen können auch mit einem hydrodynamischen System wirkungsvoll appliziert werden. Leider besteht hier die erhöhte Gefahr der Überpressung in das apikale Gewebe und somit die Schädigung im apikalen Bereich [Hauser et al. 2007]. Ob hier mit Flüssigkeiten einer anderen Konsistenz bessere Ergebnisse erzielt werden können, muss noch untersucht werden. Leider beschreiben Arbeiten wie die von *Basrani* [2004] die Medikamentenapplikation nur mit einer Injektion, bis der Kanal voll ist. Ob hier die Prüfgruppen (Kalziumhydroxid/CHX-Gel und CHX-Gel) mit einem Lentulo oder einer Druckanästhesiespritze eingebracht wurden fand hier leider keine Beschreibung. Eine weitere Möglichkeit ist die Applikation von Medikamenten in Form von Guttapercha, welches mit dem Wirkstoff befüllt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass diese Applikationsform jedoch keine hinreichende Effektivität bietet [Barthel-Zimmer 2001]. Eine Studie von *Geibel* [2006] konnte eine Erleichterung bei der Applikation von Medikamenten und Spüllösungen mit Hilfe eines neu entwickelten Microendoskopes mit einem Durchmesser von 0,34 mm feststellen. In wie fern sich dieses System durchsetzen wird bleibt offen, da ein qualitativer Vergleich bei der Applikation von Spüllösungen und medikamentösen Einlagen fehlt.

Unsere Ergebnisse zeigen, dass CHX-Gel mit einer Druckanästhesiespritze und einer Kanüle mit einem Durchmesser von 0,4 mm in die gesamte Wurzelkanallänge eingebracht werden kann. CHX-Gel kann auch mit einem Lentulo in den Kanal eingebracht werden [Haenni et al. 2003]. Eine Aussage

zur Qualität der mit Lentulo eingebrachten CHX-Einlage lag jedoch bislang nicht vor. Ein weiteres Ergebnis unserer Studie zeigt, dass CHX-Gel/ Ca(OH)_2 / BaSO_4 mit einer Applikationsspritze mittels Kanüle mit gleichwertiger Homogenität genauso ins apikale Drittel des Wurzelkanals eingebracht werden kann, wie mit konventionellen Methoden (Füllspirale). Dagegen war die Homogenität der gleichen Formulierung mit einem Lentulo eingebracht signifikant schlechter.

7.1.7 Wahl der Untersuchungsmethoden

Um eine Aussage in Bezug auf die Applikationstiefe treffen zu können, gibt es nur wenige Möglichkeiten. Eine der Möglichkeiten birgt die Markierung der Medikamente mit Radioisotopen, wie dies bei Dichtigkeitsuntersuchungen von Wurzelkanalfüllungen Anwendung findet [Danin et al. 1992, Metzger et al. 2000]. Ein Vorteil der Markierung mit Radioisotopen liegt darin, dass Gele in ihrer physikalischen Eigenschaft wie z.B der Viskosität nicht verändert werden. Der große Nachteil liegt hier bei der Strahlenbelastung, einer quantitativen Auswertung und der gesetzlich vorgeschriebenen Abklingzeit von sechs Monaten. In der vorliegenden Studie wurden die Proben mit Bariumsulfat durchsetzt, und digitale Röntgenbilder angefertigt, um eine wissenschaftlich definierte Aussage treffen zu können. Röntgenbilder werden meist bei Untersuchungen angewendet, die mit Wurzelkanalfüllungen in Verbindung stehen [Tay et al. 2007]. In unserer Studie wurden die Röntgenbilder in zwei Ebenen angefertigt, um Fehlerquellen gering zu halten, da bei Einzelbildern in einer Ebene oft gekrümmte Kanäle nicht richtig eruiert werden können. Vor der Aufbereitung wurden die Kanäle eröffnet und eine Silberstiftaufnahme in zwei Ebenen angefertigt, um den Kanalverlauf zu bestimmen und Fehlerquellen durch seitlich austretende Wurzelkanalmündungen zu minimieren.

7.1.8 Herstellung der Formulierung

Um die Eindringtiefe mit dem digitalen Röntgensystem auswerten zu können, wurden die Gele und Suspensionen mit dem Röntgenkontrastmittel Bariumsulfat vermischt. Dieses Röntgenkontrastmittel wird auch bei anderen Studien, die mit Röntgenaufnahmen arbeiten angewendet [Barthel-Zimmer 2001]. Das CHX-Gel wurde in einem Mischungsverhältnis von 1:0,6 Gew. % mit dem Röntgenkontrastmittel durchmischt, um eine Applikation mit der Kanüle zu ermöglichen. Geringere Mengen des BaSo₄ konnten nicht verwendet werden, weil sonst die Kontrastgebung nur unzureichend gewesen wäre. Größere Mengen veränderten die Viskosität so, dass sich die Suspension nicht mehr mit der Free Flow Kanüle applizieren ließen. In der Prüfgruppe CHX/BaSo₄/ verhielt es sich ähnlich. Hier fand eine Mischung von 1: 0,4: 0,2 Anwendung. Geringere und auch höhere Konsistenzen konnten nicht mit dem Versuchsablauf in Einklang gebracht werden. Die Mischungen wurden mit einer Anmischplatte und einem Magneten für 5 min bei 1100U/min vermengt. So kann z.B. eine Formulierung von Kalziumhydroxid und CHX-Gel (2%) bei einem Mischungsverhältnis von 1:1 mittels Druckanästhesiespritze nicht eingebracht werden. Die Effektivität dieser Mischung konnte aber nachgewiesen werden [Gomes 2006]. Um hier die Effektivität der Formulierung wieder herzustellen könnte das CHX-Gel in einer höheren Konzentration beigefügt werden. Als Goldstandard wurde eine fabrikgefertigte Mischung von Ca(OH)₂ und BaSo₄ angewendet. In wie weit diese Mischungen und Mischungsverhältnisse einen Einfluss auf die Homogenität der Füllungen haben, sollte in weiteren Studien geklärt werden.

7.2 Diskussion der Ergebnisse

7.2.1 Vergleich der Kontrollgruppe mit den Prüfgruppen

Für die Kontrollgruppe wurde eine fertige Formulierung von $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{BaSO}_4$ angewendet, die mit Hilfe eines Lentulo in die Wurzelkanäle eingebracht wurde. Kalziumhydroxid wird auch in zahlreichen anderen Studien in dieser Form angewandt [Gomes et al. 2003, Zehnder et al. 2003, Dammaschke et al. 2005]. Vorversuche zeigten, dass die Konsistenz der Formulierung mit der Homogenität im Zusammenhang steht. Deshalb wurde in dieser Arbeit die Formulierung des Goldstandards mit destilliertem Wasser zu einer cremigen Konsistenz vorbereitet um die Kanäle zu füllen. Bei den Prüfgruppen kamen noch weitere Kriterien hinzu. So musste hier z.B. die Viskosität der einzelnen Gruppen berücksichtigt werden, um eine Applikation mit den Kanülen überhaupt zu ermöglichen. Dies spielte für die Gruppe mit dem Gel und BaSO_4 eine untergeordnete Rolle, da bei der Anwendung in-vivo deutlich bessere Ergebnisse durch das Fehlen des Röntgenkontrastmittels zu erwarten sind. Ein Prüfverfahren, um die Homogenität und die Tiefe der medikamentösen Einlage beurteilen zu können, muss in der Lage sein, Unterschiede zwischen der positiven Kontrollgruppe und den Prüfgruppen zu demaskieren.

Bei den verwendeten Verfahren konnten alle Gruppen in Bezug zu der Applikationstiefe und den unterschiedlichen Applikationsmethoden beurteilt und bewertet werden. Somit wurde dieser Parameter für die Hypothesenprüfung herangezogen, während die Ergebnisse der übrigen Parameter lediglich beschreibend diskutiert wurden.

7.2.2 Beeinflussung durch den Faktor Kanüle

Kanülen werden in der Endodontie zum Einbringen von Spüllösungen seit langer Zeit angewendet. In den vergangenen Jahren haben sich lediglich die Form und der Durchmesser der Kanülen geändert, dies hängt mit den verbesserten Herstellungsmöglichkeiten der vergangenen Jahre zusammen. Ob für die medikamentöse Einlage z.B. in Form eines Gels eine spezielle

Spülkanüle mit seitlichem Austrittsfenster von Vorteil sein kann, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht geklärt. Diese sollte eine sichere Anwendung bei der Spüllösung finden. Bei der Anwendung von hydrodynamischen Systemen konnten bei der Spülung von Wurzeln gute Ergebnisse erzielt werden, was leider mit einer deutlich erhöhten Gefahr der Überpressung und somit der Schädigung des apikalen Gewebes verbunden ist [Hauser et al. 2007]. Ob dies bei der Anwendung von Gelen der Fall ist wurde zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht geklärt. Eine neuere Untersuchung zeigt, dass durch die Applikation von Spüllösungen und medikamentösen Einlagen mit einem Microendoskop (Durchmesser 0,34 mm) eine unterstützende Wirkung erfolgen kann [Geibel 2006]. Um hier genauere Angaben machen zu können müssen weitere Untersuchungen folgen. Da es kaum Beschreibung in Bezug auf den Durchmesser der Kanülen für die Applikation von Gelen gibt, fand in dieser Studie eine Kanüle mit einem Durchmesser von 0,4 mm Anwendung. Durch den vorgegebenen Durchmesser der Kanüle konnte diese bei einer Aufbereitungsgröße von ISO 25 und ISO 35 nicht in den gesamten Kanal eingebracht werden. Dennoch konnten die Ergebnisse zeigen, dass es zwischen den Aufbereitungsgrößen ISO 25 und ISO 35 keinen signifikanten Unterschied gab. Die Gefahr des Überpressens war zu jeder Zeit gegeben, allerdings konnte anhand der Röntgenbilder gezeigt werden, dass die meisten Applikationen 0,5 bis 0,8 mm vor dem röntgenologischen Apex endeten. Es gibt keine vergleichende Arbeit, die sich mit der Applikation medikamentöser Einlagen mittels Kanüle beschäftigt.

7.2.3 Beeinflussung durch den Faktor Lentulo

Füllspiralen werden industriell gefertigt und können verschiedene Größen aufweisen. In wie weit die verschiedenen Größen eine Rolle bei der Applikation aufweisen wurde noch nicht geklärt. In unserer Studie kam ein Lentulo der mittleren Größe zum Einsatz. In den vergangenen Jahren wurden Medikamente mit Hilfe eines Lentulos [Barthel-Zimmer 2001, Bargholz et al. 2006] oder einfach mit Wurzelkanalinstrumenten in den Kanal eingebracht. *Haenni et al.* [2003] erwähnt in seiner Studie die Einbringung

von CHX-Gel mit einem Lentulo. Die Qualität der Einbringmethode wurde aber auch hier außer Acht gelassen. In wie weit diese Füllmethoden effektiv sind, wurde bisher in keiner anderen Studie geklärt und war Ziel dieser Arbeit.

7.2.4 Untersuchung auf Homogenität

Bei der Untersuchung auf Homogenitäten spielte die Viskosität von Substanzen eine wichtige Rolle. Dies wurde in Vorversuchen gezeigt. Nur wenige Untersuchungen beschäftigen sich mit dieser physikalischen Eigenschaft [Basrani et al. 2004]. Die stärkste Blasenbildung zeigten die Zahnwurzeln, die mit Gel/ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ und einem Lentulo gefüllt wurden. Eine Verringerung der Blasenbildung bei Herstellung einer anderen Viskosität ist denkbar. Ein weiterer Einfluss auf die Homogenität liegt im natürlichen Verlauf der Kanalkonfigurationen. Weiterhin ist es möglich eine bessere Homogenität bei veränderter Aufbereitungskonizität zu erreichen. So ist es durchaus denkbar dieses Ergebnis durch eine Konizität von 2% bzw. 6% deutlich zu steigern.

8 Klinische Schlussfolgerung

Ziel der vorliegenden Studie war, einen Vergleich der Applikationsmethoden in Abhängigkeit der Aufbereitungsgröße zu schaffen. Es konnte gezeigt werden, dass eine Kombination von CHX-Gel und Kalziumhydroxid in den Wurzelkanal mittels Druckanästhesiespritze und Kanüle in den gesamten Wurzelkanal eingebracht werden kann. Die gleiche Formulierung konnte auch mit einem Lentulo in den Kanal eingebracht werden ohne einen Qualitätsnachteil in Bezug zur Applikationstiefe zu erhalten. Die Mischung CHX-Gel und Kalziumhydroxid konnte mit Kanüle aber homogener eingebracht werden. Weiterhin konnte diese Studie zeigen, dass die Aufbereitungsgröße 04/35 und 04/25 keinen signifikanten Einfluss auf die Eindringtiefe der Medikamente hatte. Die verschiedenen Applikationsmethoden zeigten keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Blasenbildung im Wurzelkanal.

9 Zusammenfassungen

9.1 Zusammenfassung (vierseitig)

Zur Qualität der Applikation von Wurzelkanalmedikationen in Gelform und als Paste in Abhängigkeit von der Aufbereitungsgröße

Einleitung:

Ziel der Studie, war die Qualität der Applikation von Wurzelkanalmedikationen in Gelform und als Paste in Abhängigkeit von der Aufbereitungsgröße zu untersuchen und zu vergleichen. Insgesamt wurden 40 gerade menschliche untere Frontzahnwurzeln in 2 Gruppen zu je 20 Zähnen aufgeteilt und mit rotierenden Ni/Ti Instrumenten auf 04/25 und 04/35 aufbereitet. Die Proben wurden nun in vier Gruppen zu je n=10 eingeteilt, verblindet und mit verschiedenen Medikamenten, auf zwei unterschiedliche Methoden in die Wurzelkanäle eingebracht. Anschließend wurden diese in zwei Ebenen geröntgt, ausgewertet und entblindet, um die Wurzeln der Zähne erneut verwenden zu können. Diese Prozedur erfolgte bis alle Wurzeln einmal mit demselben Medikament durchsetzt wurden, um einen Vergleich der Gruppen zu erhalten. Wir fanden keinen Einfluss der Applikationsmethode auf die Eindringtiefe der Medikamente in das apikale Drittel der Zahnwurzeln. Weiterhin konnte diese Studie zeigen, dass die Aufbereitungsgröße 04/35 und 04/25 keinen signifikanten Einfluss auf die Eindringtiefe der Medikamente hatte. Die verschiedenen Applikationsmethoden zeigten keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Blasenbildung im Wurzelkanal. Somit erwies sich die Applikation des CHX-Gels in Kombination mit $\text{Ca}(\text{OH})_2$ dem Goldstandard $\text{Ca}(\text{OH})_2$ mittels Lentulo als gleichwertig.

Problemstellung:

In der Literatur wird die Anwendung von CHX-Gel bei Problemkeimen wie *E. faecalis* bei persistierenden apikalen Parodontitiden empfohlen. Leider findet man in der Literatur nur sehr selten eine Beschreibung, wie Medikamente in den Kanal eingebracht werden sollten um ein Maximum der desinfizierenden Wirkung zu erzielen. Als Füllmethode wird meist nur die Füllmethode mittels Lentulo oder $\text{Ca}(\text{OH})_2$ in Kombination mit Guttaperchastiften erwähnt. Während die Methode mit Guttapercha keinen positiven Effekt auf die Desinfektion des Wurzelkanals zeigen konnte, gibt es neben der

konventionellen Füllmethode mit dem Lentulo auch noch weitere Möglichkeiten, wie z.B. Gele mit Füllkanülen in den Zahnkanal einzubringen. In wie fern diese Methode einen Einfluss auf die Füllqualität hat wurde bisher noch nicht eruiert. Weiterhin findet man in der Literatur keine Aussage über eine Abhängigkeit der Aufbereitungsgröße und der Qualität der medikamentösen Füllung. Um hier eine Aussage treffen zu können wurde eine etablierte und häufig untersuchte maschinelle Aufbereitungsmethode angewendet um einen sinnvollen Vergleich zu schaffen.

Material und Methode:

Die Wurzelkanäle von 40 extrahierten menschlichen Unterkiefer-Frontzähnen wurden nach der Crown-Down-Technik maschinell aufbereitet. 20 Zähne wurden auf einen apikalen Durchmesser der ISO-Größe 25 bei einer Konizität von 4% und 20 Zähne auf ISO 35 mit derselben Konizität aufbereitet. Alle 40 Zähne wurden danach randomisiert in 4 Gruppen eingeteilt. Drei verschiedene Formulierungen (CHX/BaSo₄, CHX/Ca(OH)₂/BaSo₄, Ca(OH)₂/BaSo₄) wurden mit zwei unterschiedlichen Methoden (Kanüle mit 0,4 mm Durchmesser, Füllspirale) in die Wurzelkanäle eingebracht. Dabei entstanden folgende Versuchsgruppen:

Versuchsgruppe 1: CHX/BaSo₄ mit Kanüle und Druckenästhesiespritze appliziert, Versuchsgruppe 2: CHX/Ca(OH)₂/BaSo₄ mit Kanüle und Druckenästhesiespritze appliziert, Versuchsgruppe 3: CHX/Ca(OH)₂/BaSo₄ mit Füllspirale gefüllt, Kontrollgruppe: Ca(OH)₂/BaSo₄ mit Füllspirale gefüllt (Goldstandard).

Die Gruppen wurden verblindet und per Zufall mit den verschiedenen Medikamenten und Methoden gefüllt. Nach jeder Applikation wurden Röntgenbilder in 2 Ebenen angefertigt und die Zahnwurzeln gereinigt und erneut gefüllt, bis jeder Zahn ein mal mit einer Versuchsgruppe gefüllt wurde und insgesamt 320 Röntgenbilder vorlagen, ausgewertet und anschließend zugeordnet wurden.

Die statistische Auswertung erfolgte mit SPSS, Version 12.0. Die explorative Datenanalyse wurde zur Berechnung der Ergebnisse eingesetzt und das Signifikanzniveau für die darauf folgenden nichtparametrischen Tests auf $\alpha = 0,05$ festgelegt.

Ergebnisse:

Die Bestimmung der Eindringtiefe der unterschiedlichen Formulierungen zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Versuchs-

gruppen und der Kontrollgruppe. Die Aufbereitungsgröße 04/35 und 04/25 hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Eindringtiefe. Die verschiedenen Applikationsmethoden zeigten keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Blasenbildung im Wurzelkanal. In Bezug auf die Homogenität zeigte die Gruppe CHX/Ca(OH)₂ und Füllmethode Lentulo die stärksten Abweichungen.

Diskussion:

In erster Linie unterscheidet man die Aufbereitung der Wurzelkanäle mit mechanischen und der Desinfektion mit chemisch/physikalischen Mitteln. Zu der Desinfektion mit chemisch/physikalischen Mitteln zählen in erster Linie Spüllösungen aller Art. Etabliert haben sich hier NaOCl in einer Konzentration zwischen 0,5 und 2% [Byström et al. 1983; Moorer&Wesselink 1982] oder auch neuere Substanzen wie MTAD [Torabinejad et al. 2003a&2003b]. Diese Spüllösungen haben nur eine ergänzende Wirkung zur mechanischen Aufbereitung, in Form von Keimreduktion und Entfernen der Schmierschicht. Weiterhin kommt EDTA als Spülung nach der mechanischen Aufbereitung zum Einsatz, um den „Smear Layer“ zu entfernen und die Seitenkanäle für keimreduzierende und gewebeauflösende Spüllösungen gängig zu machen [Mayer et al. 2002]. Wurzelkanäle können von Hand oder auch mechanisch oder auch mit maschineller Hilfe aufbereitet werden. Studien konnten zeigen, dass die Aufbereitung mit maschinellen Instrumenten wesentlich einfacher und genauer im Vergleich zur Aufbereitung mit Handinstrumenten ist. Auch die Wahl der Aufbereitungsinstrumente spielt eine große Rolle. So zeigte eine Studie, dass Nickel-Titan Instrumente in Kombination mit drehmomentbegrenzter Rotation zu den Effektivsten Ergebnissen bei der Aufbereitung führen [Tepel 2000]. Auch die Konizität bei der Aufbereitung spielt eine wichtige Rolle für den Erfolg einer Wurzelkanalfüllung. Eine Studie von *Stoll* konnte zeigen, dass eine Konizität von 4% bei der Aufbereitung zu einer besseren Dichtigkeit der späteren Wurzelkanalfüllung führt [Stoll 2007]. Die Wahl der chemischen Einlagen beruht auf der Effektivität neuerer und konventioneller Untersuchungen. So ist z.B. Kalziumhydroxid in der Endodontie noch immer das Mittel der Wahl, um Keime zu reduzieren und Bakterien abzutöten. Ein weiterer Vorteil liegt in der gewebeauflösenden Wirkung [Grawehr 2003] und der geringen Toxizität. Dennoch gibt es Gründe für andere medikamentöse Einlagen oder auch Kombinationen verschiedener Komponenten. Hier spielen Problemkeime wie *E. faecalis* [Pinheiro 2003] eine wichtige Rolle, da sie für das Persistieren von apikalen Parodontitiden verantwortlich gemacht werden. Um auch diese Keime zu eliminieren und die Prognose für den Erhalt der trepanierten Zähne zu verbessern, empfehlen

mehrere Autoren Kalziumhydroxid mit anderen Stoffen wie z.B. Chlorhexidin [Evans et al. 2003], NaOCl [Zehnder 2003] zu kombinieren. So zeigt eine Kombination von Kalziumhydroxid und Chlorhexidin eine schnellere keimtötende Wirkung gegenüber *P. micros* und *S. intermedius* [Podbielski 2003]. Dennoch kommen andere Autoren zu dem Ergebnis, dass die effektivste Wirkung das CHX-Gel ohne Kombination mit anderen Mitteln ist [Gomes et al. 2003]. Um eine Bestätigung der unterschiedlichen Studien zu bekommen müssen weitere Untersuchungen folgen.

Schlussfolgerung:

Manche Autoren empfehlen Ca(OH)_2 -Paste mit einem Lentulo in den Kanal einzubringen und mit einem Plugger oder einer Papierspitze zu verdichten, um einen Kontakt zwischen der Paste und der Wurzelkanalwand zu ermöglichen [Bargholz 2006]. Hier besteht die Gefahr die Paste beim Verdichten in das apikale Gewebe zu überpressen. Ob das Überpressen für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung von Wichtigkeit ist, kann zum momentanen Zeitpunkt nicht eindeutig bestimmt werden.

Möglichkeiten medikamentöse Einlagen in den Wurzelkanal zu befördern kann durch die Applikation mit einer Druckanästhesiespritze und einer Kanüle erfolgen. Hier liegt der Vorteil eindeutig in der einfachen Anwendung des Systems. Die Eindringtiefe kann mit der eines Lentulos verglichen werden. Ein Nachteil liegt in der benötigten Viskosität der Suspension. So kann z.B. eine reine Ca(OH)_2 -Paste mit diesem System nicht in den Wurzelkanal eingebracht werden. Bei diesem System zeigen sich jedoch gute Erfolge bei Anwendung von Gelen. Eine weitere Möglichkeit gilt der Applikation von Medikamenten in Form von Guttapercha, welches mit Ca(OH)_2 versetzt wurde. Es konnte gezeigt werden, dass die Applikationsform den anderen zwar überlegen ist, aber in Bezug zur Effektivität keinerlei Indikation bedarf [Barthel-Zimmer 2001].

CHX-Gel kann mit einer Kanüle (Durchmesser 0,4 mm) in die gesamte Wurzelkanallänge eingebracht werden. Weiterhin kann eine Formulierung von CHX/ Ca(OH)_2 mittels einer Kanüle, genauso eingebracht werden wie mit konventionellen Methoden (Füllspirale). Die Aufbereitungsgröße 04/35 und 04/25 hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Eindringtiefe und die Homogenität der medikamentösen Einlage. Die Eindringtiefe des kombinierten Gels ist unabhängig von der Applikationsform (Lentulo oder Applikationsspritze).

9.2 Zusammenfassung englisch (einseitig)

Application quality of root canal dressing with gel/cannule and paste/lentulo

Abstract

Jablonski, Boris

40 lower incisors with one root canal were randomly assigned into two groups. 20 teeth were instrumented using rotary instruments to a size 0.04/25, and 20 teeth to a size 0.04/30. 5 teeth from each group were randomly assigned into four treatment groups:

CHX/BaSO₄/cannule,

CHX/Ca(OH)₂/BaSO₄/cannule,

CHX/Ca(OH)₂/BaSO₄/lentulo and

Ca(OH)₂/BaSO₄/lentulo.

Teeth were radiographed in two planes. After that, the teeth were cleaned and the experiment was repeated, until n=20 samples were measured in every group. We measured the depth of penetration (mm to apex) and the homogeneity (four classes). Statistical processing was done with ANOVA (depth of penetration) and nonparametric tests (homogeneity). There was no statistical effect of material or instrumentation size on penetration depth. The application of a gel with a lentulo results in reduced homogeneity (p=0.031). We conclude that a gel can be applied as an endodontic dressing with a cannule and high pressure even in root canals with small preparation size. The application of a gel with a lentulo is not recommended.

Key words: root canal dressing, chlorhexidine gel

9.3 Zusammenfassung für die Marburger Bibliographie

Zur Qualität der Applikation von Wurzelkanalmedikationen in Gelform und als Paste in Abhängigkeit von der Aufbereitungsgröße.

Einleitung: Medikamentöse Zwischeneinlagen in initial oder definitiv aufbereiteten Wurzelkanälen sollen homogen und möglichst bis zum Apex eingebracht werden. Dieses Ziel ist mit der klassischen Technik (Paste & Füllspirale) nicht immer leicht zu erreichen. Alternative Einlagemedikamente in Gelform legen die Applikation mittels Kanüle nahe. **Ziel** der vorliegenden Arbeit ist es zu untersuchen, ob mit der Kombination Gel/Kanüle eine zumindest gleichwertige Einlagemedikation zu erreichen ist.

Material und Methode: Die Wurzelkanäle von 40 extrahierten und einkanaligen Frontzähnen wurden nach der Crown-Down-Technik maschinell aufbereitet. Je 20 Zähne wurden auf einen apikalen Durchmesser der ISO-Größe 04/25 und ISO 04/35 aufbereitet. Alle 40 Zähne wurden danach randomisiert in 4 Gruppen eingeteilt. Drei verschiedenen Formulierungen (CHX/BaSo_4 , $\text{CHX}/\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{BaSo}_4$, $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{BaSo}_4$) wurden mit zwei unterschiedlichen Methoden (Kanüle mit Durchmesser 0.4 mm, Füllspirale ISO 25) in die Wurzelkanäle eingebracht. Dabei entstanden folgende Versuchsgruppen: Gruppe 1: CHX/BaSo_4 mit Kanüle und Druckanästhesiespritze appliziert, Gruppe 2: $\text{CHX}/\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{BaSo}_4$ mit gleicher Methode, Gruppe 3: $\text{CHX}/\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{BaSo}_4$ mit Füllspirale gefüllt, Kontrollgruppe: $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{BaSo}_4$ mit Füllspirale gefüllt (Goldstandard). Nach jeder Applikation wurden Röntgenbilder in 2 Ebenen angefertigt und ausgewertet. Bestimmt wurde die Füllungstiefe als Distanz der Einlage vom Apex sowie die Homogenität der Füllung. Die statistische Auswertung erfolgte mittels zweifaktorieller Varianzanalyse (Signifikanzniveau $p=0,05$).

Ergebnisse: Die Bestimmung der Eindringtiefe der unterschiedlichen Formulierungen zeigte keinen statistisch signifikanten Unterschied zwischen den Versuchsgruppen und der Kontrollgruppe. Die Aufbereitungsgröße 04/35 und 04/25 hatte keinen signifikanten Einfluss auf die Eindringtiefe. Die verschiedenen Applikationsmethoden zeigten keinen signifikanten Unterschied in Bezug auf die Blasenbildung im Wurzelkanal.

Schlussfolgerung: CHX-Gel kann mit einer Kanüle (Durchmesser 0,4 mm) in die gesamte Wurzelkanallänge eingebracht werden. Weiterhin kann eine Formulierung von $\text{CHX}/\text{Ca}(\text{OH})_2$ mittels einer Kanüle, genauso eingebracht werden wie mit konventionellen Methoden (Füllspirale).

10 Literaturverzeichnis

1. Abou-Rass M, Patonai F: The effect of decreasing surface tension on the flow of irrigating solutions in narrow root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53, 524-526 (1982).
2. Al-Hadlaq SM, Al-Turaiki SA, Al-Sulami U, Saad AY: Efficacy of a new brush-covered irrigation needle in removing root canal debris: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 32, 1181-1184 (2006).
3. Austin JH, Taylor HD: Behavior of hypochlorite and of chloramine-T solutions in contact with necrotic and normal tissue in vivo. *J Exp Med* 27, 627-633 (1918).
4. Baqui AA, Kelley JI, Jabra-Rizk MA, Depaola LG, Falkler WA, Meiller TF: In vitro effect of oral antiseptics on human immunodeficiency virus-1 and herpes simplex virus type 1. *J Clin Periodontol.* 28, 610-616 (2001).
5. Barbakow F, Lutz F, Toth L: Materialien und Techniken bei Wurzelkanalbehandlungen in der Schweiz – eine Standortbestimmung. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 105, 1265-1271 (1995).
6. Bargholz C, Hör D, Zirkel C: *Praxisleitfaden Endodontie*. Urban & Fischer (1. Aufl.), S. 254 (2006).
7. Barthel-Zimmer: Untersuchungen zur Keimreduktion im Wurzelkanal. Habilitationsschrift. Humboldt-Universität Berlin, S.129 (2001).
8. Basrani B, Ghanem A, Tjaderhane L: Physical and chemical properties of chlorhexidin and calcium hydroxide-containing medications. *J Endod* 30, 413-417 (2004).
9. Baumann M: *Die räumliche Darstellung des Endodonts*. Hanser, München S. 9 (1995).
10. Baumann M A: Nickel-titanium: options and challenges. *Dent Clin North Am* 48, 55-67 (2004).
11. Baumgartner JC, Ibay AC: The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *J Endod* 13, 47-51 (1987).
12. Baumgartner J, Cuenin P: Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod* 18, 605-612 (1992).
13. Becker G, Cohen S, Borer R: The sequelae of accidentally injecting sodium hypochlorite beyond the root apex. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 38, 633-638 (1974).

14. Beer R: Maschinelle versus Handinstrumentierung des Wurzelkanals. ZWR 102, 856-861 (1993).
15. Beer R, Baumann MA: Endodontologie, Farbatlant der Zahnmedizin. Band 7, Thieme Stuttgart (1997).
16. Beltz RE, Torabinejad M, Pouresmail M: Quantitative analysis of the solubilizing action of MTAD, sodium hypochlorite, and EDTA on bovine pulp and dentin. J Endod 29, 334-337 (2003).
17. Booth JR, Scheetz JP, Lemons JE, Elazer PD: A comparison of torque required to fracture three different nickel-titanium rotary instruments around curves of the same angle of different radius when bound at the tip. J Endod 29, 55-57 (2003).
18. Brown LR, Rudolph CE: Isolation and identification of microorganisms from unexposed canals of pulp-involved teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 10, 1094-1099 (1957).
19. Byström A, Sundqvist G: Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. Scand J Dent Res 89, 321-328 (1981).
20. Byström A, Sundqvist G: Bacteriologic evaluation of the effect of 0,5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 55, 307-312 (1983).
21. Byström A, Sundqvist G: The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. Int Endod J 18, 35-40 (1985).
22. Calt S, Serper A: Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. J Endod 28, 17-9 (2002).
23. Clarkson RM, Podlich HM, Savage NW, Moule AJ: A survey of sodium hypochlorite use by general dental practitioners and Endodontists in Australia. Aust Dent J 48, 20-26 (2003).
24. Cheung GSP: Survival of first-time nonsurgical root canal treatment performed in a dental teaching hospital. Oral Surg Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 93, 596-604 (2002).
25. Dalton BC, Orstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M: Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. J Endod 24, 763-767 (1998).
26. Dammaschke T, Steven D, Kaup M, Ott KH: Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years. J Endod 29, 638-643 (2003).

27. Dammaschke T, Schneider U, Stratmann U, Yoo JM, Schafer E: Effect of root canal dressings on the regeneration of inflamed periapical tissue. *Acta Odontol Scand* 63, 143-152 (2005).
28. Danin J, Linder L, Sund ML, Stromberg T, Torstenson B, Zetterqvist L: Quantitative radioactive analysis of microleakage of four different retrograde fillings. *Int Endod J* 25, 183-188 (1992).
29. Dankert J: Diffusion of Formocresol and Glutaraldehyde Through Dentin and Cementum. *J Endod.* 2, 42-46 (1976).
30. Delany G, Patterson S, Miller C, Newton C: The effect of chlorhexidineglukonate irrigation on the root canal flora of freshly extracted teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53, 518-523 (1982).
31. Eddy RS, Joyce AP, Rpberts S, Buxton TB, Liewehr F: An in vitro evaluation of the antibacterial efficacy of chlorine dioxide on *E. Faecalis* in bovine incisors. *J Endod* 31, 672-675 (2005).
32. Engel GT, Godell GG, McClanahan SB: Sealer penetration and apical microleakage in smear-free dentin after a final rise with either 70% isopropyl alcohol or Peridex. *J Endod* 31, 620-623 (2005).
33. Ehrmann EH, Messer HH, Adams GG: The relationship of intracanal medicaments to postoperative pain in endodontics. *Int Endod J* 36, 868-75 (2003).
34. Estrela C, Rodrigues DE Araujo, Estrela C, Bammann LL, Pecora J D: Two methods to evaluate the antimicrobial action of calcium hydroxide paste. *J Endod* 27, 720-723 (2001).
35. Europäische Gesellschaft für Endodontologie (ESE): Qualitätsrichtlinien Endodontischer Behandlung (1994).
36. Evans MD, Baumgartner JC, Khemaleelakul SU, Xia T: Efficacy of calcium hydroxide. Chlorhexidine paste as an intracanal medication in bovine dentin. *J Endod* 29, 338-339 (2003).
37. Fischer G: Über die feinere Anatomie der Wurzelkanäle menschlicher Zähne. *Dtsch Monatsschr Zahnheilk* 25, 544-552 (1907).
38. Foschi F, Nucci C, Montebugnoli L, Marchionni S, Breschi L, Malagnino VA, Prati C: SEM evaluation of canal wall dentine following use of Mtwo and Pro Taper NiTi. *Int Endod J* 37, 832-839 (2004).
39. Geibel MA: Development of a new micro-endoscope for odontological application. *Eur J Med Res* 27, 123-127 (2006).
40. Gernhardt CR, Eppendorf K, Kozlowski A & Brandt M: Toxicity of concentrated sodium hypochlorite used as an endodontic irrigant. *Int Endod J* 37, 272-280 (2004).

41. Gomes BPFA, Souza SFC, Ferraz CCR, Teixeira FB, Zaia AA, Valdrighi L, Souza-Filho FJ: Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *Int Endod J* 36, 267-275 (2003).
42. Gomes BP, Pinheiro ET, Gade-Neto CR, Sousa EL, Ferraz CC, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho FJ: Microbiological examination of infected dental root canals. *Oral Microbiol Immunol* 19, 71-76 (2004).
43. Gomes BP, Vianna ME, Sena NT, Zaia AA, Ferraz CC, de Souza Filho FJ: In vitro evaluation of the antimicrobial activity of calcium hydroxide combined with chlorhexidin gel used as intracanal medicament. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 102, 544-550 (2006).
44. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M: Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J* 36, 411-417 (2003).
45. Guldener PHA: *Aufbereitung und Reinigung des Wurzelkanals*. Thieme, Stuttgart. S. 200-244 (1987).
46. Guldener PHA, Langeland K: *Endodontologie (3. Auflage)* Thieme Verlag Stuttgart (1993).
47. Haapasalo M, Ørstavik D: In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res* 66, 1375-1379 (1987).
48. Habel C, Bodenwinkler A, Stützlinger H: *Wurzelkanalbehandlung an Molaren*. Deutsche Agentur für Health Technology Assessment des Deutschen Instituts für Medizinische Dokumentation und Information. HTA-Bericht 1.Auflage (2005).
49. Haenni S, Schmidlin PR, Mueller B, Sener B, Zehnder M: Chemical and antimicrobial properties of calcium hydroxide mixed with irrigating solutions. *Int Endod J* 36, 100-105 (2003).
50. Harndt E: Histo-bakteriologische Untersuchungen der erkrankten Pulpa. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilk* 5, 85-101 (1938).
51. Harndt R: Pulpitis an nicht kariösen Zähnen. *Dtsch Zahnärztekalendar* 26, 87-95 (1967).
52. Harrison JW, Madonia JV: The toxicity of parachlorphenol. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 90-99 (1971).
53. Hata A, Kawazoe S: Sealing ability of thermoplasticized guttapercha fill techniques as assessed by a new method of determining apical leakage. *J Endod* 21, 67-172 (1995).

54. Hauser V, Braun A, Frentzen M: Penetration depth of a dye marker into dentine using a novel hydrodynamic system. *Int Endod J* 40, 644-652 (2007).
55. Haznedaroglu F: Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 96, 340-344 (2003).
56. Hellwig, Klimek, Attin: Einführung in die Zahnerhaltung, (3. Auflage) Urban & Fischer S.461-462 (2003).
57. Hermann BW: Kalziumhydroxid als Mittel zum Behandeln und Füllen von Zahnwurzelkanälen. Dissertation. Würzburg (1920).
58. Hermann HW: Die Kombination von Lightspeed Instrumenten und konisch rotierenden Ni-Ti Instrumenten zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle. *Endodontie* 4, 311-322 (1999).
59. Hülsmann M, Rummelin C, Schäfer F: Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: A comparative SEM investigation. *J Endod* 23, 301-306 (1997).
60. Hülsmann M: Entwicklung einer Methodik zur standardisierten Überprüfung verschiedener Aufbereitungsparameter und vergleichende In-vitro-Untersuchung unterschiedlicher Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. *Habil. Schr. Quintessenz, S.1, Göttingen* (2000).
61. Hülsmann M: Die Aufbereitung des Wurzelkanals. In: Heidemann D (Hrsg.), *Endodontie*. Urban&Fischer Verlag München (2001).
62. Hülsmann M: Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten eine vorläufige Bilanz. In: Hülsmann M. (Hrsg.): *Wurzelkanal-Aufbereitung mit Nickel-Titan-Instrumenten. Ein Handbuch*. Quintessenz Verlag Berlin (2002a).
63. Hülsmann M, Heckendorff M, Schafers F: Comparative in-vitro evaluation of three chelator pastes. *Int Endod J* 35, 668-679 (2002b).
64. Hülsmann M, Herbst U, Schafers F: Comparative study of root canal preparation using Lightspeed and Quantec SC rotary NiTi instruments. *Int Endod J* 36, 748-756 (2003).
65. Immig E: *Die Behandlung pulpa- und wurzelkranker Zähne*. Berlinische Verlagsanstalt, Berlin (1911).
66. Kersten HW, Moorer WR: Particles and molecules in endodontic leakage. *J Endod* 22, 118-124 (1989).

67. Kidd EAM: Role of chlorhexidine in the management of dental caries. *Int Dent J* 41, 279-286 (1991).
68. Kockapan, C.: Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung- Eine Übersicht. *Endodontie* 4, 33-48 (1995).
69. Kockapan C: Curriculum Endodontie. Quintessenz Verlags-GmbH, Berlin (2003).
70. Kunzelmann K-H, Hickel R, Lindner M, Heidemann D: Wurzelkanalanzahl und Länge eines mitteleuropäischen Patientenkollektivs. *Dtsch Zahnärztl Z* 47, 697-700 (1992).
71. Kuruvilla J, Kamath M: Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigant. *J Endod* 24, 472-476 (1998).
72. Langeland K: Tissue response to dental caries. *Endod Dent Traumatol* 3, 149-171 (1987).
73. Law A, Messer H: An evidence-based analysis of the antibacterial effectiveness of intracanal medicaments. *J Endod* 30, 689-694 (2004).
74. Le Goff A, Bunetel L, Mouton C, Bonnaure-Mallet M: Evaluation of root canal bacteria and their antimicrobial susceptibility in teeth with necrotic pulp. *Oral Microbiol Immunol* 12, 318-22, (1997).
75. Lehmann J, Bell W, Gerstein H: Sodium lauryl sulfate as an endodontic irrigant. *J Endod* 7, 381-384 (1981).
76. Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LA, Nelson Filho P, Bonifacio KC, Ito IY: In vivo antimicrobial activity of 2% chlorhexidine used as a root canal irrigating solution. *J Endod.* 25, 167-71 (1999).
77. Lewis BB, Chestner SB: Formaldehyde in dentistry: a review of mutagenic and carcinogenic potential. *J Am Dent Assoc* 103, 429-434 (1981).
78. Lin LM, Pascon EA, Skribner J, Gangler P, Langeland K: Clinical, radiographic, and histologic study of endodontic treatment failures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol.* 71, 603-611 (1991).
79. Lin S, Levin L, Peled M, Weiss EI, Fuss Z: Reduction of viable bacteria in dentinal tubules treated with clindamycin or tetracycline. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 96, 751-756 (2003).
80. Love RM: *Enterococcus faecalis* – a mechanism for its role in endodontic failure. *Int Endod J* 34, 399-405 (2001).

81. Machnick TK, Torabinejad M, Munoz CA, Shabahang A: Effect of MTAD on flexural strength and modulus of elasticity of dentin. *J Endod* 29, 747-750 (2003a).
82. Machnick TK, Torabinejad M, Munoz CA, Shabahang A: Effect of MTAD on the bond strength to enamel and dentin. *J Endod* 29, 818-821 (2003b).
83. Mannocci F, Ferrari M: Apical Seal of Roots obturated with Laterally Condensed Guttapercha, Epoxy Resin Cement and dentin Bonding Agent. *J Endod* 24, 41-44 (1998).
84. Masillamoni CM, Kettering JD, Torabinejad M: The biocompatibility of some root canal medicaments and irrigants. *Int Endod J* 14, 115–120 (1981).
85. Mayer BE, Peters OA, Barbakow F: Effects of rotary instruments and ultrasonic irrigation on debris and smear layer scores: a scanning electron microscopic study. *Int Endod J*. 35, 582-589 (2002).
86. McDonald JB, Hare GC, Wood AWS: The bacterial status of the pulp chambers in intact teeth found to be nonvital following trauma. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 10, 318-322 (1957).
87. Menezes MM, Valera MC, Jorge AO, Koga-Ito CY, Camargo CH, Mancini MN: In vitro evaluation of the effectiveness of irrigants and intracanal medicaments on microorganisms within root canals. *Int Endod J* 37, 311-319 (2004).
88. Merte K: Die Wurzelkanalaufbereitung - handinstrumentell oder maschinell, Teil I - Edelmetallinstrumente. *ZMK* 11, 752-760 (2002a).
89. Merte K: Die Wurzelkanalaufbereitung - handinstrumentell oder maschinell, Teil II - Nickel-Titan-Instrumente. *ZMK* 12, 863-868 (2002b).
90. Metzger Z, Abramovitz R, Abramovitz L, Tagger M: Correlation between remaining length of root canal fillings after immediate post space preparation and coronal leakage. *J Endod* 26, 724-728 (2000).
91. Moore WE: Microbiology of periodontal disease. *J Periodontal Res* 22, 335-341 (1987).
92. Moorer W, Wesselink P: Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J* 15, 187-196 (1982).
93. Moshonov J, Slutzky-Goldberg I: Apex locators: update and prospects for the future. *Int J Comput Dent* 7, 359-370 (2004).

94. Münch J: Beitrag zur Chlorphenolkampfertherapie in der konservierenden Zahnheilkunde. Vierteljahresschrift für Zahnheilkunde S. 255-261 (1923).
95. Nerwich A, Figdor D, Messer HH: pH changes in root dentin over a 4-week period following root canal dressing with calcium hydroxide. J Endod 19, 302-306 (1993).
96. Niss H, Jepsen S, Griesinger HR., Albers HK: Thermoplastische und konventionelle Guttapercha-Wurzelkanalfülltechnik. Deutsche Zahnärztliche Z 51, 627-629 (1996).
97. Nygaard-Østby B: Chelation in root canal therapy. Odontologisk Tidsskrift 65, 3-11 (1957).
98. Oguntebi BR, Shen C: Effect of Different Sealers on Thermoplasticed Guttapercha Root Canal Obturations. J Endod 18, 363-366 (1992).
99. 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 37, 38-41 (2004).
100. Peters LB, Van Winkelhoff AJ, Buijs SJF, Wesselink PR: Effects of instrumentation, irrigation and dressing with calcium hydroxide on infection in pulpless teeth with periapical bone lesions. Int Endod J 35, 13-21 (2002).
101. Pinheiro ET., Gomes BP, Ferraz CC, Sousa EL, Teixeira FB, Souza-Filho FJ: Microorganisms from canals of root-filled teeth with periapical lesions. Int Endod J. 36, 1-11 (2003).
102. Podbielski A, Spahr A, Haller B: Additive Antimicrobial Activity of Calcium Hydroxide and Chlorhexidin on Common Endodontic Bacterial Pathogens. J Endod 29, 340-345 (2003).
103. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DJ: Cyclic fatigue testing of nickel-titanium rotary endodontic instruments. J Endod 23, 77-85 (1997).
104. Rocke H, Kerschbaum Th, Fehn C: Zur Verweildauer wurzelkanalbehandelter Zähne. Dtsch Zahnärztl Z 52, 783-786 (1997).
105. 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 94, 366-371 (2002).

106. Rosental F, Rubinstein J, Bachkin S, Mirskaya N: Klinische Beobachtungen über die Spätresultate der Wurzelbehandlung mit Radisan, Kampher-Chlorphenol und Silberlösung. Zahnärztliche Rundschau 38, 921-930 (1929).
107. Rosenthal S, Spangberg L, Safavi K: Chlorhexidine substantivity in root canal dentin. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 98, 488-492 (2004).
108. Safafi KE, Nichols FC: Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide. J Endod 19, 76-78 (1993).
109. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W: Wurzelkanalinstrumente aus Nickel-Titan-Legierungen zur Wurzelkanalaufbereitung. ZWR 103, 90-96 (1994).
110. Schäfer E, Hickel R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab WHM: Wurzelkanalaufbereitung. Stellungnahme der DGZMK und der DGZ. Dtsch Zahnärztliche Z 55, 719-721 (2000).
111. Schäfer E, Schulz - Bongert U, Tulus G: Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. J Endod 30, 432-435 (2004).
112. Schiffner U: Karies - eine Infektionserkrankung? Oralprophylaxe 19, 174-180 (1997).
113. Schilder H: Filling Root Canals in Three Dimensions. Dent Clin North Am 11, 723-744 (1967).
114. Schilder H: Cleaning and Shaping the Root Canal. Dent Clin North Am 18, 269-296 (1974).
115. Sedgley C: Root canal irrigation -a historical perspective. J Hist Dent 52, 61-65 (2004).
116. 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 38, 97-104 (2005).
117. Serper A, Calt S, Dogan AL, Guc D, Ozcelik B, Kuraner T: Comparison of the cytotoxic effects and smear layer removing capacity of oxidative potential water, NaOCl and EDTA. J Oral Sci 43, 233-238 (2001).
118. Shabahang S, Pouresmail M, Torabinejad M: In vitro antimicrobial efficacy of MTAD: and sodium hypochlorite. J Endod 29, 450-452 (2003).

119. `s Gravenmade, EJ, Wemes, JC: The Interaction of Glutaraldehyde With Biological Materials in Endodontics, *J Dent Res* 52, 601 (1973).
120. `s Gravenmade, EJ: Quantitative measurements of the diffusion in vitro of some aldehydes in root canals of human teeth. *Oral Surg* 52, 97-100 (1981).
121. Shipper G, Orstavik D, Teixeira FB, Trope M: An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymer-based root canal filling material (Resilon). *J Endod* 30, 342-347 (2004).
122. Shipper G, Teixeira FB, Arnold RR, Trope M: Periapical Inflammation after Coronal Microbial Inoculation of Dog Roots Filled with Gutta-Percha or Resilon. *J Endod* 31, 91-96 (2005).
123. Siqueira JF, Lopes HP: Kalziumhydroxid als antimikrobielle Einlage in der Endodontie - Wirkungsmechanismen, Vorteile und Grenzen. *Endodontie* 11, 333-347 (2002).
124. Siqueira Junior J, Rocas I, Favieri A, Lima K: 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* 26, 331-334 (1999).
125. Siren EK, Haapasalo MP, Waltimo TM, Orstavik D: In vitro antibacterial effect of calcium hydroxide combined with chlorhexidine or iodine potassium iodide on *Enterococcus faecalis*. *Eur J Oral Sci* 112, 326-331 (2004).
126. 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* 31, 669-671 (2005).
127. Sjörgen U, Figdor D, Spangberg L, Sundqvist G: The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *Int Endod J* 24, 119-125 (1991).
128. Soares JA, Leonardo MR, da Silva LA, Tanomaru Filho M, Ito IY: Effect of rotary instrumentation and of the association of calcium hydroxide and chlorhexidin on the antisepsis of root canal systems in dogs. *Braz Oral Res* 20, 120-126 (2006).
129. Soekanto A, Kasugai S, Mataka S, Ohaya K, Ogura H: Toxicity of camphorated phenol and camphorated parachlorophenol in dental pulp cell culture. *J Endod* 22, 284-286 (1996).
130. Spångberg L, Rutberg M, Rydinge E: Biologic effects of endodontic antimicrobial agents. *J Endod* 5, 166-175 (1979).

131. Spångberg L: Intracanal medications. In: Ingle JI, Bakland LK, Herausgeber. Endodontics 4. Aufl. Williams and Wilkins, Baltimore, 627-640 (1994).
132. Stock CR, Walker, Gulavivala K: Endodontie. 1. München, Urban & Fischer bei Elsevier (2005).
133. Stoll R, Hannig M, Stachniss V: Auswirkungen der Konizität der Aufbereitung auf die Dichtigkeit von vier Wurzelkanalfüllmethoden in vitro. ZWR 116, 231-236 (2007).
134. Sundqvist G: Bacteriologic studies of necrotic pulps (PhD Thesis). Umeå: University of Umeå (1976).
135. Svec T, Harrison J: The effect of effervescence on debridement of the apical regions of root-canals in single-rooted teeth. J Endod 7, 335-340 (1981).
136. Tay KC, Loushine BA, Oxford C, Kapur R, Primus CM, Gutmann JL, Loushine RJ, Pashley DH, Tay FR: In vitro evaluation of a Ceramicrete-based root-end filling material. J Endod 33, 1438-1443 (2007).
137. Teixeira F, Teixeira EC, Thompson JY: Fracture resistance of roots endodontically treated with a new resin filling material. J Am Dent Assoc 135, 646-652 (2004).
138. Tepel J: Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. Dtsch Zahnärztl Z 53, 101-114 (1998).
139. Tepel J: Experimentelle Untersuchung über die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. Habilitationsschriften der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Quintessenz Verlag Berlin (2000).
140. Torabinejad M, Khademi A, Babagoli J., Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S: A new solution for the removal of the smear layer. J Endod 29, 170-175 (2003a).
141. Torabinejad M, Cho Y, Khademi A, Bakland L, Shabahang S: The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer J Endod 29, 233-239 (2003b).
142. Treanor HF, Goldman M: Bactericidal efficiency of intracanal medications. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 33, 791-796 (1972).
143. Tronstad L, Andreasen JO, Hasselgren G, Kristerson L, Riis I: pH changes in dental tissues after root canal filling with calcium hydroxide. J Endod 7, 17-21 (1981).
144. Tronstad L: Clinical Endodontics. Stuttgart (2003).

145. Trope M, Delano EO, Orstavik D: Endodontic treatment of teeth with apical periodontitis: single vs. multivisit treatment. *J Endod* 25, 345-350 (1999).
146. Voß A, Heidemann D, Raab WHM, Schäfer E, Tetschelt A, Weiger R, Hülsmann M: Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge, Stellungnahme der DGZMK. *Dtsch Zahnärztliche Z* 11, 605 (2004).
147. Walkhoff O: Vereinfachte Behandlung der Pulpakrankheiten mittels Jodoformknorpel und Chlorphenol. *Dtsch Monatsschr Zahnheilk* 1, 192-201 (1982).
148. Waltimo TM, Siren EK, Orstavik D, Haapasalo MP: Susceptibility of oral *Candida* species to calcium hydroxide in vitro. *Int Endod J* 32, 94-98 (1999a).
149. Waltimo TM, Orstavik D, Siren EK, Haapasalo MP: In vitro susceptibility of *Candida albicans* to four disinfectants and their combinations. *Int Endod J* 32, 421-429 (1999b).
150. Wang CS, Arnold RR, Trope M, Teixeira FB: Clinical efficiency of 2% chlorhexidine gel in reducing intracanal bacteria. *J Endod* 33, 1283-1289 (2007).
151. Weber CD, McClanahan SB, Miller GA, Diener-West M, Johnson JD: The effect of passive ultrasonic activation of 2% chlorhexidin or 5.25% sodium hypochlorite irrigation on residual antimicrobial activity in root canals. *J Endod* 29, 262-264 (2003).
152. Weine FS: Endodontic therapy. Fifth Edition; Mosby St. Louis-Toronto S. 243 (1996).
153. Wemes JC, Jansen HWB, Purdell-Lewis D, Boering G: Histologic evaluation of the effect of formocresol and glutaraldehyde on the periapical tissues after endodontic treatment. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 54, 329-333, Sept. (1982).
154. Wemes JC, Veldkamp DF, Purdell-Lewis DJ: Glutardialdehyde in endodontic therapy - philosophy and practice. *Int Dent J* 11, 63-70 (1983).
155. Wolke B: Ergebnisse von 749 Wurzelkanalbehandlungen an 402 Zähnen mit Glutardialdehyd 2% von 1992- 2000. *DZW* 19, 31-32 (2002).
156. Wu MK, Wesselink PR: Endodontic leakage studies reconsidered. Part 1. Methodology, application and relevance. *Int Endod J* 26, 37-43 (1993).

157. Wrbas KT, Ziegler AA, Altenburger MJ, Schirrmeister JF: In vivo comparison of working length determination with two electronic apex locators. *Int Endod J* 40, 133-138 (2007).
158. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS: A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions. *J Endod* 9, 137-142 (1983).
159. Yoshida T, Shibata T, Shiohara T, Gomyo S, Sekine I: Clinical evaluation of the efficacy of EDTA solution as an endodontic irrigant. *J Endod* 21, 592-593 (1995).
160. Zehnder M, Grawehr M, Hasselgren G, Waltimo T: Tissue-dissolution capacity and dentin-disinfecting potential of calcium hydroxide mixed with irrigating solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96, 608-613 (2003).
161. Zhang W, Torabinejad M, Li Y: Evaluation of Cytotoxicity of MTAD using the MTT-tetrazolium method. *J Endod* 29, 654-657 (2003).

11 Glossar/Abkürzungen

Abb.	Abbildung
ADA	American Dental Association
BaSO ₄	Bariumsulfat
bzw.	beziehungsweise
Ca(OH) ₂	Kalziumhydroxid
CHX	Chlorhexidindigluconat
CMCP	Kampfermonochlorphenol
EDTA	Ethylendiamintetraacetat
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
MTAD	Mixture, Tetracyclin, Acid, Detergent
mm	Millimeter
min	Minuten
NaOCl	Natriumhypochlorit
NiTi	Nickel-Titan
Tab.	Tabelle
z. B.	zum Beispiel

12 Materialverzeichnis

Produkt/Handelsname	Hersteller/Bezugsquelle
1 Thymollösung, gesättigt	Fa. Merk, D-64294 Darmstadt
2 Ultraschallgerät Sonosoft	Kavo, D-88299 Leutkirch
3 Scaler M 23	Deppeler, CH-1180 Rolle
4 Skalpell Nr. 15	Aesculap, D-78532 Tuttlingen
5 Diamantschleifkörper 1,5 mm	Komet, D-32631 Lemgo
6 Gates Glidden Bohrer	Komet, D-32631 Lemgo
7 Reamer u. Headströmfeilen	VDW, Zdarsky Ehrler GmbH&Co KG, D- 81709 München
8 Flexmasterfeilen	VDW, Zdarsky Ehrler GmbH&Co KG, D- 81709 München
9 Natriumhypochlorit-Lösung 2,5%	Hausapotheke
10 Papierspitzen	Kerr GmbH, D-76158 Karlsruhe
11 CHX-Gel 1%	Hausapotheke
12 Bariumsulfat (233.40 g/mol)	Fa. Merk, D-64294 Darmstadt
13 Calxyl/BaSo4	OCO Präparate GmbH, D-67246 Dirmstein
14 Citoject	Aesculap, D-78532 Tuttlingen
15 Free Flow	Heraeus Kulzer, D-63450 Hanau
16 Lentulo	Komet, D-32631 Lemgo
17 Silaplast	Detax GmbH, D-76256 Ettlingen
18 Isolierband	Baumarkt
19 KFO- Draht	Forestadent, D-75172 Pforzheim
20 Digora Speicherfolien	Gendex, D-20097 Hamburg
21 Digora Optine Scanner	Gendex, D-20097 Hamburg

13 Danksagung

Herrn Prof. Dr. Stachniss und Herrn Prof. Dr. Stoll möchte ich meinen herzlichen Dank für die Überlassung des Dissertationsthemas und die intensive Unterstützung bei der Entstehung dieser Arbeit aussprechen.

14 Verzeichnis Akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Aumüller, Austermann, Coca, Dibbets, Feuser, Flores-de-Jacoby, Gente, Geuß, Hasilik, Koolmann, Lehmann, Lill, Lotzmann, Löffler, Mengel, Mittag, Pieper, Radsack, Ramaswamy, Röhm, Seitz, Stachniss, Stoll, Weihe, Wenz.