

**Aus dem Medizinischen Zentrum für ZMK-Heilkunde – Abteilung  
für Zahnerhaltungskunde  
des Fachbereichs Medizin  
der  
Philipps-Universität Marburg  
Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger**

**Mikroleakage-Untersuchung von  
Wurzelkanalfüllungen nach  
unterschiedlichen medikamentösen Einlagen:  
zwei neue Wurzelkanalsealer im Vergleich zum  
Standard AH Plus**

Inaugural–Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin  
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von  
Christoph Schirmer aus Speyer  
Marburg, 2014

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg  
am: 28.01.2014

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Philipps-Universität Marburg

**Dekan:**

Prof. Dr. H. Schäfer

**Referent:**

Prof. Dr. R. Frankenberger

**Korreferent:**

Prof. Dr. R. Mengel

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

1	<b>Zusammenfassung</b> .....	1
1	<b>Summary</b> .....	3
2	<b>Einleitung</b> .....	5
3	<b>Literaturübersicht</b> .....	6
3.1	Wurzelkanalspülungen.....	6
3.1.1	Spüllösungen zur Desinfektion .....	7
3.1.2	Spüllösungen zur Entfernung der Schmierschicht .....	9
3.2	Sealer .....	10
3.2.1	AH Plus.....	12
3.2.2	GuttaFlow .....	12
3.2.3	Epiphany.....	13
3.3	Die medikamentöse Wurzelkanaleinlage.....	14
3.3.1	Ledermix.....	14
3.3.2	Calciumhydroxid Ca(OH) <sub>2</sub> .....	15
3.3.3	Chlorhexidindigluconat (CHX) .....	17
3.4	Obturationstechniken .....	19
3.4.1	Zentralstifttechnik.....	19
3.4.2	Laterale Kondensation.....	20
3.4.3	Vertikale Kondensation.....	20
4	<b>Material und Methode</b> .....	21
4.1	Der Versuchsaufbau.....	21
4.2	Vorbereitung der Wurzelkanäle .....	22
4.3	Medikamentöse Einlage.....	32
4.4	Wurzelkanalfüllung.....	32
4.5	Farbstoffpenetrationstest .....	27
4.6	Statistische Auswertung.....	32
5	<b>Ergebnisse</b> .....	33

<b>6</b>	<b>Diskussion</b> .....	<b>36</b>
6.1	Diskussion der Ergebnisse.....	40
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>45</b>
<b>8</b>	<b>Anhang</b> .....	<b>54</b>
	Materialliste.....	54
	Statistik .....	57
	Tabellarischer Lebenslauf.....	70
	Verzeichnis der akademischen Lehrer.....	71
	Danksagung.....	72
	Ehrenwörtliche Erklärung.....	73

# 1 Zusammenfassung

## 1.1 Hintergrund und Ziele

Das Ziel der Wurzelkanalbehandlung ist der permanente bakteriendichte, flüssigkeitsdichte Verschluss des Wurzelkanalsystems. Bei der Wurzelkanalbehandlung kann es notwendig sein, medikamentöse Zwischeneinlagen anzuwenden, die zwar wieder entfernt werden, deren Reste aber das Abdichtungsvermögen der Wurzelkanalfüllung möglicherweise beeinträchtigen. In dieser Studie wurde deshalb der Einfluss verschiedener medikamentöser Einlagen in der Darreichungsform als Guttaperchastift auf die Abdichtungseigenschaften der Sealer GuttaFlow (GF) und Epiphany (EP) im Vergleich zu dem etablierten Sealer AH Plus (AH) untersucht.

## 1.2 Material und Methode

Es wurden 90 einwurzelige Zähne in 3 Gruppen (n=30) bezüglich der oben genannten Sealer aufgeteilt, welche weiterhin in 3 Untergruppen (n=10) bezüglich verschiedener medikamentöser Einlagen zugeordnet wurden (Chlorhexidindiacetat: CHX, Calciumhydroxid: CaOH, keine Einlage: (-)). Die Aufbereitung erfolgte durch die crown-down Technik auf die Größe 45 taper .04. Die anschließende Reinigung wurde durch eine aktivierte Wechselfspülung mit Natriumhypochlorit-Lösung (5%), Zitronensäure-Lösung (40%) und abschließender Alkohol-Spülung (70%) durchgeführt. Die Zähne wurden mit der jeweiligen medikamentösen Einlage beschickt, mit einem Schaumstoffpellet und Cavit verschlossen und für 7 Tage im Brutschrank (37°C/100% Luftfeuchtigkeit) gelagert. Es erfolgte eine weitere Reinigung unter Anwendung des oben genannten Spülprotokolls. Die Wurzelkanalfüllung wurde mittels der Single-Cone-Technik und dem entsprechendem Sealer durchgeführt. Nach weiteren 7 Tagen im Brutschrank wurden die Zähne mit 2 Schichten Nagellack isoliert, von apikal mit einem Diamantschleifblatt angeschliffen und 3 Minuten in Methylenblau (5%) zentrifugiert (30g). Die Zähne jeder Testgruppe wurden in Kunstharz eingebettet und in 1mm-Abständen gesägt. Bei

25-facher Vergrößerung wurde unter dem Lichtmikroskop die jeweilige Farbstoffpenetration bestimmt.

### 1.3 Ergebnisse

Sowohl die verwendeten Sealer als auch die medikamentösen Einlagen zeigten signifikante Unterschiede bezüglich der Penetrationstiefen (Two-Way-ANOVA,  $p \leq 0,05$ ). Im Einzelnen ergaben sich folgende Mittelwerte in mm: AH/-: 4,80, AH/CaOH: 6,73, AH/CHX: 2,73, GF/-: 4,46, GF/CaOH: 3,06, GF/CHX: 0,86, EP/-: 4,86, EP/CaOH: 3,3, EP/CHX: 1,93. Während CHX-Einlagen das Abdichtungsvermögen aller Sealer generell verbesserten, traten bei CaOH-Einlagen unterschiedliche Effekte auf: eine leichte Verbesserung bei Epiphany und GuttaFlow sowie eine Verschlechterung bei AH Plus.

### 1.4 Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden Studie konnte gezeigt werden, dass auch medikamentöse Einlagen in der Darreichungsform als Guttaperchastift einen signifikanten Einfluss auf das Abdichtungsvermögen einer Wurzelkanalfüllung haben können. CHX hatte generell einen positiven Einfluss. Nur die Einlage mit  $\text{Ca(OH)}_2$ -haltigen Stiften vor der Füllung mit AH Plus ist kritisch zu sehen.

# 1 Summary

## 1.1 Objectives

The objective of a successful root treatment is to establish a permanent, bacteria- and fluid-proof obturation of the root-canal system. During a root-canal treatment the usage of intracanal medicaments can be necessary. Their remnants bear a potential risk to deteriorate the sealing characteristics of the root-canal filling. Thus, the present study examined the influence of different medical guttapercha-points on the sealing ability of GuttaFlow (GF) and Epiphany (EP) in comparison to the established sealer AH Plus (AH).

## 1.2 Materials and Methods

90 single-rooted teeth were divided into 3 groups (n=30) according the above mentioned sealers, which were further divided into 3 subgroups (n=10) each, assigned to different medical dressings (Chlorhexidine-diacetate: CHX, Calcium hydroxide: CaOH, no dressing: (-)). Root canals were prepared by crown-down technique to a size 45, taper .04. Subsequent cleaning was done with an activated solution of sodium hypochlorite (5%), citric acid solution (40%) and a final rinse with ethanol (70%). The teeth were then prepared with the specific medical dressing, sealed off with a foam pellet and Cavit and stored in an incubator (37°C/100% humidity) for 7 days. Afterwards a final irrigation cycle of same routine was performed, followed by the root-canal filling with the corresponding sealer, using a single-cone-technique. After an incubation of 7 more days all teeth were sealed off with two layers of nail lacquer. The apical tip of the root was cut off with a diamond blade. All teeth were centrifuged (30g) for 3 minutes in methylene blue (5%). Teeth of all test groups were fixated in PU resin and cut into 1mm layers. Dye penetration was determined using optical microscope at 25x magnification.

### 1.3 Results

Both factors “sealers” and “intra canal medicament” showed a significant influence on penetration depths (Two-Way-ANOVA,  $\leq 0,05$ ). In detail following average depths (mm) were observed: H/-: 4.80, AH/CaOH: 6.73, AH/CHX: 2.73, GF/-: 4.46, GF/CaOH: 3.06, GF/CHX: .86, EP/-: 4.86, EP/CaOH: 3.3, EP/CHX: 1.93. While CHX improved sealing ability of all sealers, CaOH resulted in different effects: A slight improvement according EP and GF, and a performance decline while applying AH.

### 1.4 Conclusions

The present study showed that medicinal dressings also have a significant influence on the obturation properties of root-canal fillings, when they are applied in form of an active gutta-percha. CHX was always observed having a positive effect. Only the dressing of a  $\text{Ca(OH)}_2$  point prior to an AH Plus filling has to be considered as critical.

## 2 Einleitung

Die Wurzelkanalbehandlung zum Erhalt eines Zahnes hat seit einigen Jahren an Bedeutung gewonnen. Die wissenschaftliche Disziplin hierzu, die Endodontologie, befasst sich mit Form, Funktion und Gesundheit der Pulpa und des periradikulären Gewebes. Sie widmet sich ferner den Verletzungen und Erkrankungen beider Gewebe, deren Prävention und Behandlung (Richtlinien der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie). Hierzu wurde bereits im Jahre 1910 von Professor Walkhoff ein Leitsatz geprägt, welcher heutzutage nicht nur noch seine Gültigkeit besitzt, sondern in den Grundzügen auch den Ablauf einer modernen Wurzelkanalbehandlung prägt: „Die Grundprinzipien einer Wurzelkanalbehandlung bestehen aus Asepsis, chemischer und mechanischer Reinigung und der Obturation des Wurzelkanals.“ In ein durch Bakterien infiziertes Wurzelkanalsystem wird in den meisten Fällen eine medikamentöse Einlage in Pastenform eingebracht, um so eine Bakterienreduktion zu erreichen. Diese lagert sich an den Kanalwänden an und muss vor dem Legen der Wurzelkanalfüllung möglichst rückstandslos entfernt werden, damit eine bakterien-dichte Obturation der Wurzelkanäle gewährleistet werden kann. Medikamentöse Einlagen in Stiffform hingegen lassen sich schnell und rückstandsfrei entfernen. Abschließend muss das Wurzelkanalsystem bakterien-dicht gefüllt werden, um einer Rekontamination durch Bakterien vorzubeugen. So genannte Sealer füllen hierbei letzte Hohlräume zwischen Wurzelkanalwand und Wurzelkanalfüllung auf. In dieser Studie wurden GuttaFlow, ein Sealer auf Silikonbasis, und Epiphany, ein Sealer auf Methacrylatbasis, mit dem etablierten Sealer AH Plus, auf Epoxidharz basierend, hinsichtlich ihrer apikalen Dichtigkeit nach unterschiedlichen medikamentösen Einlagen untersucht.

## 3 Literaturübersicht

### 3.1 Wurzelkanalspülungen

Voraussetzung für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung ist eine vollständige Aufbereitung des Wurzelkanalsystems mit Erfassen möglichst vieler Seitenkanäle und Isthmen. Dabei kann instrumentell jedoch nur der eigentliche Wurzelkanal aufbereitet werden, wohingegen die instrumentell nicht aufbereitbaren Anteile rein chemisch gereinigt werden müssen. Durch das manuelle Aufbereiten des Wurzelkanals verbleiben nicht nur Dentinspäne im Kanal, es entsteht auch eine Schmierschicht ( "smearlayer") bestehend aus zermahlenem Dentin, Bakterien und Wasser, die entfernt werden sollte [36]. Diese Schmierschicht verschließt zum einen die Dentinkanälchen, so dass in den Kanälchen befindliche Bakterien nicht z.B. von Spülflüssigkeiten erreicht werden, zum anderen verhindert die Schmierschicht einen homogenen Verbund des Sealers zur Kanalwand. So wird ein bakteriendichter Verschluss, welcher das Ziel einer jeden Wurzelbehandlung sein sollte, erschwert [7, 43]. Dieser Gesichtspunkt und die Tatsache, dass ein Wurzelkanal nie an allen Stellen gleichmäßig instrumentell aufbereitet werden kann, erfordert den Einsatz von Wurzelkanalspülungen, welche in der Lage sind, die Schmierschicht an den Kanalwänden aufzulösen. Weitere Ziele der Wurzelkanalspülung sind die Reduktion von Keimen und bakteriellen Toxinen im Wurzelkanalsystem, die Auflösung und Entfernung von Resten des Pulpagewebes sowie die Unterstützung der mechanischen Aufbereitung und des Abtransports von Dentinspänen [5].

Anforderungen an Spüllösungen sind eine gute Desinfektionswirkung, gewebeauflösende Wirkung, biologische Verträglichkeit und die einfache Applizierbarkeit. Ein positiver Nebeneffekt ist die Gleitwirkung für Wurzelkanalinstrumente, wodurch deren Frakturgefahr verringert wird. Die antimikrobielle Wirkung von Spüllösungen steigt in Abhängigkeit von der Spülmenge, der Wirkdauer, der Konzentration und der Temperatur. In der Literatur wird eine

Mindestkontaktzeit durch Natriumhypochlorit mit dem infizierten Wurzelkanal von 30 Minuten empfohlen [83]. Ein zu enger Kanal oder Endodontiekanülen mit zu kleinem Durchmesser können limitierend beim Spülen von Wurzelkanälen wirken. Eine Kanalgröße von ISO 30 und größer sollte für eine korrekt durchgeführte Wurzelkanalspülung erreicht worden sein, um nicht durch ein Verklemmen der Spülkanüle an der Kanalwand oder zu hohen Druck beim Spülen das periapikale Gewebe zu irritieren, was zu Schmerzen beim Patienten führen kann [35]. Die allein durch den Spüleffekt erzielte Reinigungswirkung ist nachweislich dann am höchsten, wenn die Spülkanüle bis auf 1mm kürzer als Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingebracht werden kann.

Eine weitere Verbesserung der Reinigungswirkung kann durch die Aktivierung der Spüllösungen mit Ultraschall oder auch durch eine vorherige Erwärmung der Spüllösung erzielt werden [12]. Die Reduzierung der Keimzahl ist gegenüber einer rein manuellen Spültechnik deutlich verbessert; dabei variiert die empfohlene Anwendungsdauer der Aktivierung zwischen 10 Sekunden und 3 Minuten. Einteilen kann man Spüllösungen z.B. in Spüllösungen zur Desinfektion und in Spüllösungen zur Entfernung der Schmier-schicht.

### 3.1.1 Spüllösungen zur Desinfektion

#### *Natriumhypochlorit (NaOCl)*

Natriumhypochlorit gilt seit langem als die Standardspüllösung und wird in Konzentrationen zwischen 0,5% und 5,25% verwendet. Es wurde bereits 1915 von Dakin als „Dakin`s Solution“ [13] in der Medizin zur Desinfektion eingeführt, bevor NaOCl 1919 als Spüllösung für den endodontischen Gebrauch empfohlen wurde. Natriumhypochlorit wirkt proteolytisch und entfaltet seine auflösende Wirkung bei Mikroorganismen, aber auch bei organischer Dentinmatrix. Es besitzt eine sehr gute antimikrobielle Wirkung auf die Mehrzahl der endodontisch relevanten Keime bei einer gleichzeitig relativ geringen Toxizität [6,7]. Außerdem werden die Fähigkeiten, nekrotisches, aber auch vitales Gewebe aufzulösen [3] und die Fähigkeit, Lipopolysaccharide zu

neutralisieren [10], beschrieben. Wie oben erwähnt, steigt die gewebssauflösende Wirkung in Abhängigkeit von der Applikationsmenge, der Applikationsdauer, der Konzentration und der Temperatur der NaOCl-Lösung [32,12]. Allerdings zerfällt Natriumhypochlorit bei steigender Temperatur recht schnell, weswegen eine Erwärmung erst unmittelbar vor der Applikation erfolgen sollte. Am Besten haben sich Temperaturen von 40-60° C bewährt [12]. Wissenschaftliche Studien ergaben, dass Natriumhypochlorit alleine nicht in der Lage ist, die Schmierschicht aufzulösen [69].

#### *Chlorhexidindigluconat (CHX)*

Bei Konzentrationen zwischen 0,2% und 2% zeigt CHX eine gute antimikrobielle Wirkung bei gleichzeitig guter Gewebsverträglichkeit [89]. Da CHX keinerlei gewebssauflösende Wirkung besitzt und auch keine Endotoxine (LPS) zu eliminieren vermag, wird es eher als Zusatzspülung angesehen, vor allem als Zusatz zu NaOCl. CHX besitzt eine besonders gute Wirkung gegen grampositive Keime wie Enterokokken und Pilze [21], die vermehrt in Revisionsfällen vorhanden sind und die gegen NaOCl und/oder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  resistent sein können. Die antimikrobielle Wirkung von CHX wird im Vergleich zu Natriumhypochlorit als ebenbürtig beschrieben [71]. Ein großer Vorteil von CHX ist die ausgeprägte Substantivität. So zeigen mit 2%igem CHX behandelte Dentinproben noch 12 Wochen später eine antibakterielle Wirkung [48].

#### *Wasserstoffperoxid ( $\text{H}_2\text{O}_2$ )*

$\text{H}_2\text{O}_2$  wird in 2-5%iger Lösung eingesetzt, hat aber nur eine geringe antimikrobielle Wirkung [84] und sollte als Wechselspülung mit NaOCl, wie von Grossmann über viele Jahre empfohlen [29], nicht angewendet werden, da  $\text{H}_2\text{O}_2$  sowohl die antimikrobielle als auch die gewebssauflösende Wirkung von NaOCl durch gegenseitige Neutralisation stark reduziert. So konnte in Studien nachgewiesen werden, dass es keine signifikanten Unterschiede zwischen Kanälen gibt, die mit einer NaOCl/ $\text{H}_2\text{O}_2$ -Wechselspülung aufbereitet wurden, und Kanälen, welche nur mit NaOCl gespült wurden [8]. Bei Gewebkontakt kann das darin vorkommende Enzym Katalase  $\text{H}_2\text{O}_2$  in molekularen Sauerstoff überführen, was zu einer Schaumbildung führt. Diese

Schaumbildung kann aus dem Kanal Gewebsreste und Dentinspäne herausbefördern [41].

### 3.1.2 Spüllösungen zur Entfernung der Schmierschicht

#### *Ethylen-Diamin-Tetra-Acetat (EDTA)*

Die Natriumsalze von EDTA wirken in Konzentrationen zwischen 10 % und 17 % in wässriger Lösung als potente Chelatbildner, d. h. sie sind in der Lage,  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen aufzufangen. EDTA beseitigt die Schmierschicht, löst Kalzium aus dem Wurzeldentin heraus und eröffnet somit die Dentintubuli für eine nachfolgende antimikrobiell wirksame Spüllösung. Bei einer Wechselspülung mit NaOCl ist zu beachten, dass EDTA mit dem freien Chlor aus der NaOCl-Lösung reagiert und dieses somit inaktiviert, wobei dieser Effekt umgekehrt nicht beobachtet werden kann.

Damit die Konzentration des sich in der NaOCl-Lösung befindlichen Chlorids während der Behandlung nicht absinkt, sollte nach jeder EDTA-Spülung mit NaOCl nachgespült werden [40]. EDTA hat keine Tiefenwirkung im Dentin und nur eine schwache antibakterielle Wirkung. Es weist im Gegensatz zu NaOCl einen sehr geringen gewebeauflösenden Effekt auf und hat lediglich einen schwachen Effekt auf Lipopolysaccharide an der Wurzeloberfläche. Allerdings konnte gezeigt werden, dass alternierendes Spülen mit EDTA und NaOCl die Anzahl der Mikroorganismen im Wurzelkanal besser reduziert als NaOCl allein. Einen antimikrobiellen Effekt auf alpha-hämolyisierende Streptokokken und Staphylococcus aureus konnte Patterson [67] in seiner Studie nachweisen. Die Zytotoxizität von EDTA ist sehr gering.

#### *Zitronensäure*

Ähnlich wie EDTA ist auch die Zitronensäure in der Lage, die Schmierschicht im Wurzelkanal aufzulösen [5,48,85]. Im Gegensatz zu EDTA besitzt Zitronensäure aber zusätzlich einen deutlichen antibakteriellen Effekt [94]. Wie der Name schon sagt, wird hier die Wirkung durch einen sauren pH-Wert von 0,8 bis 1,5 entfaltet; bei höheren pH-Werten lässt die Wirkung der Auflösung

der Schmierschicht nach [34]. Konzentrationen zwischen 1% und 50% werden beschrieben [61], wobei niedrigere Konzentrationen von 5-10% die Schmierschicht effektiver entfernen als solche mit einer höheren Konzentration ab 25% [34]. Da die Zitronensäure im körpereigenen Zitronensäurezyklus abgebaut wird, gilt sie als gewebeverträglich [82]. Dennoch sollte die Zitronensäure keine allzu lange Verweildauer im Wurzelkanal haben, da sie sonst ausgeprägte Erosionen verursachen kann [14]. Untersuchungen haben ergeben, dass eine Kombination von NaOCl und Zitronensäurespülungen sehr effektiv sind, da hierbei das desinfizierende Chlorgas entsteht. Eine sogenannte kombinierte Wechselfspülung mit 2,5-5%igem NaOCl und 10-50%iger Zitronensäure wird daher empfohlen [59].

#### Abschlussspülung

##### *Alkohol*

Nachdem der Wurzelkanal vollständig aufbereitet ist, empfiehlt sich eine Abschlussspülung mit hochprozentigem Alkohol. Konzentrationen von 70-96% werden dabei eingesetzt [68]. Dadurch wird die Verdunstungstemperatur herabgesetzt. Eine schnellere Kanaltrocknung ist somit gewährleistet [11].

### **3.2 Sealer**

Der letzte Schritt für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung ist die dauerhafte, dreidimensionale und bakteriendichte Obturation des ausgeformten, gereinigten und getrockneten Wurzelkanals, um das periapikale Parodont und die umgebenden anatomischen Strukturen zu schützen und dem periapikalen Gewebe bei einer Entzündung die Möglichkeit der Regeneration zu geben [78]. Dies sollte erfolgen, wenn der Wurzelkanal bis zum apikalen Delta und in ausreichender Größe aufbereitet und auch trockenbar ist. Mit einer dichten und suffizienten Obturation soll gewährleistet werden, dass im Kanal verbliebene Bakterien eingeschlossen werden und gleichzeitig auch kein Nährsubstrat und Flüssigkeiten in das Wurzelsystem zu einer erneuten Ver-

mehrung der Bakterien eindringen können [90]. Weiterhin konnte bewiesen werden, dass eine dichte Wurzelkanalfüllung zu einer Reduktion der Bakterien im Kanal führt, und somit der Zahn eine bessere Prognose hat [15].

Anforderungen an ein Wurzelkanalfüllmaterialien wurden in verschiedenen Quellen [47, 81,50] wie folgt aufgeführt:

- biokompatibel
- dimensionsstabil
- undurchlässig für Flüssigkeiten
- bakterielles Wachstum nicht fördernd
- unlöslich in Gewebsflüssigkeiten
- dichter Verschluss des gesamten Kanalsystems
- gute Adhäsion am Dentin
- nicht resorbierbar
- gute Röntgenopazität
- leichte Applizierbarkeit
- leichte Entfernbarekeit im Falle einer Revision
- ausreichende Verarbeitungszeit
- keine Verfärbung der Zähne

Da bislang kein ideales Wurzelfüllmaterial existiert, welches alle aufgeführten Eigenschaften in sich vereint, hat sich eine Kombination aus einer Wurzelkanalfüllpaste – einem sogenannten Sealer – und einem Wurzelkanalstift, welcher üblicherweise aus dem Naturprodukt Guttapercha besteht, bewährt. Der Sealer in Pastenform kann auch in Ausbuchtungen des Wurzelkanals vordringen und ergänzt somit in seiner ausgehärteten Form den Stift zu einer bakterien -und flüssigkeitsdichten Einheit [33]. Im Folgenden sollen die in dieser Testreihe verwendeten Sealer, auf verschiedenen Inhaltsstoffen basierend, erläutert werden:

### 3.2.1 AH Plus

AH Plus (DentsplyDeTrey, Konstanz, Deutschland) ist ein zwei-Komponenten Wurzelkanalfüllmaterial auf Epoxid-Amin-Polymer-Basis. Im Gegensatz zu seinem Vorgänger AH 26 entsteht während des Abbindens von AH Plus kein gewebstoxisches Formaldehyd. Nach Vermischen der beiden Pasten kommt es zunächst zu einer kleinen Schrumpfung. Erst durch Wasseraufnahme beginnt eine Expansionsreaktion des Sealers, wodurch eine sehr hohe Dichte an der Wurzelkanalwand erreicht und einer Bakterien-durchlässigkeit entgegengewirkt wird [66]. Microleakage-Untersuchungen mit sehr guten Ergebnissen hinsichtlich der Dichtigkeit und Langzeitstabilität im Vergleich zu anderen Sealern bestätigen dies [44,77]. Die 1. Paste ist epoxidharzbasiert und beinhaltet weiterhin Calciumwolframat, Zirkoniumoxid, Aerosil und Eisenoxid. Die zweite Paste, auf Amin basierend, beinhaltet zusätzlich noch Silikonöl. Calciumwolframat und Zirkoniumoxid mit einer Korngröße von  $8\mu\text{m}$  und  $1,5\mu\text{m}$  gewährleisten auch in geringeren Schichtdicken eine gute Röntgenopazität. In feuchtem Milieu bindet AH Plus nach 24-30 Stunden ab, womit bei einer eventuell notwendigen Revision eine gute Entfernbarkeit gegeben ist [53]. Zahlreiche klinische Studien belegen für AH Plus mit  $6,6\pm 2,0$  MPa eine gute Verbundfestigkeit mit dem Dentin, ferner eine hohe apikale Dichtigkeit und Volumenkonstanz [28,30,56]. Obwohl es initial nicht völlig biokompatibel ist [38,39], gilt AH Plus in der Literatur aufgrund seiner vielen positiven Eigenschaften als der Goldstandard unter den Sealern [55,93].

### 3.2.2 GuttaFlow

GuttaFlow (Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland) wird in einer Spezialkapsel für den Einmalgebrauch geliefert. Diese beinhaltet ein zwei-Pasten-System und Guttaperchakügelchen mit einer Korngröße von  $30\mu\text{m}$ . Dabei wird quasi ein kaltes und dennoch fließfähiges Guttaperchapräparat angewendet, welches eine Expansion um 0,2% erreicht und deshalb eine gute Abdichtung aufweist [52,74]. Weiterhin besitzt GuttaFlow thixotrope Eigenschaften, was bedeutet, dass unter Druck die Viskosität abnimmt und der

Sealer so auch in kleine Seitenkanäle fließen kann [27]. Der Sealer auf Silikonbasis enthält zusätzlich noch Nanosilber, welches antibakterielle Eigenschaften aufweist, und somit einen Reinfektionsschutz gewährleisten soll [74]. Auch bei dickeren Sealerschichten sollen gleichbleibend gute Dichtigkeiten erreicht werden [74,75]. *Donnelly et al.* berichteten von einem sehr guten Löslichkeitsverhalten von annähernd 0%. Damit bleiben die Abdichtungseigenschaften langfristig erhalten [17].

### 3.2.3 Epiphany

Epiphany (Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, USA) ist ein dualhärtender Sealer auf Methacrylatbasis, welcher Calciumhydroxid beinhaltet. Komplettiert wird dieses System durch die aus Polycaprolacton bestehenden Resilon-Stifte. Hierbei wird erstmals der Guttapercha-Stift komplett durch Polymer Substitute ersetzt. Dadurch sollen ein Monoblock und eine innige Verbindung des Sealer-Stift-Systems entstehen. Ein zusätzlich angebotener und speziell dafür entwickelter Primer soll den Verbund des Sealers zur Kanalwand verbessern [80]. Bakterienpenetrationstests versprechen ein gutes Maß an Dichtigkeit [80]. Durch den basischen pH-Wert des Sealers von 11,5 sollen Bakterien neutralisiert werden. Allerdings gibt es dazu widersprüchliche Studien: *Neelakantan et al.* konnten Epiphany einen minimalen antibakteriellen Effekt zumindest während der ersten 24 Stunden nachweisen [63]. Laut einer anderen Studie soll Epiphany aber das bakterielle Wachstum sogar fördern [81]. Nach einer Abbindezeit von 45-60 Minuten wird auch der pH-Wert neutral. Bei Spülungen mit NaOCl und nach CaOH<sub>2</sub>-haltigen medikamentösen Einlagen wird vor dem Einbringen von Epiphany zu einer Spülung mit EDTA geraten, da sonst das Abbinden des Kunststoffes Epiphany inhibiert wird. *Kocak et al.* fanden in einer Studie von 2008 heraus, dass keine signifikanten Unterschiede bei dem Verwenden von Resilon-Stiften und Guttapercha-Stiften bestehen [51]. Laut Herstellerangaben setzt sich der dualhärtende Sealer aus bis-GMA, UDMA und Füllern wie Calciummonohydroxid, Bariumsulfat und Bariumglas zusammen. Er ist somit röntgenopak, biokompatibel und auch leicht wieder zu entfernen. Der Resilon-Stift besteht aus einem thermoplastischen, synthetischen Polyetherpolymer (Polycaprolacton)

und enthält weiterhin bioaktives Glas, Wismutoxychlorid und Bariumsulfat. Damit ist es röntgenopak und lässt sich laut Aussage des Herstellers mit Chloroform leicht entfernen.

### 3.3 Die medikamentöse Wurzelkanaleinlage

Während einer Wurzelkanalbehandlung können Situationen auftreten, die einen sofortigen und definitiven Verschluss des zu behandelnden Zahnes nicht zulassen. Dies kann einerseits aus Zeitgründen notwendig sein, zum anderen wegen einer nicht zu erreichenden Schmerzfreiheit, sowie bei einer infizierten Nekrose, beispielsweise bei starkem Bakterienbefall. In solchen Fällen ist die Indikation zu einer medikamentösen Wurzelkanaleinlage gegeben. Klinische Erfolgsraten waren zum Teil nach medikamentöser Einlage signifikant höher [46]. Zudem waren im Tierversuch die histologischen Ergebnisse nach einer medikamentösen Einlage bedeutend besser [45]. Letztere soll eine Schmerzlinderung bis hin zur Schmerzfreiheit bewirken und den Zahn bis zu der nächsten Sitzung in einen für den Patienten akzeptablen Zustand überführen.

Daraus ergeben sich folgende Anforderungen an eine medikamentöse Einlage:

- desinfizierende Wirkung
- schmerzlindernde Wirkung
- Bakteriendichter temporärer Verschluss des Wurzelkanalsystems zur Verhütung einer mikrobiellen Rekontamination

Die in dieser Studie verwendeten medikamentösen Einlagen Ledermix, Calciumhydroxid und CHX sollen nun näher erklärt werden:

#### 3.3.1 Ledermix

Ledermix wird von der Firma Riemser (Riemser Arzneimittel AG, Greifswald, Deutschland) seit 1962 (damals Firma Lederle) angeboten und ist ein Kombinationspräparat. Die wirksamen Bestandteile sind das stark entzündungs-

hemmende Cortisonderivat Triamcinolon-Acetonid in Kombination mit dem Breitbandantibiotikum Demethylchlortetracyclin. Durch die entzündungshemmende Wirkung des 1%igen Cortisonanteils tritt schnell eine Schmerzlinderung bei akuten Pulpitiden ein. Das Antibiotikum, ein Tetracyclinderivat in 3%iger Konzentration, wirkt bakteriostatisch gegen eine Vielzahl pathogener Keime [1].

Die Wirkungsweise von Ledermix wird kontrovers diskutiert, da die akute Entzündung zwar unterdrückt wird, es aber zu keiner Ausheilung kommt. Vielmehr wird eine schleichende Devitalisierung beobachtet, welche in vielen Fällen zu einer chronischen apikalen Parodontitis führt. Allerdings wird in vielen Studien die gegenüber anderen medikamentöser Einlagen überlegene schmerzlindernde Wirkung aufgeführt [19,20]. Aus diesem Grund sollte Ledermix hauptsächlich in der akuten Schmerztherapie wie zum Beispiel im Notfalldienst eingesetzt werden und keine allzu lange Verweildauer im Wurzelkanal haben. Dies belegt die von *Abbott* 1990 veröffentlichte Studie mit der Aussage, dass bereits nach 24 Stunden die Konzentration des Antibiotikums unter die zu einer dauerhaften Elimination pathogener Keime im Wurzelkanal benötigte Konzentration sinkt [1].

### 3.3.2 Calciumhydroxid $\text{Ca(OH)}_2$

Calciumhydroxid ist ein weißes, geruchloses Pulver, welches meist in Form einer wässrigen Suspension angeboten wird. In Wasser dissoziiertes  $\text{Ca(OH)}_2$  setzt Hydroxylionen frei, welche einen bakteriziden Effekt besitzen. Diese Eigenschaft, sowie die Tatsache, dass es Lipopolysaccharide (LPS) inaktivieren kann, welche als Wandbestandteile von gramnegativen Bakterien auch nach dem Absterben von Mikroorganismen inflammatorische Prozesse unterhalten können, machen Calciumhydroxid zu einem viel verwendeten Material in der Endodontie [65]. Die freigesetzten Hydroxylionen reagieren mit mikrobiellen Lipiden, Proteinen und Nukleinsäuren und verursachen eine erhöhte Membranpermeabilität. So resultiert schon nach kurzer Zeit ein Erliegen des bakteriellen Stoffwechsels [25]. Es konnte gezeigt werden, dass  $\text{Ca(OH)}_2$  für eine volle Wirkungsentfaltung mehrere Tage im Wur-

zelkanal verbleiben sollte. Als negativ für eine erfolgreiche Wurzelkanalfüllung hat sich die Tatsache herausgestellt, dass beim Entfernen von Calciumhydroxideinlagen häufig Reste an der Wurzelkanalwand verbleiben, welche die Eingänge der Dentintubuli verschließen und sich erst durch ausreichendes Spülen entfernen lassen [72]. Aus diesem Grund wird Calciumhydroxid auch in Form eines Guttaperchastiftes mit entsprechenden „Füllkörpern“ angeboten.

### *Calciumhydroxidhaltige Guttaperchaspitzen ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -GPS)*

Wie oben erwähnt, ist die Entfernung einer  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -Suspension schwierig. Auch das Einbringen der medikamentösen Einlage ist mit einem gewissen Zeitaufwand verbunden. Aus diesem Grund brachte die Firma Roeko 1996 Guttapercha-Spitzen (GPS) auf den Markt, die anstelle von Zinkoxid mit Calciumhydroxid gefüllt sind ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -GPS). Laut Herstellerangaben bestehen diese aus: 50-51%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 40-45% Guttapercha, 4-10%  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaSO}_4$ , Wachsen und Ölen (in Gewichtsprozent). In vitro-Versuche in einer wässrigen Suspension, aus 1%igem NaCl und Aquadest bestehend, zeigten einen pH-Anstieg von pH 7 auf pH 10 innerhalb von 30 Sekunden bis zu 2 Stunden [16].

Unter In-vivo-Bedingungen ging der Hydroxylionen-Anteil von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ -GPS-Einlagen, welcher den Wirkstoffanteil von Calciumhydroxidstiften darstellt, derartig zurück, dass nach einer Woche ein nahezu neutraler pH (7,1) resultierte. Bei den im Jahre 2000 eingeführte „Calciumhydroxid Plus Spitzen“ wurde der Calciumhydroxid-Anteil auf 58 Gewichtsprozent erhöht und Salze beigemischt, welche durch Herauslösen den Zugang von Flüssigkeiten zu tieferen Anteilen der Spitzen eröffnen sollen [37]. Die antibakteriellen Eigenschaften wurden jedoch hierdurch nicht entscheidend verbessert.

### 3.3.3 Chlorhexidindigluconat (CHX)

In den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts von der Firma Imperial Chemical Industries entwickelt, wurde es 1954 als Wundantiseptikum auf den Markt gebracht. CHX gehört zu den dikationischen Bisbiguanidinen und besitzt eine gute antiseptische Wirkung sowohl gegenüber gram-positiven, als auch gram-negativen Bakterien [88]. Auch gegen Pilze, Hefen und Viren wurde eine Wirkung beschrieben [23]. Seine Wirksamkeit entfaltet es durch feste Anhaftung an anionische Bestandteile der bakteriellen Zellmembran. Darüber hinaus verursacht CHX in hohen Konzentrationen durch Präzipitation des bakteriellen Zytoplasmas den Zelltod. In niedrigen Konzentrationen führt es zu einer erhöhten Permeabilität, die im Austreten intrazellulärer Stoffe resultiert und einen bakteriostatischen Effekt erreicht. Den Weg in die Endodontie fand CHX über die Parodontologie und die Zahnerhaltung als kariespräventive Substanz aufgrund der oben erwähnten Eigenschaften. In der Endodontie wurde CHX zunächst als Spüllösung eingesetzt, welche auch heute wegen ihres keimreduzierenden Potentials geschätzt wird.

Vergleicht man CHX mit Calciumhydroxid, so werden sowohl Vorteile, als auch Nachteile beschrieben. Positiv zu bewerten ist sicherlich die sehr geringe Toxizität des CHX im Vergleich zu Calciumhydroxid und die längere Wirkdauer im Kanal [53]; hier wird von einem Depoteffekt gesprochen. Weiterhin ist CHX nahezu geruchlos und auch eine Korrosion der Wurzelkanalinstrumente kann nicht beobachtet werden. Als Nachteil ist sicherlich die fehlende gewebsauflösende Wirkung zu sehen. Deshalb gab es die Überlegung, diese negative Eigenschaft durch Kombination mit anderen Präparaten zu umgehen, um ein noch größeres Wirkspektrum zu erzielen. *Kuruvilla* und *Kamath* stellten in ihrer Studie genau dies zu Diskussion, indem sie 0,2-prozentiges CHX und 2,5-prozentiges Natriumhypochlorit jeweils einzeln, aber auch in Kombination auf deren antimikrobielle Wirkung in infizierten Wurzelkanälen untersuchten. Eine 60%ige Reduktion der endodontischen Mischflora wurde in der Kombinationsgruppe erzielt. Dieses Ergebnis war signifikant effektiver als in der Natriumhypochloritgruppe [54].

### *Chlorhexidinhaltige Guttaperchaspitzen (CHX-GPS)*

Seit 1999 bietet die Firma Roeko chlorhexidinhaltige Guttaperchaspitzen an. Seitdem können diese Stifte unter dem Namen *ActivPoint* als Alternative zu anderen medikamentösen Einlagen bei mikrobiell infizierten Wurzelkanälen verwendet werden. Gleich dem Verwendungszweck der calciumhydroxidhaltigen Guttaperchaspitzen soll auch beim Einsatz der GPS-Points ein Verblocken der Seitenkanälchen durch das Weglassen der medikamentösen Paste vermieden werden und somit auch die Notwendigkeit der notwendigen Säuberung der Kanäle von der medikamentösen Paste wegfallen. Wirksamer Bestandteil der CHX-GPS ist das CHX-Diacetat. Die GPS-Spitzen bestehen weiterhin aus Zinkoxid, Guttapercha, Bariumsulfat und Pigmentzusätzen [72]. Aktiviert wird das CHX-Acetat durch Benetzung des *ActivPoints* mit Flüssigkeit.

Um die Effizienz der CHX-GPS zu prüfen, wurden von *Lin et al.* mit *E. faecalis* infizierte Rinderzähne für eine Woche mit CHX-GPS behandelt. Die Vergleichsgruppe wurde mit 2-prozentiger CHX-Lösung versehen. Im Ergebnis konnte bei den CHX-GPS eine Elimination der Bakterien bis in einer Schichttiefe von 500µm nachgewiesen werden, während die Bakterien in der Vergleichsgruppe nur bis zu einer Tiefe von 200µm entfernt werden konnten [58]. Im Arbeitsprotokoll dieser Studie wurde erwähnt, dass die Kontrollgruppe nur 7min mit der CHX- Lösung gespült wurden. Ob diese kurze Einwirkzeit für das schlechtere Ergebnis verantwortlich ist, wurde nicht genauer diskutiert. Ergebnis dieser In-vitro-Studie war allerdings, dass die Wirksamkeit der CHX-GPS nachgewiesen werden konnte. 2001 wurde von *Oberschachtsiek et al.* eine klinische Vergleichsstudie bezüglich der Wirksamkeit von Calxyl und *ActivPoints* veröffentlicht. Dabei lieferten beide Einlagen in etwa gleich gute röntgenologische Ergebnisse. Die besseren klinischen Ergebnisse konnten nach Verwendung von *ActivPoints* beobachtet werden [64].

### 3.4 Obturationstechniken

Für einen erfolgreichen Abschluss der Wurzelkanalfüllung bedarf es einer flüssigkeitsdichten und vor allem bakteriendichten Wurzelkanalfüllung. Dabei ist darauf zu achten, dass alle Unebenheiten und auch kleinere Seitenkanäle des Wurzelkanalsystems von dem Füllmaterial erfasst und ausgefüllt werden [58]. Aus diesem Grunde wird vorzugsweise eine Kombination aus einem Sealer, welcher Unebenheiten und Seitenkanäle auskleidet, und einem Stift, welcher den aufbereiteten Kanal vor einer Rekontamination durch Bakterien schützt, verwendet. Als Wurzelstift wird üblicherweise ein Guttaperchastift verwendet, welcher aus dem Milchsaft der Bäume *Palaquium gutta* und *Palaquium oblongifolia* gewonnen wird und entsprechend der Kanalanatomie in verschiedenen Größen angeboten wird.

Es existieren verschiedene Wurzelkanalfülltechniken, von denen einige näher erläutert werden sollen:

#### 3.4.1 Zentralstifttechnik

Die Zentralstifttechnik ist eine weit verbreitete und von der Handhabung her recht einfache und zeitsparende Technik. Dabei wird ein Guttaperchastift, der der letzten Aufbereitungsgröße des Wurzelkanals entspricht, in den Kanal eingepasst. Um die vorher erwähnten Unebenheiten des oftmals nicht kreisrunden Kanals auszufüllen und somit die Bakteriendichtigkeit gewährleisten zu können, wird dieser zusätzlich mit einem Sealer beschickt. Nach der von den jeweiligen Firmen vorgegebenen Aushärtungsphase der Sealer entsteht so ein dichter Verbund zwischen Wurzeldentin und Sealer bzw. Guttaperchastift. Als Nachteil dieser Wurzelkanalfüllmethode gilt die resultierende dickere Sealerschicht, welche in Studien vor allem wegen der Schrumpfung des Sealeranteils eine erhöhte Bakteriendurchlässigkeit aufwies [38]. Verantwortlich dafür ist die Tatsache, dass viele Wurzelkanäle keine dem Zentralstift entsprechenden kreisrunden Durchmesser aufweisen und so der Sealer die dadurch entstandenen Freiräume ausfüllen muss [92].

### 3.4.2 Laterale Kondensation

Eine Möglichkeit, weniger Sealer zwischen Wurzelkanalwand und Guttaperchastift zu erhalten, ist die der lateralen Kondensation. Diese ist immer noch die am häufigsten angewendete Wurzelfüllmethode weltweit und wird auch als Goldstandard unter den Wurzelkanalfüllmethoden angesehen [95]. Dabei sollen möglichst viele Guttapercha-Nebensterbe neben einem Hauptstift, dem Masterpoint, eine möglichst dünne Sealerschicht gewährleisten und somit eine höhere Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung erreichen. Nachdem der Masterpoint in den Kanal eingebracht wurde, wird dieser mit einem so genannten Spreader an die Wand kondensiert und so Platz für weitere kleinere Guttaperchastifte geschaffen. Dieses Prozedere kann so oft wiederholt werden bis im Wurzelkanal die Nebensterbe nicht mehr als 2 bis 3mm in den koronalen Kanalabschnitt eingebracht werden können. So wird ein Maximum an undurchlässiger, kondensierter Guttapercha und ein Minimum an Sealer erzielt, welcher nur noch die kleinsten Unebenheiten im Kanal ausfüllt. Auf diese Weise sollen auch gekrümmte Kanäle oder solche mit keinem kreisrunden Durchmesser dicht abgefüllt werden können. Das Kondensieren an der Kanalwand muss mit einem gewissen Maß an Vorsicht durchgeführt werden. Übermäßiger Druck kann das spätere Auftreten von Längsfrakturen fördern [3].

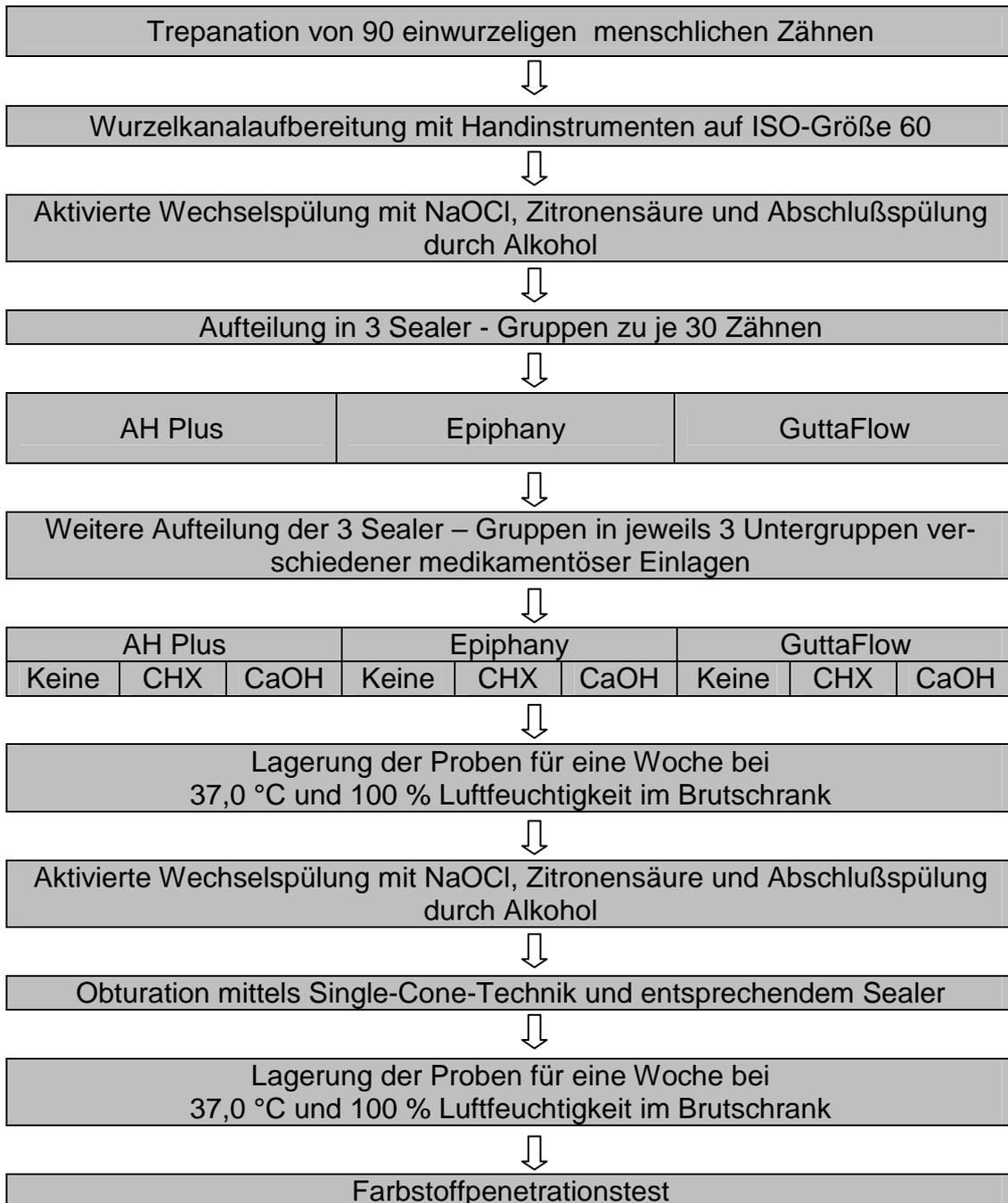
### 3.4.3 Vertikale Kondensation

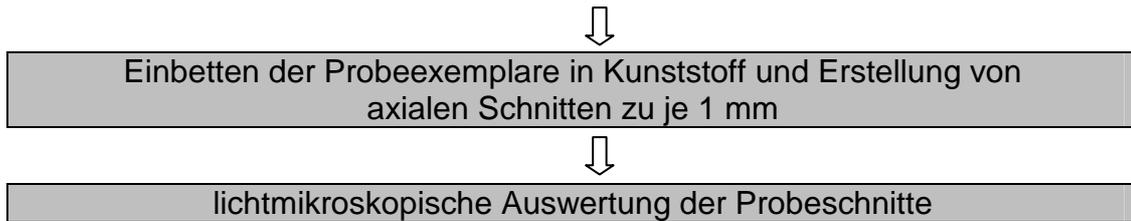
Während bei der lateralen Kondensation kalte Guttapercha verarbeitet wird, gibt es auch die Möglichkeit, mit erwärmter und somit plastisch verformbarer Guttapercha zu arbeiten. Der Vorteil dieser Variante liegt darin, dass die erwärmte Guttapercha fließfähig ist und somit in kleine Seitenkanäle und Dentintubuli vordringen und diese verschließen kann [26]. Nachdem die Aufbereitung des Wurzelkanals abgeschlossen ist, wird ein Guttapercha-Masterpoint auf Arbeitslänge in den Kanal eingebracht. Mit einem speziellen Heat Carrier wird der Masterpoint bis 2 oder 3mm kürzer als Arbeitslänge abgetrennt. Anschließend wird sukzessive die erwärmte Guttapercha in den Kanal eingebracht und wiederholt mit Pluggern entsprechender Größe vertikal kondensiert. So wird eine homogene und im Idealfall die Seitenkanäle einbeziehende

de Wurzelkanalfüllung erreicht. Wegen des erhöhten Aufwandes und des meist sehr guten Ergebnisses wird bei der vertikalen Kondensation auch von der „Königsdisziplin in der Endodontie“ gesprochen [22].

## 4 Material und Methode

### 4.1 Der Versuchsaufbau





## 4.2 Vorbereitung der Wurzelkanäle

Für die Experimente wurden in dieser Studie 90 einwurzelige endodontisch nicht vorbehandelte humane Zähne mit abgeschlossenem Wurzelwachstum ausgewählt. Diese wurden nach 14-tägiger Aufbewahrung in 0,5-prozentiger Chloramin-T Lösung randomisiert in 9 Gruppen zu jeweils 10 Zähnen aufgeteilt. Jeder Gruppe wurden eine medikamentöse Einlage und ein Sealer zugeteilt, was sich tabellarisch folgend darstellen lässt:

	Sealer	medikamentöse Einlage
Gruppe 1	AH Plus	CHX Stift
Gruppe 2	AH Plus	Calciumhydroxid Stift
Gruppe 3	AH Plus	ohne med. Einlage
Gruppe 4	GuttaFlow	CHX Stift
Gruppe 5	GuttaFlow	Calciumhydroxid Stift
Gruppe 6	GuttaFlow	ohne med. Einlage
Gruppe 7	Epiphany	CHX Stift
Gruppe 8	Epiphany	Calciumhydroxid Stift
Gruppe 9	Epiphany	ohne med. Einlage

Tab.1: Gruppeneinteilung

Die Zähne wurden mit einem zylinderförmigen Diamantschleifer trepaniert und die Wurzelkanäleingänge mit einem Handinstrument auf ihre Gängigkeit geprüft. Nach Bestimmung der Arbeitslänge erfolgte die Aufbereitung der

Wurzelkanäle mit dem Nickel-Titan-System FlexMaster (VDW Dental, München, Deutschland) auf Größe 40 taper .04. Die endgültige Aufbereitungsgröße von Größe 45 taper .04 wurde mit der entsprechenden Feile von ProFile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) erreicht.

Um die Wurzelkanäle zu desinfizieren und die durch die Aufbereitung entstandene Schmierschicht zu entfernen, wurde zwischen den einzelnen Aufbereitungsschritten eine kombinierte Wechselfspülung mit Natriumhypochlorit (5%) und Zitronensäure (40%) durchgeführt. Abschließend wurde das Trocknen der Kanäle durch eine Spülung mit 70-prozentigem Ethanol und durch Papierspitzen der Größe 40 taper .04 durchgeführt.

### **4.3 Medikamentöse Einlage**

Nach dem vollständigen Aufbereiten der Zähne wurde in diese entsprechend ihrer Gruppenzugehörigkeit eine medikamentöse Einlage in Form eines Stiftes eingebracht. Hierbei wurde jeweils ein Zentralstift der Größe 40 taper .02 verwendet. Die Trepanationsöffnung wurde mit einem Wattepellet und mit Cavit verschlossen. Anschließend wurde jede Gruppe in ein Behältnis gegeben und für eine Woche bei 37° und 100% Luftfeuchtigkeit im Thermoschrank des wissenschaftlichen Labors aufbewahrt. Somit wurde eine medikamentöse Einlage simuliert.

### **4.4 Wurzelkanalfüllung**

Nach der Lagerung im Thermoschrank für eine Woche wurden Cavit, Wattepellet und die medikamentöse Einlage in Stiftform aus den Wurzelkanälen entfernt. Sie wurden nochmals anhand des oben beschriebenen Spülprotokolls gespült und mittels Papierspitzen getrocknet. Anschließend wurden die Wurzelkanäle ihrer Sealergruppe entsprechend mit den Sealern AH Plus (Abb.1, S.24), GuttaFlow (Abb.2,3,4, S.25, S.26) und Epiphany (Abb.5, S.26) gefüllt. Bei den Epiphany-Gruppen 7 bis 9 wurde zuvor der Primer mit einer

Microbrush in den Kanal eingebracht und überflüssiger Primer mit einer Papierspitze entfernt. Bei allen Wurzelkanälen wurde die Zentralstifttechnik angewendet und die Kanäle mit einem Guttapercha Masterpoint der Größe 40 taper .04 obturiert. Der Masterpoint wurde mit einem heißen Instrument am Wurzelkanaleingang abgetrennt, Sealerüberschüsse mit einem Schaumstoffpellet entfernt und der Kanaleingang abschließend mit einem Komposit verschlossen.



Abb.1: AH Plus-Sealer (Paste-Paste-System)



Abb.2: GuttaFlow-Kit mit Kapseln, Kanülen, Austragegerät und Guttapercha-Stiften



Abb. 3: GuttaFlow-Kapsel vor der Aktivierung mit aufgesetzter Schutzkappe

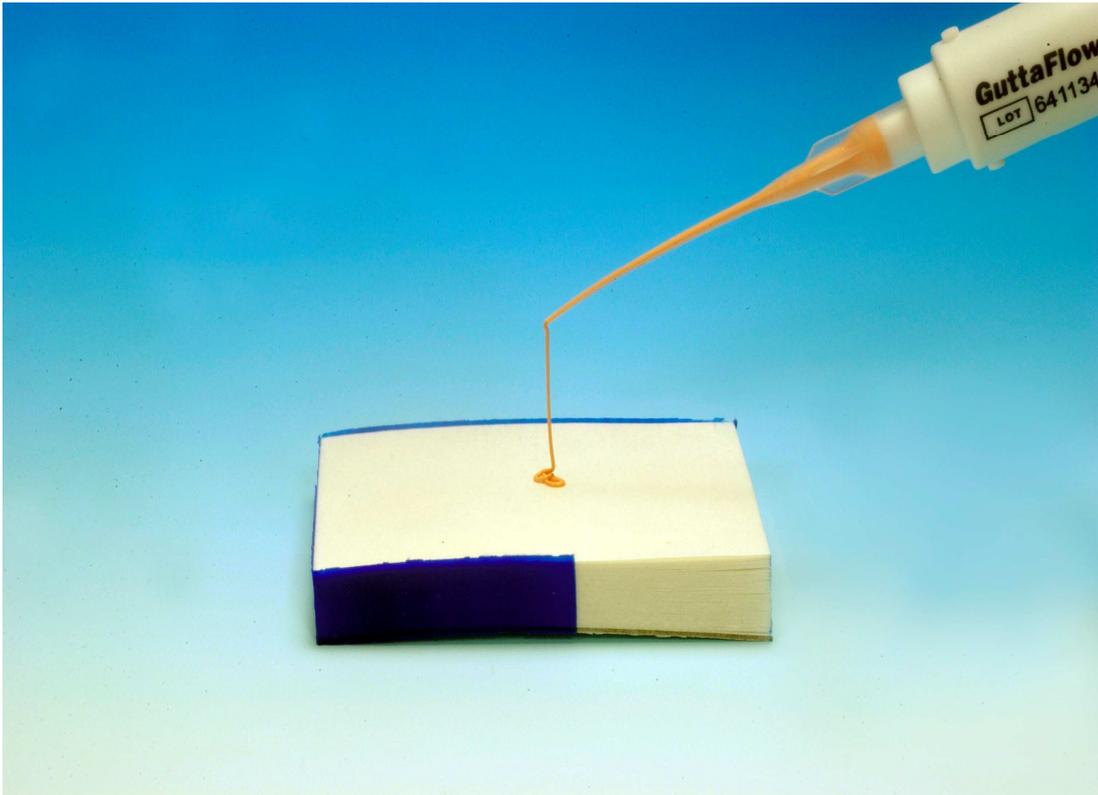


Abb. 4: Applikation von GuttaFlow mit angesetztem Canal Tip



Abb.5: Epiphany-Primer und Epiphany-Sealer

#### 4.5 Farbstoffpenetrationstest

Nun folgte nach einer weiteren 7-tägigen Lagerung im Thermoschrank bei 37° und 100%iger Luftfeuchtigkeit der Farbstoffpenetrationstest, dessen Ergebnisse später auf die Dichtigkeit der verwendeten Materialien schließen ließen. Vorbereitend mussten auf die Zähne zwei Schichten Nagellack aufgetragen werden, um die Zähne vor ungewolltem Farbstoffzutritt zu schützen (Abb.6). Apikal wurden die Zähne bis zum Erscheinen der Gutta-perchaspitzen durch Trimmen mittels eines Diamantschleifblattes gekürzt, um für einen gezielten Zugang für die Farbe von apical zu sorgen.



Abb.6: Lackierte und getrimmte Zähne

Jeder Probezahn wurde mit der angetrimmten Wurzelspitze nach unten in ein Zentrifugengläschen gegeben, welche jeweils 3cm hoch mit 5%igem Methylblau befüllt waren. Die Zähne wurden für drei Minuten bei 30g in der Varifuge K (400 Umdrehungen/min) zentrifugiert (Abb.7, S.28).



Abb.7: Zentrifuge (Varifuge K) des wissenschaftlichen Labors

Nach dem Zentrifugieren wurden die Reagenzgläser samt Inhalt über einem Sieb ausgeleert, die Zähne mit Wasser ab gespült und getrocknet. Anschließend wurden die Zähne mit dem getrimmten apikalen Ende mittels Tetric Flow auf einer Glasplatte fixiert und in einem Block aus Biresin-Polyurethanharz eingebettet (Abb.8, S.29).



Abb.8: Epoxidharzblock mit eingebetteten Probenzähnen

Auf diese Weise wurden die Zähne für die Serienschnitte (Abb.10, S.30) in Abständen von 1 mm vorbereitet. Diese wurden mit Hilfe einer Innenlochsäge durchgeführt (Abb.9, S.30). Pro Zahn und Gruppe wurden 8 Schnitte koronalwärts angefertigt, um auf diese Weise die Farbstoffpenetration verfolgen zu können.

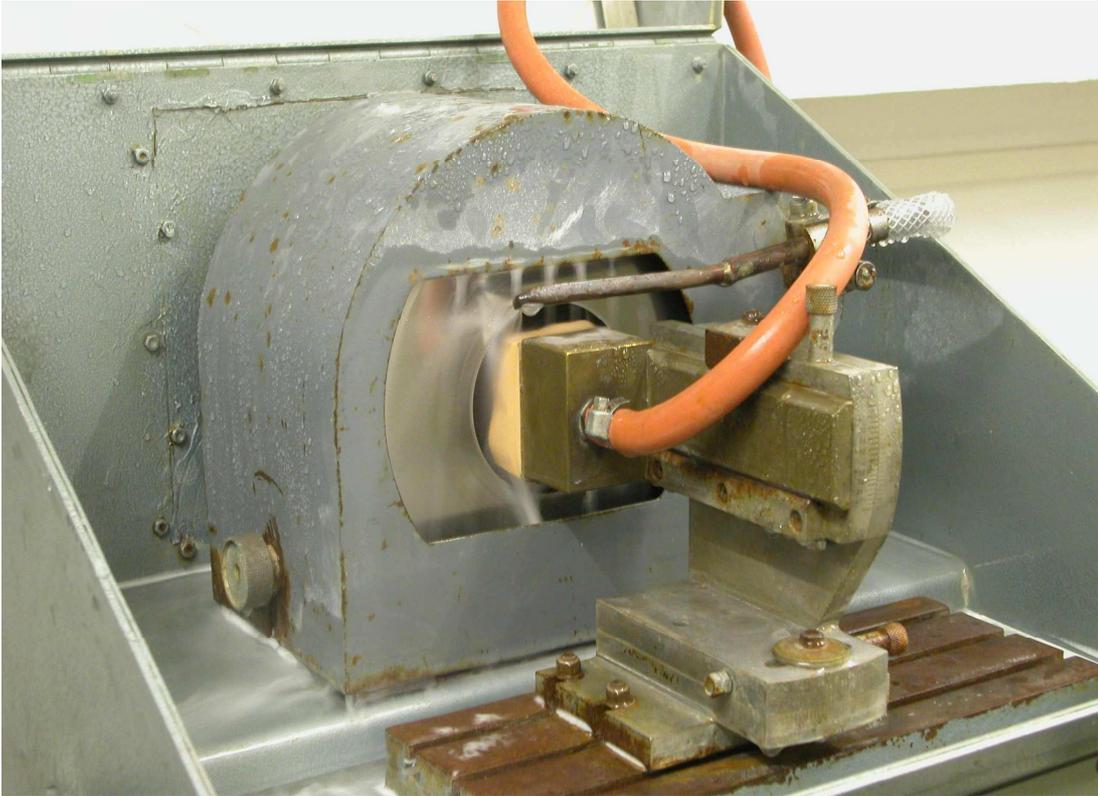


Abb.9: Innenlochsäge im Einsatz bei der Herstellung von Serienschritten

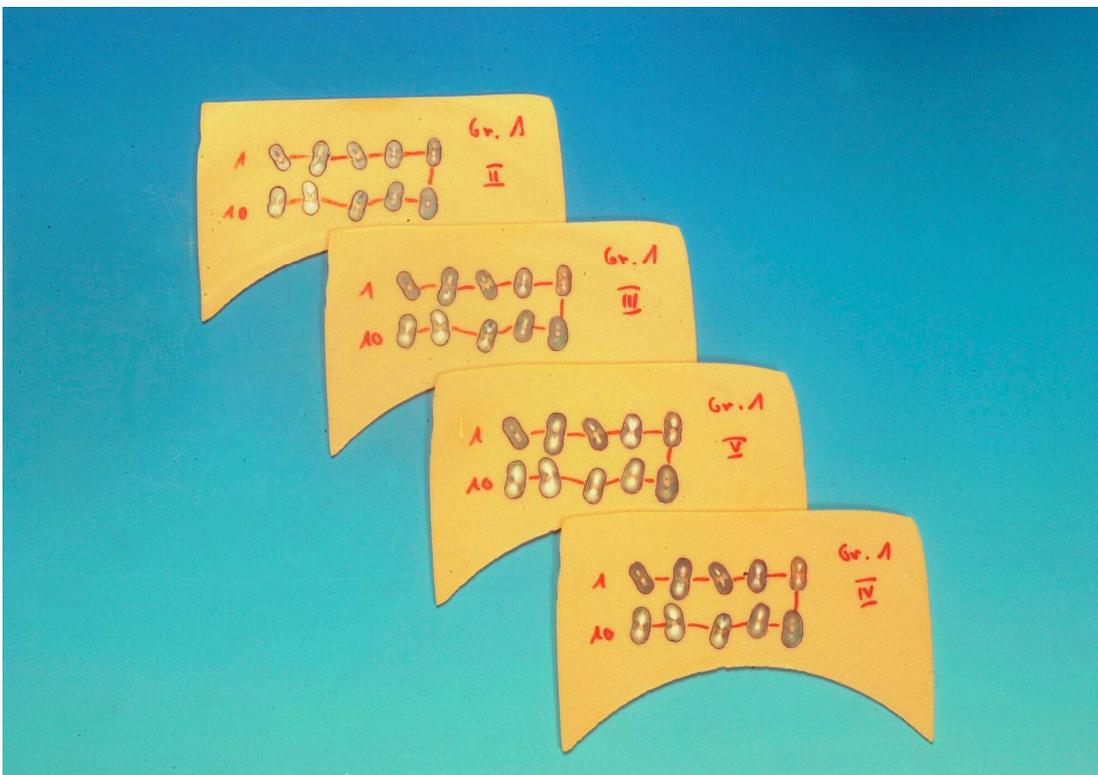


Abb.10: Serienschritte

Nachdem alle Schnitte angefertigt waren, wurde die lineare Farbstoffpenetration ermittelt. Dazu werteten 3 unabhängige Untersucher jeden Schnitt unter einem Zeiss Lichtmikroskop unter 25-facher Vergrößerung aus. Zunächst galt es nur zu unterscheiden, ob eine Farbstoffpenetration stattgefunden hat, oder ob nicht. Entsprechend des Ergebnisses wurde ein Plus (+) oder ein Minus (-) für jede Schnittprobe in einen Auswertungsbogen (Abb.11) vermerkt.

	Zahn 1	Zahn 2	Zahn 3	Zahn 4	Zahn 5	Zahn 6	Zahn 7	Zahn 8	Zahn 9	Zahn10
Schnitt 1										
Schnitt 2										
Schnitt 3										
Schnitt 4										
Schnitt 5										
Schnitt 6										
„-“ = keine Farbstoffpenetration sichtbar „+“ = Farbstoffpenetration sichtbar Gruppe: _____ Untersucher: _____										

Abb.11: Auswertungsbogen

Nach dieser ersten groben Einteilung der Sägeschnitte bezüglich einer linearen Farbstoffpenetration wurden diese im nächsten Schritt einer weitergehenden Auswertung unterzogen. Ermittelt wurde hierbei die Farbstoffpenetrationsfläche. Unter Zuhilfenahme eines Kamera unterstützten Mikroskops wurden die Sägeschnitte bei 40-facher Vergrößerung auf einem Bildschirm untersucht und der gefärbte Übergang zwischen der Wurzelkanalwand und der Wurzelkanalfüllung zunächst markiert und dann berechnet.

Die blau gefärbte Linie, welche den Übergang zwischen der Wurzelkanalfüllung zum Wurzelkanal beschreibt, wurde mit „B“ bezeichnet, der verbliebene ungefärbte Anteil mit „A“. Das Verhältnis des von Farbstoff penetrierten Anteils zum Gesamtquerschnitt der Wurzelkanalfüllung ergab die prozentuale Penetrationsfläche eines jeden Sägeschnittes ( siehe Ergebnisse S.57 ).

#### 4.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte anhand des Software Programms SPSS für Windows, Version 14. Dabei wurden folgende Tests ausgewertet:

- Der Kolmogorov-Smirnoff-Anpassungstest: Dieser Test zeigt an, ob bei den zu prüfenden Parametern eine Normalverteilung vorliegt. Ist dies der Fall, kann eine Varianzanalyse ( ANOVA ) zur Untersuchung der Mittelwerte herangezogen werden.
- Two-Way-ANOVA: mehrere unabhängige Variablen und deren Einfluss aufeinander wurden untersucht
- Der Post-hoc-Test: Es kam die Student-Newman-Keuls-Prozedur zur Anwendung, um Informationen darüber zu erhalten welche Mittelwerte sich signifikant voneinander unterscheiden.

Der Signifikanzwert wurde auf die Stufe  $p \leq 0,05$  festgelegt.

## 5 Ergebnisse

Der Kolmogorov-Smirnoff-Anpassungstest gab für jede ausgewertete Gruppe eine Normalverteilung an ( siehe Statistik Tabellen S.57 ). Es konnte nachgewiesen werden, dass in dieser Studie beide getesteten Faktoren, die medikamentösen Einlagen und die Sealer, jeweils einen signifikanten Einfluss auf die lineare Penetrationstiefe haben (siehe Statistik Tabellen einfaktorielle ANOVA ab S.63). Beide Faktoren in Kombination zeigen keine statistischen Signifikanzen.

Die folgende Tabelle stellt die linearen Penetrationstiefen als Mittelwerte und die dazugehörige Standardabweichung dar:

Gruppe	Sealer	Untergruppe	Kontamination	Mittelwert (mm)	Standardabweichung
1	AH Plus	a	Ohne	4,80	2,99
		b	Ca(OH) <sub>2</sub>	6,73	2,80
		c	CHX	2,73	4,46
2	Gutta Flow	a	Ohne	4,46	3,08
		b	Ca(OH) <sub>2</sub>	3,06	2,68
		c	CHX	1,86	1,40
3	E- piphan y	a	Ohne	4,86	2,36
		b	Ca(OH) <sub>2</sub>	3,30	3,14
		c	CHX	1,93	1,33

Tab. 2: Lineare Penetrationstiefen der verschiedenen experimentellen Gruppen

Die grafischen Darstellungen anhand von Säulendiagrammen zeigen einmal die lineare Penetrationstiefe in Abhängigkeit der Sealer, und einmal die lineare Penetrationstiefe in Abhängigkeit der medikamentösen Einlagen auf.

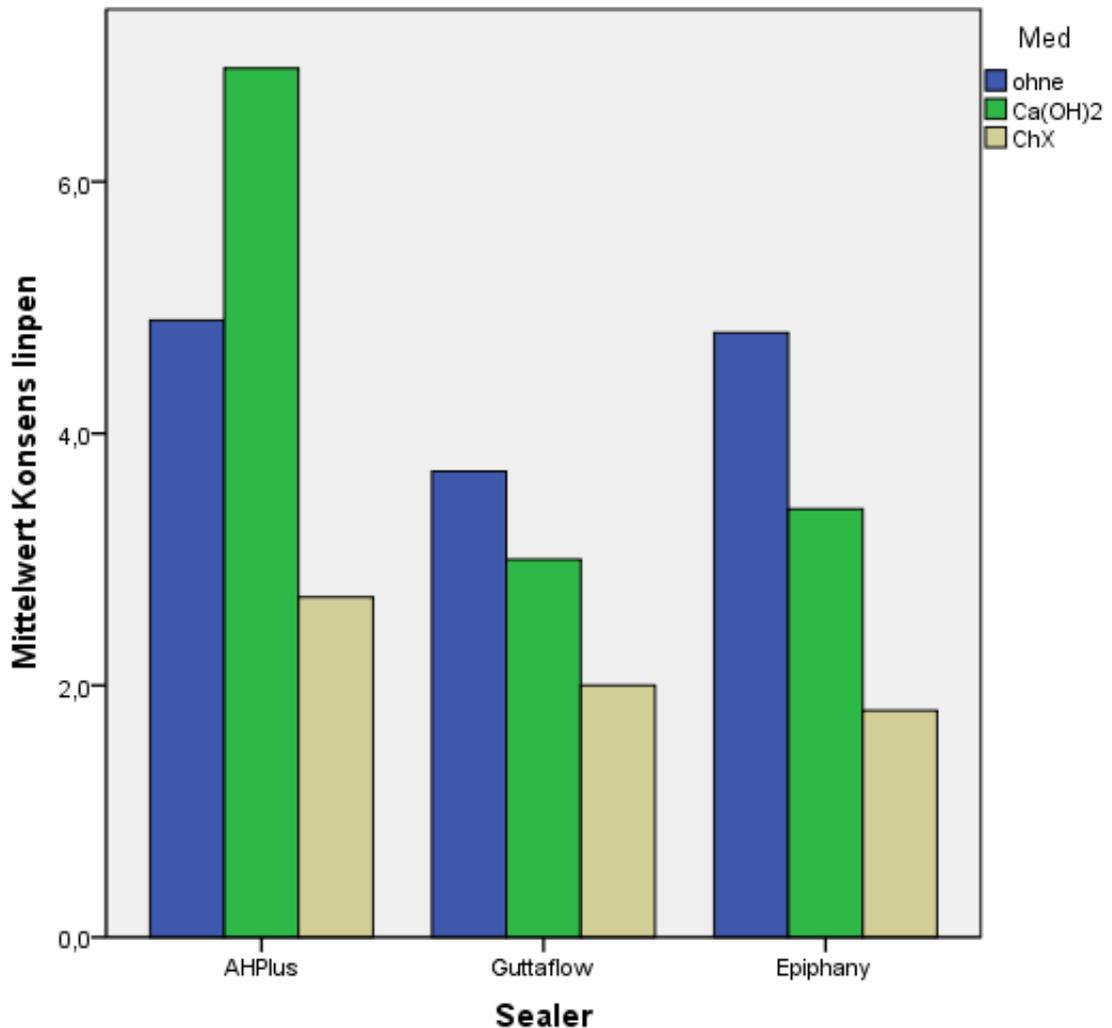


Abb. 12: Mittelwert der linearen Penetrationstiefe (in mm) auf Sealer bezogen

Generell gibt es signifikante Unterschiede innerhalb der Gruppen AH Plus und Epiphany, nicht in der GuttaFlow-Gruppe (siehe Ergebnisse Varianzanalysen Sealer ab S. 63). Der Sealer AH Plus liefert die schlechtesten Werte und somit die größten linearen Penetrationstiefen im Vergleich zu den beiden anderen Sealern. Die Kombination AH Plus mit der medikamentösen Einlage  $\text{Ca(OH)}_2$  erreicht die größten linearen Penetrationstiefen der gesamten Versuchsreihe. Nach der medikamentösen Einlage Chlorhexidindigluconat wer-

den in allen drei Sealergruppen die geringsten linearen Penetrationstiefen ausgewertet.

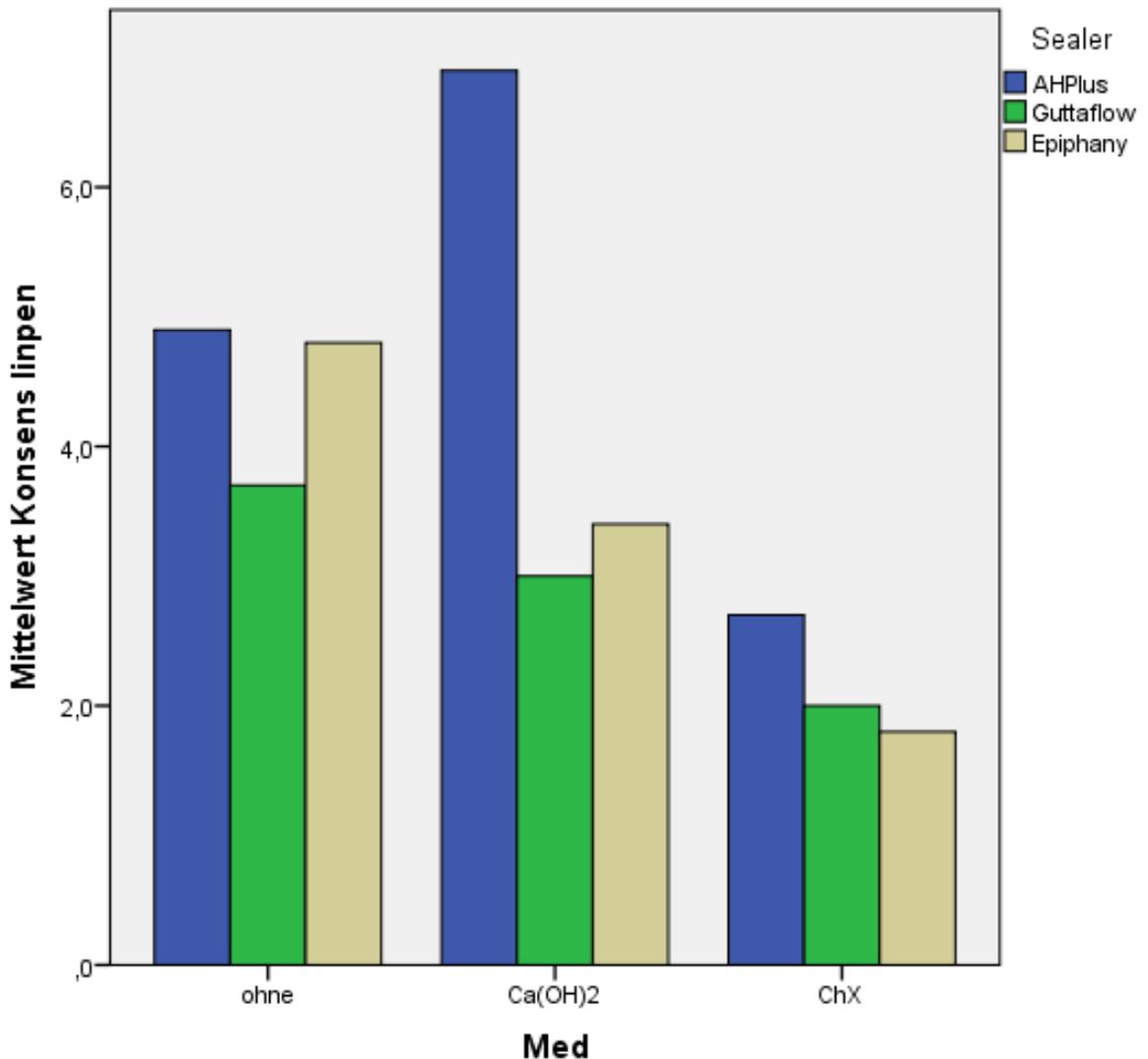


Abb. 13: Mittelwert der linearen Penetrationstiefe (in mm) auf die Med bezogen

Untersucht man die medikamentösen Einlagen in Abhängigkeit der drei Sealer, weist die Gruppe ohne vorherige medikamentöse Einlage generell die größten linearen Penetrationstiefen auf. In Kombination mit dem Sealer GuttaFlow werden zwar die besten Werte erzielt, es gibt aber keinen signifikanten Unterschied innerhalb dieser Gruppe. In der Calciumhydroxid-Gruppe existieren signifikante Unterschiede zwischen dem Sealer AH Plus und den beiden anderen GuttaFlow und Epiphany. Wie oben beschrieben werden hier

die größten linearen Penetrationstiefen nach der medikamentösen Einlage  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  und dem Sealer AH Plus erreicht. In der CHX-Gruppe sind die linearen Penetrationstiefen am geringsten. Hierbei sind keine signifikanten Unterschiede zwischen den Sealern zu beobachten

## 6 Diskussion

In dieser Studie galt es den, Einfluss zweier unterschiedlicher medikamentöser Einlagen auf die Randdichtigkeit dreier unterschiedlicher Sealer zu ermitteln. Um die Variablen zwischen den einzelnen Gruppen möglichst effektiv minimieren zu können, wurde in allen Versuchsgruppen mit den gleichen Standards und Voraussetzungen gearbeitet. Durch eine Standardisierung können die Ergebnisse auch mit anderen parallel zu dieser durchgeführten Studie verglichen werden. Es wurden ausschließlich einwurzelige, gerade Frontzähne, Canini, Prämolaren oder auch einzelne Wurzeln von Molaren entsprechend der Schneider-Klassifikation I verwendet [79]. Die Aufbereitung erfolgte mit dem Drehmomentkontrollierten Motor Endostepper auf die Größe 45 taper .04. Dies hatte den Vorteil eines geringen Zeitaufwandes. Durch die standardisierte konische Aufbereitung wurde eine auch in anderen Studien für geeignet empfundene postoperative Wurzelkanalgröße erreicht [31]. Das bei allen Zähnen mit aktivierter Wechsellspülung angewendete Spülprotokoll, Natriumhypochlorit und Zitronensäure beinhaltend, gewährleistete sowohl die Entfernung der Schmierschicht, als auch die gleichmäßige Entfernung von Rückständen der medikamentösen Einlagen.

Im Rahmen der klinischen Behandlung können sich Situationen ergeben, in welchen die Obturation des Wurzelkanals in nur einem Behandlungstermin nicht indiziert ist. Gründe hierfür können eine apikale Parodontitis oder ein infizierter Wurzelkanal infolge einer Pulpanekrose sein. Ein anderes Beispiel ist der Schmerzpatient, welcher oft ohne Termin, aber mit Schmerzen in der Praxis erscheint und zumindest eine Schmerzbehandlung erwartet. In sol-

chen Fällen wird nach der Trepanation und Darstellung der Wurzelkanal-  
eingänge eine medikamentöse Einlage in die Wurzeln appliziert, um eine  
Desinfektion des Wurzelkanalsystems zu erzielen, eine bakterielle Wieder-  
besiedlung zu verhindern und auch den Schmerz zu lindern. Da dies nur eine  
zeitlich begrenzte Behandlungsmethode darstellt, welche durch eine perma-  
nente Wurzelkanalfüllung zum Abschluss gebracht werden muss, ist es von  
Vorteil, wenn die medikamentöse Einlage nicht nur leicht und schnell zu ap-  
plizieren ist, sondern auch ebenso einfach wieder entfernbar ist.

An Stelle der medikamentösen Einlage in Pastenform wurde in dieser Studie  
mit calciumhydroxidhaltigen und chlorhexidinhaltigen medikamentösen Ein-  
lagen in Stiftform der Firma Coltène Endo gearbeitet. Dadurch konnte auf  
einfache reproduzierbare Weise in jeden Wurzelkanal die gleiche Menge des  
Wirkstoffes eingebracht und vor allem auch wieder entfernt werden. Das  
oben genannte Spülprotokoll gewährleistete die Reinigung der Wurzelkanal-  
oberflächen von Rückständen der medikamentösen Einlagen, denn auch  
solche in Stiftform hinterlassen nach deren Entfernen ihre freigesetzten  
Wirkstoffe. Verbleiben dennoch Reste der medikamentösen Einlage in den  
Dentintubuli, können diese als Inhibitionsschicht fungieren und die Randsich-  
tigkeit einer späteren Wurzelkanalfüllung negativ beeinflussen [49].

Die abschließende Wurzelkanalfüllung erfolgte in dieser Studie mittels der  
Zentralstifttechnik. Diese recht einfach durchzuführende, aber dennoch gute  
Homogenität und Dichtigkeit versprechende Methode, ermöglicht eine durch  
alle Gruppen dieser Studie gleichmäßige, einheitliche und auch vom Be-  
handler unabhängige Sealerverteilung an den jeweiligen Kanalwänden. An-  
dere Wurzelkanalfüllmethoden wie etwa die laterale Kondensation werden in  
der Literatur auch als sehr gut abdichtend beschrieben, doch entstehen  
durch das Kondensieren der Guttapercha immer wieder sealerfreie Stellen  
an der Wurzelkanalwand [92], durch welche eine unnötige Varianz durch den  
„Behandlereinfluss“ hätte entstehen können. Denn das Ziel dieser Studie  
war, die Dichtigkeit bezüglich der Sealereigenschaften und nicht anhand der  
Fülltechniken zu ermitteln.

Um die Undichtigkeit der drei verwendeten Wurzelfüllmaterialien zu untersuchen, wurde in dieser Studie ein standardisierter, zentrifugationsbeschleunigter Farbstoffpenetrationstest mittels Methyleneblau angewendet. Es ist ein in vielen anderen Studien verwendeter, technisch einfacher Test [70,73], bei welchem man sich die Möglichkeit der Penetration der Farbstoffmoleküle zwischen dem Wurzelkanal und der Wurzelkanalfüllung zu Nutzen macht [57]. Über eine Schnittserie durch die Zahnwurzel oder auch einem einzelnen Schnitt kann mittels eines Lichtmikroskopes die Eindringtiefe des Farbstoffes ermittelt werden. Da die Eindringtiefe aber auch von der Molekülgröße des jeweiligen Farbstoffes abhängt, gibt es je nach Verwendung verschiedene Farbstoffe. Als Beispiele dienen Methyleneblau, Fuchsin, Silbernitrat oder auch Erythrosin. In dieser Studie wurde mit Methyleneblau gearbeitet, da es sowohl ein niedriges Molekulargewicht als auch eine kleine Molekülgröße besitzt und somit tiefer als die anderen Farbstoffe entlang der Wurzelkanalfüllung penetrieren und exaktere Ergebnisse liefern kann [2]. Weiterhin ist Methyleneblau gut wasserlöslich und hat somit das Potential, in wasserhaltige Bereiche der Zahnwurzel vorzudringen [62]. Andererseits könnte der Farbstoff Methyleneblau natürlich auch entlang von wurzelkanalspezifischen Ramifikationen, Dentintubuli oder auch Schmelzrissen an der Wurzeloberfläche penetrieren. Um dem vorzubeugen, wurden alle Wurzeln mit einem Nagellack zweifach beschichtet, was eine sichere und dichte Versiegelung der Wurzeloberfläche ermöglicht [42]. Eventuell vorhandene Lufteinschlüsse in den obturierten Wurzelkanälen der Probenzähne, in welche das Methyleneblau bei alleiniger passiver Diffusion, etwa beim Einlegen der Zähne in eine Methyleneblaulösung bei atmosphärischem Druck nicht eindringen könnte, wurden durch Zentrifugieren weitgehend eliminiert [91].

Um die Penetrationstiefe letztlich beurteilen zu können, wurde in dieser Studie für jede Gruppe eine Serie von Sägeschnitten angefertigt. Anhand dieser Schnitte wurde unter dem Lichtmikroskop die Eindringtiefe der Farblösung untersucht und ausgewertet. Es stehen prinzipiell die Längsschnittmethode ("Clearing-Technik") und die Querschnittmethode („cross section analysis“)

zur Auswahl. Für beide Methoden werden von verschiedenen Autoren Vorteile angegeben. Bei der Längsschnittmethode werden die Wurzeln zum Beispiel durch  $\text{HNO}_3$  aufgelöst, so dass die verbleibende Wurzelkanalfüllung auf eine Farbstoffpenetration hin untersucht werden kann. Diese Methode wird von einigen Autoren als eine sehr genaue und exakte betrachtet [60]. Allerdings muss bei dieser Methode beachtet werden, dass nur die Penetrationen zwischen Wurzelkanalwand und Sealer interpretiert werden können [93], nicht jedoch die Farbstoffpenetration innerhalb einer Wurzelkanalfüllung. Bei der Querschnittmethode hingegen ist es auch möglich, die Farbstoffpenetration innerhalb der Wurzelkanalfüllung zu untersuchen. Somit können auch Undichtigkeiten innerhalb des Wurzelkanalfüllmaterials, Penetrationstiefe, Penetrationsfläche und Sealerverteilung beurteilt werden.

Als Nachteil bei beiden Schnittmethoden muss der nicht mehr beurteilbare Materialverlust angesehen werden, welcher durch das benutzen des Sägeblattes zwangsläufig entsteht. Da aber sowohl die Dicke des Sägeblattes bekannt war, als auch gleichmäßige und in allen Gruppen einheitliche Schichtdicken erzielt wurden, war es möglich, die Farbstoffpenetrationstiefe für jede Wurzelkanalfüllung zu berechnen. Trotz des Schnittverlustes ergibt sich bei der eingesetzten Horizontalschnitt-Technik eine hinreichende Genauigkeit der linearen Penetrationstiefenmessung. Durch diese sich durch die gesamte Studie ziehenden standardisierten Arbeitsmethoden können die Ergebnisse innerhalb der verschiedenen Gruppen in dieser Studie, aber auch mit denen aus anderen Studien verglichen und beurteilt werden.

## 6.1 Diskussion der Ergebnisse

Der Sealer AH Plus auf Epoxidharz Basis wurde in dieser Studie als Referenzsealer zu den beiden anderen beiden Sealern verwendet. AH Plus ist im trockenen Wurzelkanal nahezu unlöslich, besitzt die Fähigkeit der Adhäsion zum Dentin und expandiert nach Anmischen der beiden Pasten. Diese Eigenschaften sind für den Erfolg einer bakteriendichten Wurzelkanalfüllung als positiv anzusehen. Daher wird AH Plus in vielen Studien als Referenzsealer verwendet (87). Die Untersuchungen der linearen Penetrationstiefen lieferten für den Sealer AH Plus ohne vorangegangene medikamentöse Einlage die schlechtesten Werte. In der Kombination mit  $\text{Ca(OH)}_2$  als medikamentöse Einlage wurde die größte Penetrationstiefe der gesamten Studie mit 6,79mm gemessen. Die anderen Sealergruppen konnten diese schlechte Tendenz mit  $\text{Ca(OH)}_2$  aber nicht bestätigen. Sie lieferten zumindest bessere Werte als diejenigen ohne vorangegangene medikamentöse Einlagen. Dieses schlechte Ergebnis lässt sich anhand der Eigenschaften von AH Plus nicht erklären. Allerdings lieferte eine von Ebert et al. 1997 veröffentlichte Studie ähnliche Werte mit  $\text{Ca(OH)}_2$  als vorangegangener medikamentöser Einlage [18]. Dabei wurde der Einfluss kalziumhydroxidhaltiger Gutta-perchaspitzen auf die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen in schmier-schichtfreien Wurzelkanälen untersucht. Das Spülprotokoll nach der medikamentösen Einlage war exakt das gleiche wie in dieser Studie. Der damals getestete Sealer war AH 26, der Vorgänger von AH Plus, welcher bis auf eine erhöhte Formaldehydfreisetzung während des Abbindevorganges nahezu gleich in seiner Zusammensetzung war. Es ergaben sich signifikant größere Penetrationstiefen bei den mit AH 26 beschickten Wurzelkanalwänden. Der Grund für das in dieser Studie insgesamt schlechte Abschneiden innerhalb der AH Plus Gruppen könnte die in dieser Studie angewendete Single-Cone-Technik sein. *Bouillaguet et al.* beobachtete bei dieser Obturations-technik regelmäßig auftretende Porositäten innerhalb der Wurzelkanalfüllungen mit AH Plus als Sealer [9].

Mit dem auf Silikon basierenden Sealer Gutta Flow wurden in dieser Studie die besten Ergebnisse erzielt. Sowohl im Vergleich der Sealergruppen untereinander, als auch bei den verschiedenen Varianten der medikamentösen Einlagen vor der Wurzelkanalfüllung wurden die geringsten Farbstoffeindringtiefen gemessen. Der Versuchsaufbau stellte die idealen Grundvoraussetzungen für eine effektive Verarbeitung von Gutta Flow dar und war sicher ein ausschlaggebender Grund für die positiven Ergebnisse. So wird vom Hersteller die Obturation mit der Single-Cone-Technik empfohlen. Die Sealerstärke an der Wurzelkanalwand ist für den Erfolg hierbei nicht ausschlaggebend. Da Gutta Flow bei Raumtemperatur fließfähig ist und zusätzlich tixotrope Eigenschaften aufweist, lagert sich Gutta Flow durch die Obturation dicht an die Wurzelkanalwand an. *Roggendorf et al.* bestätigte in mehreren Studien eine nicht vorhandene Löslichkeit und Volumenbeständigkeit des Sealers [73] und konnte Gutta Flow selbst im feuchten Milieu des Wurzelkanals eine hohe initiale Dichtigkeit nachweisen [74]. Diese Ergebnisse decken sich mit denen dieser Studie. Der Farbstoff konnte aufgrund der beschriebenen Eigenschaften von Gutta Flow bei keiner der vorangegangenen medikamentösen Einlagen tiefer als bei den anderen getesteten Sealern eindringen. Da Gutta Flow sehr gut an die im Wurzelkanal vorherrschenden Verhältnisse angepasst ist, könnte diese Art von Sealer durchaus Bestand in die Endodontie haben. Denn es wird immer ein Rest von Feuchtigkeit im Wurzelkanal verbleiben. Ein an diesen Umstand angepasster Sealer hat somit immer Vorteile gegenüber solchen, die absolute Trockenheit zur Abdichtung des Wurzelkanals benötigen. Auch die einfache Anwendung Gutta Flows verbunden mit der zeitsparenden single-cone-Technik zur Obturation spricht für die Verwendung in der Endodontie dieses Sealers.

Die Ergebnisse des auf methacrylat basierenden Sealers Epiphany spiegeln die kontrovers geführten Diskussionen in verschiedenen wissenschaftlichen Stellungnahmen wieder. Mit der Einführung der adhäsiven Wurzelkanalfüllung sollte endlich eine Methode des absolut bakteriendichten Verschlusses des Wurzelkanalsystems zur Anwendung kommen. Dem Prinzip beim Legen von adhäsiven Füllungen folgend, sollte die Kombination des Primer-Sealer-Verbundes zu einer Hybridisierung zwischen dem Wurzelkanalentin und dem Kunststoff führen. Eine flüssigkeitsdichte, bzw. bakterien-dichte Wurzelkanalfüllung wäre somit gegeben. Dennoch konnte diese Studie eine Farbstoffpenetration entlang der Grenze von Wurzelkanalentin zu Sealer nachweisen. Gründe hierfür können bei der andersartigen Beschaffenheit des Wurzelkanalentin gefunden werden. So könnte der hohe C-Faktor, der Relation von gebundener zu freier Oberfläche [6], Einfluss auf den adhäsiven Verbund genommen haben. Weiterhin nennt *Ferrari et al.* die im Wurzelkanal vorherrschenden anatomischen Besonderheiten wie Ramifikationen als Grund für einen möglicherweise mangelnden adhäsiven Verbund der Materialien [24]. *Zmener* beschreibt die Veränderung der Oberfläche des Wurzelkanalentin nach verschiedenen Spüllösungen. So sollte laut Herstellerangaben vor allem nach Spülen mit NaOCl unbedingt mit EDTA nachgespült werden, um den Abbindevorgang von Epiphany nicht zu beeinträchtigen [96]. Eventuelle Rückstände von NaOCl könnten somit der Grund für die in dieser Studie nachgewiesene Farbstoffpenetration sein. Auch nach einer medikamentösen Einlage von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  sollte mit EDTA gespült werden. Da dies in dieser Studie nicht durchgeführt wurde, könnte dessen Verbleib im Wurzelkanal durchaus ein Grund für größere Eindringtiefen des Farbstoffes im Vergleich zu der Gruppe sein, in welcher CHX als medikamentöse Einlage verwendet wurde. Ein weiterer Grund für apikale Undichtigkeiten ist auch in der Kombination der verwendeten Materialien bei der Obturationstechnik zu suchen. Der kunststoffbasierte Sealer geht keine chemische Verbindung mit den Guttaperchaspitzen ein. Dies könnte die Farbstoffpenetration ebenfalls erklären. Doch auch auf Kunststoff basierende Wurzelkanalstifte wie zum Beispiel Resilon ( Resilon Research, USA ) erzielten keine absolute apikale Dichtigkeiten. Resilon ist in Stift- und in Pelletform

erhältlich und besteht aus Polyesterpolymeren, Dimethylacrylaten, sowie aus Glas- und radioopaken Füllkörpern. Der Resilonstift wird nach Konditionierung mittels eines Primers und der Applikation des Sealers Epiphany in den Wurzelkanal eingebracht. Nach Aushärtung soll eine regelrechte Verzahnung zwischen dem Wurzelkanaldentin und der Wurzelkanalfüllung entstehen, ein sogenannter Monoblock. Unter dem Rasterelektronenmikroskop konnten die Autoren spaltfreie Bereiche neben solchen mit adhäsivem Versagen nachweisen. Dabei zeigte der Verbund zwischen dem Sealer Epiphany und dem Resilonstift keine Undichtigkeiten auf. Das Prinzip des Monoblockes funktioniert. Die Randspalten entstanden vielmehr zwischen Dentin und dem Sealer. In der Referenzgruppe wurden wie in dieser Studie AH Plus als Sealer und Guttaperchaspitzen zur Obturation verwendet.

Der limitierende Faktor zum Erzielen einer flüssigkeits- und bakteriendichten Wurzelkanalfüllung scheint also der Verbund zwischen dem Wurzelkanaldentin und dem Sealer zu sein. Verschiedene Herangehensweisen bezüglich des Aufbaus und der Eigenschaften der Sealer bringen unterschiedlich effiziente Ergebnisse hervor. Hört sich das Prinzip zum Abdichten des Wurzelkanals zu Beginn auch immer sehr vielversprechend an, hemmen die Eigenschaften des Wurzelkanaldentins immer wieder die komplette Wirkungsentfaltung der jeweiligen Sealer. Vor allem die Weiterentwicklung von Gutta Flow könnte noch bessere Ergebnisse Richtung absoluter Dichtigkeit erzielen. Auf jeden Fall müssen alle Parameter um die Wurzelkanalfüllung herum aufeinander abgestimmt sein. Die vorliegende Studie zeigt bei allen Testgruppen unterschiedliche apikale Undichtigkeiten. Bei allen Kombinationen ließen sich unterschiedliche Ergebnisse erzielen. Dies zeigt, dass alle Sealer sehr materialspezifisch sind. Anhand dieser Erkenntnisse könnte in einer auf dieser Studie aufbauenden Versuchsreihe untersucht werden, wie stark die apikalen Undichtigkeiten noch verringert werden können. Dabei muss sowohl auf erwähnte von den Herstellern empfohlene Aufbereitungstechniken, vorbereitende Maßnahmen wie das richtige Spülprotokoll, als auch auf die entsprechende Obturationstechnik näher eingegangen werden. Weiterhin sollte

auf die Beständigkeit der apikalen Dichtigkeiten nach gewissen Zeiträumen eingegangen werden.

Abschließend sollte noch erwähnt werden, dass der Referenzsealer AH Plus auf Grund oben beschriebener Eigenschaften sehr oft und erfolgreich in der Vergangenheit zum Einsatz kam. In dieser Studie lieferte er nach vorangegangenen medikamentösen Einlagen von  $\text{Ca(OH)}_2$  und CHX tiefere Penetrationswerte als die beiden verglichenen Sealer Gutta Flow und Epiphany. Die zwei im Aufbau und Wirkungsweise unterschiedlichen Sealer erzielten also bessere Werte bezüglich der apikalen Dichtigkeit gegenüber Flüssigkeiten und Bakterien als der in der Endodontie schon lange akzeptierte Sealer AH Plus. Dies zeigt auf, dass viel Potential in den Weiterentwicklungen der Sealer liegt. Die guten Ergebnisse des Referenzsealers konnten noch verbessert werden.

## 7 Literaturverzeichnis

- 1 Abbott PV, Hume WR, Pearman JW: Antibiotics and endodontics. *Aust Dent J* 35, 50-60 (1990)
- 2 Ahlberg KM, Assavanop P, Tay WM: A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue und india ink in root-filled teeth. *Int Endod J* 28, 30-34 (1995)
- 3 Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM: In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. *Endod Dent Traumatol* 8,104-108 (1992)
- 4 Azabal-Arroyo M, Menasalvas-Ruiz G, Martín-Alonso J, Arroquia JJ, Vega del Barrio JM: Loss of hydroxylions from gutta-percha points with calcium hydroxide in their composition: an in vivo study. *J Endod* 28, 697-698 (2002)
- 5 Barthel C, Flachsenberg S, Georgi M: Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK: Wurzelkanalspülung. *Dtsch Zahnärztl Z* 61, 510-517 (2006)
- 6 Baumann AM, Beer R: *Farbatlant der Zahnmedizin, Endodontologie*. Thieme, Stuttgart (2008)
- 7 Baumgartner JC, Brown CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD: A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite and citric acid. *J Endod* 10, 525-531 (1984)
- 8 Baumgartner JC, Ibay AC: The chemical reactions of irrigants used for root canal debridement. *J Endod* 13, 47-51 (1987)
- 9 Bouillaguet S, Shaw L, Barthelemy J, Krejci I, Wataha JC: Long-term sealing ability of Pulp Canal Sealer, AH-Plus, GuttaFlow and Epiphany. *Int Endod J* 41, 219-226 (2008)
- 10 Buttler TK, Crawford JJ: The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxins. *J Endod* 8, 59-66 (1982)

- 11 Cunningham WT, Cole JS, Balekjian AY: Links Effect of alcohol on the spreading ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 54, 333-335 (1982)
- 12 Cunningham WT, Joseph SW: Effect of temperature on the bactericidal action of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 50, 569-571 (1980)
- 13 Dakin HD: On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds. *Br Med J* 2, 318-320 (1915)
- 14 De-Deus G, Paciornik S, Pinho Mauricio MH, Prioli R: Real-time atomic force microscopy of root dentine during demineralization when subjected to chealting agents. *Int Endod J* 39, 683-692 (2006)
- 15 Delivanes PD, Mattison GD, Mendel RW: The survivability of F43 strain of *Streptococcus sanguis* in root canals filled with gutta-percha and Procosol cement. *J Endod* 9, 407-410 (1983)
- 16 Distler W, Petschelt A: Über die Freisetzung von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  aus Gutta-perchaspitzen. *Dtsch Zahnärztl Z* 52, 199-201 (1997)
- 17 Donnelly A, Sword J, Nishitani Y et al.: Water sorption and solubility of methacrylate resin-based root canal sealers. *J Endod* 33, 990-994 (2007)
- 18 Ebert J, Spiller S Petschelt A: Einfluss von kalziumhydroxidhaltigen Guttaperchaspitzen auf die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen in schmierschichtfreien Wurzelkanälen. *Dtsch Zahnärztl Z* 52, 126-128 (1997)
- 19 Ehrmann EH: The effect of triamcinolone with tetracycline on the dental pulp and apical periodontium. *J Prosthet Dent* 15, 144-152 (1965)
- 20 Ehrmann EH, Messer HH, Adams GG: The relationship of intracanal medicaments to postoperative pain in endodontics. *Int Endod J* 36, 868-875 (2003)
- 21 Emilson CG: Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine. *Scand J Dent Res* 85, 255-265 (1977)

- 22 Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S: Treatment outcome in endodontics - the Toronto Study. Phase II: initial treatment. *J Endod* 30, 302-309 (2004)
- 23 Ferguson JW, Sarich SJ, Hatton JF, Gillespie MJ: Effectiveness of intracanal irrigants and medications against the yeast *Candida albicans*. *J Endod* 28, 68-71 (2002)
- 24 Ferrari M, Mannocci F, Vichi A, Cagidiaco MC, Mjör IA: Bonding to root canal: structural characteristics of the substrate. *Am J Dent* 13, 255-260 (2000)
- 25 Freeman BA, Crapo JD: Biology of disease. Free radicals and tissue injury. *Lab Invest* 47, 412-426 (1982)
- 26 Gani O, Visvisian C, de Caso C: Quality of apical seal in curved canals using three types of spreaders. *J Endod* 26, 581-585 (2000)
- 27 Gencoglu N, Türkmen C, Ahiskali R: A new silicon based root canal sealer (Roekoseal-Automix). *J Oral Rehabil* 30, 753-757 (2003)
- 28 Gettleman BH, Messer HH, El Deeb ME: Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 17, 15-20 (1991)
- 29 Grossmann LI: Rationale of endodontic treatment. *Dent Clin North Am*, 483-490 (1967)
- 30 Grossmann LI: Physical properties of root canal cements. *J Endod* 2, 166-175 (1976)
- 31 Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM: Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 38, 743-752 (2005)
- 32 Hand RE, Smith ML, Harrison JW: Analysis of the effect of dilution on the necrotic tissue dissolution property of sodium hypochlorite. *J Endod* 4, 60-64 (1978)
- 33 Hata G, Kawazoe S, Toda T, Weine FS: Sealing ability of thermoplasti-cized gutta-percha fill techniques as assessed by a new method of determining apical leakage. *J Endod* 21, 167-172 (1995)

- 34 Haznedaroğlu 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)
- 35 Heidemann D: *Endodontie. Praxis der Zahnheilkunde*. Urban & Fischer, München (2001)
- 36 Hennequin M, Pajot J, Avignant D: Effects of different pH values of citric acid solutions on the calcium and phosphorus contents of human root dentin. *J Endod* 20, 551-554 (1994)
- 37 Ho CH, Khoo A, Tan R, Teh J, Lim KC, Sae-Lim V: pH changes in root dentin after intracanal placement of improved calcium hydroxide containing gutta-percha points. *J Endod* 29, 4-8 (2003)
- 38 Huang TH, Lii CK, Chou MY, Kao CT: Lactate dehydrogenase leakage of hepatocytes with AH26 and AH Plus sealer treatments. *J Endod* 26, 509-511 (2000)
- 39 Huang TH, Yang JJ, Li H, Kao CT: The biocompatibility evaluation of epoxy resin-based root canal sealers in vitro. *Biomaterials* 23, 77-83 (2002)
- 40 Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A: Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indication for their use. *Int Endod J* 12, 810-830 (2003)
- 41 Hülsmann M, Rümmelin C, Schäfers F: Root canal cleanliness after preparation with different endodontic handpieces and hand instruments: a comparative SEM investigation. *J Endod* 23, 301-306 (1997)
- 42 Jacobsen EL, Karras LG, Begole EA, Daniel JC: Long-term sealing efficacy of four root surface sealing materials used in endodontic leakage studies. *J Endod* 19, 578-587 (1993)
- 43 Karagöz-Küçükay I, Bayirli G: An apical leakage study in the presence and absence of the smear layer. *Int Endod J* 27, 87-93 (1994)
- 44 Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO: An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system. *J Endod* 29, 658-661 (2003)

- 45 Katebzadeh N, Hupp J, Trope M: Histological periapical repair after obturation of infected root canals in dogs. *J Endod* 25, 364-368 (1999)
- 46 Katebzadeh N, Sigurdsson A, Trope M: Radiographic evaluation of periapical healing after obturation of infected root canals: an in vivo study. *Int Endod J* 33, 60-66 (2000)
- 47 Kayaoglu G, Erten H, Alacam T, Ørstavik D: Short-term antibacterial activity of root canal sealers towards *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 38, 483-488 (2005)
- 48 Khademi AA, Feizianfard M: The effect of EDTA and citric acid on smear layer removal of mesial canals of first mandibular molars, a scanning electron microscopic study. *J Res Med Sci*, 80-88 (2004)
- 49 Kim SK, Kim YO: Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *Int Endod J* 35, 623-628 (2002)
- 50 Klimm W, Gäbler S: *Endodontologie. Grundlagen und Praxis*. Dt. Zahnärzte-Verl. DÄV, Köln (2003)
- 51 Kocak MM, Er O, Saglam BC, Yaman S: Apical leakage of epiphany root canal sealer combined with different master cones. *Eur J Dent* 2, 91-95 (2008)
- 52 Kontakiotis EG, Tzanetakakis GN, Loizides AL: A 12-month longitudinal in vitro leakage study on a new silicon-based root canal filling material (Gutta-Flow). *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 103, 854-859 (2007)
- 53 Koulaouzidou EA, Papazisis KT, Beltes P, Geromichalos GD, Kortsaris AH: Cytotoxicity of three resin-based root canal sealers: an in vitro evaluation. *Endod Dent Traumatol* 14, 182-185 (1998)
- 54 Kuruvilla JR, Kamath MP: Antimicrobial activity of 2.5% sodium hypochlorite and 0.2% chlorhexidine gluconate separately and combined, as endodontic irrigants. *J Endod* 24, 472-476 (1998)
- 55 Leonardo MR, da Silva LA, Almeida WA, Utrilla LS: Tissue response to an epoxy resin-based root canal sealer. *Endod Dent Traumatol* 15, 28-32 (1999)

- 56 Leyhausen G, Heil J, Reifferscheid G, Waidmann P, Geurtsen W: Genotoxicity and cytotoxicity of the epoxy resin-based root canal sealer AH plus. *J Endod* 25, 109-113 (1999)
- 57 Limkangwalmongkol S, Abbott PV, Sandler AB: Apical dye penetration with four root-canal sealers and gutta percha using longitudinal sectioning. *J Endod* 18, 535-536 (1992)
- 58 Lin S, Zuckerman O, Weiss EI, Mazor Y, Fuss Z: Antibacterial efficacy of a new chlorhexidine slow release device to disinfect dentinal tubules. *J Endod* 29, 416-418 (2003)
- 59 Loel DA: Use of acid cleanser in endodontic therapy. *J Am Dent Assoc* 90, 148-151 (1975)
- 60 Lussi A, Imwinkelried S, Stich H: Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology. *Int Endod J* 32, 17-32 (1999)
- 61 Machado-Silveiro LF, González-López S, González-Rodríguez MP: Decalcification of root canal dentine by citric acid, EDTA and sodium citrate. *Int Endod J* 37, 365-369 (2004)
- 62 Matloff IR, Jensen JR, Singer L, Tabibi A: A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53, 203-208 (1982)
- 63 Neelakantan P, Subbarao CV: An analysis of the antimicrobial activity of ten root canal sealers: a duration based in vitro evaluation. *J Clin Pediatr Dent* 33, 117-122 (2008)
- 64 Oberschachtsiek H, Ebert J, Petschelt A: Prospective clinical controlled study of 'active point®' as intracanal medicament. *Int Endod J*, 37 (2001)
- 65 Oliveira LD de, Jorge AO, Carvalho CA, Koga-Ito CY, Valera MC: In vitro effects of endodontic irrigants on endotoxins in root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104, 135-142 (2007)
- 66 Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE: Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 17, 512-519 (2001)

- 67 Patterson SS: In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt of ethylenediamine tetra-acetate on human dentine and its endodontic implications. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 16, 83-103 (1963)
- 68 Petschelt A: Zur Schmierschicht und Dentinfeuchtigkeit nach der Wurzelkanalaufbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z* 61, 1139-1147 (1988)
- 69 Prati C, Selighini M, Ferrieri P, Mongiorgi R: Scanning electron microscopic evaluation of different endodontic procedures on dentin morphology of human teeth. *J Endod* 20, 174-179 (1994)
- 70 Pust M: Konfektionierte keramische Einlagefüllungen als Amalgamerersatz in einflächigen Kavitäten. *Med Diss. Marburg* (1995)
- 71 Ringel AM, Patterson SS, Newton CW, Miller CH, Mulhern JM: In vivo evaluation of chlorhexidine gluconate solution and sodium hypochlorite solution as root canal irrigants. *J Endod* 8, 200-204 (1982)
- 72 Rödiger R, Hülsmann M: Die medikamentöse Einlage in der Endodontie, *Endodontie* 14, 281-295 (2005)
- 73 Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R: Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *J Endod* 33, 31-33 (2007)
- 74 Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A: Microleakage of a new gutta-percha root canal filling Material. *Int J Endod* 35, 94-95 (2002)
- 75 Roggendorf MJ, Ebert J, Schulz C, Petschelt A: Microleakage evaluation of polyvinylsiloxane-based endodontic filling materials using various filling methods. Abstract # 0971, *J Dent Res* 82 (Special Issue A ) (2003)
- 76 Roggendorf MJ, Ebert J, Schulz C, Frankenberger R, Petschelt A: Microleakage of five root canal sealers in dry and wet root canals. Abstract # 2678, *J Dent Res* 82 (Special Issue B), B-345 (2003)
- 77 Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D: The effect of dentine pretreatment on the adhesion of root-canal sealers. *Int Endod J* 35, 859-866 (2002)
- 78 Schäfer E, Zandbiglari T: Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J* 36, 660-669 (2003)

- 79 Schilder H: Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am*, 723-744 (1967)
- 80 Schneider SW: A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 271-275 (1971)
- 81 Shipper G, Ørstavik 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)
- 82 Slutzky-Goldberg I, Slutzky H, Solomonov M, Moshonov J, El Weiss, S Matalon: Antibacterial properties of four endodontic sealers. *J Endod* 34, 735 - 738 (2008).
- 83 Sousa SM, Bramante CM, Taga EM: Biocompatibility of EDTA, EGTA and citric acid. *Braz Dent J* 16, 3-8 (2005)
- 84 Spratt DA, Pratten J, Wilson M, Gulabivala K: An in vitro evaluation of the antimicrobial efficacy of irrigants on biofilm of root canal isolates. *Int Endod J* 34, 300-307 (2001)
- 85 Stewart G, Cobe H, Rappaport H: A study of a new medicament in the chemomechanical preparation of infected root canals. *J Am Dent Assoc* 63, 33-36 (1961)
- 86 Takeda FH, Harashima T, Kimura Y, Matsumoto K: A comparative study of the removal of smear layer by three endodontic irrigants and two types of laser. *Int Endod J* 32, 32-39 (1999)
- 87 Tay FR, Loushine RJ, Lambrechts P, Weller RN, Pashley DH: Geometric factors affecting dentin bonding in root canals: a theoretical modeling approach. *J Endod* 31, 584-589 (2005)
- 88 Timpawat S, Amornchat C, Trisuwan WR: Bacterial coronal leakage after obturation with three root canal sealers. *J Endod* 27, 36-39 (2001)
- 89 Wade W, Addy M: In vitro activity of a chlorhexidine containing mouth-rinse against subgingival bacteria. *J Periodontol* 60, 521-525 (1989)
- 90 Wennberg A: Biological evaluation of root canal antiseptics using in vitro and in vivo methods. *Scand J Dent Res* 88, 46-52 (1980)
- 91 Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR: Fluid transport and dye penetration along root fillings. *Int Endod J* 27, 233-238 (1994)

- 92 Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR, Moorer WR: Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 26, 203-208 (1993)
- 93 Wu MK, Özok AR, Wesselink PR: Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J* 33, 340-345 (2000)
- 94 Wu MK, van der Sluis LW, Ardila CN, Wesselink PR: Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gut-tapercha techniques. *Int Endod J* 36, 533-540 (2003)
- 95 Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H: Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod* 22, 27-29 (1996)
- 96 Zmener O, Banegas G: Comparison of three instrumentation techniques in the preparation of simulated curved root canals. *Int Endod J* 29, 315-319 (1996)

## 8 Anhang

### Materialliste

#### Aufbereitung

Handelsname	Hersteller
Diamantschleifer	Meisinger GmbH, Düsseldorf, Deutschland
FlexMaster	VDW GmbH, München, Deutschland
rotes Winkelstück	Kaltenbach & Voigt Dental GmbH, Biberach, Deutschland
grünes Winkelstück	Kaltenbach & Voigt Dental GmbH, Biberach, Deutschland
Scaler	Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
Skalpell	Braun, Tuttlingen, Deutschland
Spritzen 2ml	BD Discardit II, Fraga, Spanien
Endokanüle	Transcoject, Neumünster, Deutschland

#### Spülung/Trocknung

Zitronensäure 40%	Apotheke des Universitätsklinikums, Erlangen, Deutschland
Natriumhypochlorit 3%	Apotheke des Universitätsklinikums, Erlangen, Deutschland
Ethanol-Lösung 70%	Apotheke des Universitätsklinikums, Erlangen, Deutschland
Papierspitzen Top Color	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland

## Medikamentöse Einlage/provisorischer Verschluss

<b>Material</b>	<b>Hersteller</b>	<b>LOT</b>
Calcium Hydroxid Plus Spitzen ISO 40	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland	85878
Activ Point Chx Spitzen ISO 40	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland	94799
Cavit W	3M Espe, Seefeld, Deutschland	257235

## Wurzelkanalfüllung/Deckfüllung

<b>Material</b>	<b>Hersteller</b>	<b>LOT</b>
AH Plus	DentsplyDeTrey, Konstanz, Deutschland	603002042
GuttaFlow	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland	6507013
Epiphany	Pentron Clinical Technologies, Wallingford, CT, USA	147897
Guttaperchaspitzen ISO 40 taper .04	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland	144771
KetacCem Aplicap	3M Espe, Seefeld, Deutschland	301749

## Sonstige Materialien

<b>Material</b>	<b>Hersteller</b>
Aqua dest	Zahnklinik 1, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen/Nürnberg
Chloramin-T-Lösung 0,5%	Zahnklinik 1, Friedrich-Alexander-Universität Erlangen/Nürnberg
Biresin	Sika B. V., Utrecht, Niederlande
Schaumstoffpellets (mittel)	Demedis, München, Deutschland

## Geräte

<b>Material</b>	<b>Hersteller</b>
Zentrifuge Varifuge K	Heraeus Christ, Osterode, Deutschland
Mikroskop OPMI pico	Carl Zeiss, Oberkochen, Deutschland
Stereomikroskop Wild	Leica Geosystems AG, Heerbrugg, Schweiz
Innenlochsäge	Roditi Int. Corp., Hamburg, Deutschland
Thermoschrank Memmert B80	Memmert GmbH, Schwabach, Deutschland
PolyLUX II, Polymerisationslampe	Kaltenbach & Voigt Dental GmbH, Biberach, Deutschland

## Statistik

### Versuchsergebnisse

gruppe	sealer	Kont	linpenGer	linpenSchir	linpenRog	konsens
1	1	1	4,0	3,0	2,0	3,0
1	1	1	3,0	3,0	3,0	3,0
1	1	1	7,0	7,0	7,0	7,0
1	1	1	2,0	2,0	1,0	2,0
1	1	1	5,0	3,0	3,0	3,0
1	1	1	9,0	9,0	9,0	9,0
1	1	1	9,0	9,0	9,0	9,0
1	1	1	1,0	9,0	8,0	7,0
1	1	1	3,0	3,0	2,0	3,0
1	1	1	3,0	3,0	3,0	3,0
2	1	2	8,0	8,0	8,0	8,0
2	1	2	4,0	4,0	3,0	4,0
2	1	2	9,0	9,0	9,0	9,0
2	1	2	9,0	9,0	9,0	9,0
2	1	2	8,0	8,0	8,0	8,0
2	1	2	9,0	9,0	9,0	9,0
2	1	2	8,0	8,0	1,0	7,0
2	1	2	7,0	7,0	7,0	7,0
2	1	2	7,0	7,0	7,0	7,0
2	1	2	1,0	1,0	1,0	1,0
3	1	3	1,0	1,0	1,0	1,0
3	1	3	1,0	1,0	1,0	1,0
3	1	3	1,0	4,0	1,0	2,0
3	1	3	9,0	9,0	9,0	9,0
3	1	3	1,0	3,0	3,0	2,0
3	1	3	2,0	3,0	2,0	2,0
3	1	3	1,0	9,0	7,0	6,0
3	1	3	1,0	2,0	1,0	1,0
3	1	3	1,0	3,0	1,0	2,0
3	1	3	1,0	1,0	1,0	1,0
4	2	1	2,0	2,0	2,0	2,0
4	2	1	8,0	7,0	2,0	4,0
4	2	1	8,0	7,0	4,0	5,0
4	2	1	9,0	9,0	2,0	4,0
4	2	1	9,0	9,0	9,0	9,0
4	2	1	6,0	2,0	2,0	2,0
4	2	1	9,0	9,0	2,0	7,0
4	2	1	1,0	2,0	1,0	1,0
4	2	1	1,0	5,0	1,0	2,0
4	2	1	1,0	2,0	1,0	1,0
5	2	2	1,0	1,0	1,0	1,0
5	2	2	1,0	1,0	1,0	1,0
5	2	2	1,0	1,0	1,0	1,0

5	2	2	9,0	9,0	9,0	9,0
5	2	2	6,0	6,0	3,0	5,0
5	2	2	3,0	3,0	3,0	3,0
5	2	2	4,0	3,0	3,0	3,0
5	2	2	1,0	2,0	1,0	1,0
5	2	2	5,0	5,0	5,0	5,0
5	2	2	1,0	1,0	1,0	1,0
6	2	3	1,0	1,0	1,0	1,0
6	2	3	1,0	1,0	1,0	1,0
6	2	3	4,0	4,0	6,0	5,0
6	2	3	2,0	2,0	1,0	2,0
6	2	3	1,0	1,0	1,0	1,0
6	2	3	1,0	1,0	1,0	1,0
6	2	3	1,0	4,0	1,0	2,0
6	2	3	1,0	1,0	1,0	1,0
6	2	3	2,0	2,0	1,0	2,0
6	2	3	4,0	4,0	3,0	4,0
7	3	1	5,0	5,0	6,0	5,0
7	3	1	4,0	4,0	4,0	4,0
7	3	1	9,0	9,0	9,0	9,0
7	3	1	5,0	5,0	5,0	5,0
7	3	1	2,0	2,0	3,0	2,0
7	3	1	1,0	1,0	1,0	1,0
7	3	1	6,0	6,0	6,0	6,0
7	3	1	6,0	6,0	6,0	6,0
7	3	1	3,0	3,0	3,0	3,0
7	3	1	7,0	7,0	7,0	7,0
8	3	2	8,0	9,0	9,0	9,0
8	3	2	1,0	1,0	1,0	1,0
8	3	2	1,0	1,0	1,0	1,0
8	3	2	5,0	5,0	5,0	5,0
8	3	2	1,0	1,0	2,0	1,0
8	3	2	2,0	2,0	1,0	2,0
8	3	2	8,0	9,0	9,0	9,0
8	3	2	1,0	1,0	1,0	1,0
8	3	2	4,0	4,0	3,0	4,0
8	3	2	1,0	1,0	1,0	1,0
9	3	3	3,0	3,0	3,0	3,0
9	3	3	1,0	1,0	1,0	1,0
9	3	3	1,0	1,0	1,0	1,0
9	3	3	1,0	1,0	1,0	1,0
9	3	3	1,0	1,0	1,0	1,0
9	3	3	4,0	4,0	6,0	4,0
9	3	3	2,0	2,0	3,0	2,0
9	3	3	1,0	1,0	1,0	1,0
9	3	3	3,0	3,0	4,0	3,0
9	3	3	1,0	1,0	1,0	1,0

### Kolmogorov-Smirnoff-Anpassungstest

- Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung
- Aus den Daten berechnet

<b>AH Plus ohne Kontamination</b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	4,600	4,700	5,100
	Standardabweichung	2,8363	3,1640	2,9981
Extremste Differenzen	Absolut	,214	,304	,358
	Positiv	,214	,304	,358
	Negativ	-,140	-,166	-,203
Kolmogorov-Smirnov-Z		,676	,963	1,133
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,751	,312	,154

<b>AH Plus mit Ca(OH)<sub>2</sub></b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	7,000	6,200	7,000
	Standardabweichung	2,5820	3,2592	2,5820
Extremste Differenzen	Absolut	,300	,297	,300
	Positiv	,219	,195	,219
	Negativ	-,300	-,297	-,300
Kolmogorov-Smirnov-Z		,949	,939	,949
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,329	,341	,329

<b>AH Plus mit CHX</b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	1,900	2,700	3,600
	Standard-abweichung	2,5144	2,9078	3,0258
Extremste Differenzen	Absolut	,440	,321	,279
	Positiv	,440	,321	,279
	Negativ	-,360	-,279	-,195
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,391	1,014	,881
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,042	,255	,420

<b>GuttaFlow ohne Kontamination</b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	5,400	2,600	5,400
	Standard-abweichung	3,6878	2,4129	3,1693
Extremste Differenzen	Absolut	,260	,398	,258
	Positiv	,222	,398	,258
	Negativ	-,260	-,254	-,193
Kolmogorov-Smirnov-Z		,821	.1,259	,817
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,510	,084	,517

<b>GuttaFlow mit Ca(OH)<sub>2</sub></b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	3,200	2,800	3,200
	Standard-abweichung	2,7809	2,5734	2,6998
Extremste Differenzen	Absolut	,286	,269	,230
	Positiv	,286	,269	,230
	Negativ	-,214	-,242	-,208
Kolmogorov-Smirnov-Z		,903	,851	,726
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,389	,464	,668

<b>GuttaFlow mit CHX</b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	1,800	1,700	2,100
	Standard-abweichung	1,2293	1,6364	1,3703
Extremste Differenzen	Absolut	,342	,466	,289
	Positiv	,342	,466	,289
	Negativ	-,258	-,334	-,217
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,083	1,472	,914
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,192	,026	,374

<b>Epiphany ohne Kontamination</b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	4,800	5,000	4,800
	Standardabweichung	2,3944	2,3094	2,3944
Extremste Differenzen	Absolut	,133	,167	,133
	Positiv	,108	,133	,108
	Negativ	-,133	-,167	-,133
Kolmogorov-Smirnov-Z		,421	,530	,421
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,994	,942	,994

<b>Epiphany mit Ca(OH)<sub>2</sub></b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	3,200	3,300	3,400
	Standardabweichung	2,8983	3,2677	3,2728
Extremste Differenzen	Absolut	,276	,259	,268
	Positiv	,276	,259	,268
	Negativ	-,224	-,241	-,232
Kolmogorov-Smirnov-Z		,873	,820	,848
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,431	,512	,468

<b>Epiphany mit CHX</b>		Lineare Penetration Untersucher 1	Lineare Penetration Untersucher 2	Lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung (a,b)	Mittelwert	3,400	4,200	3,500
	Standardabweichung	2,7968	3,1552	2,8771
Extremste Differenzen	Absolut	,292	,257	,299
	Positiv	,292	,257	,299
	Negativ	-,195	-,155	-,208
Kolmogorov-Smirnov-Z		,922	,813	,945
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,363	,523	,333

## Varianzanalysen Sealer

Sealer = AHPlus

### Einfaktorielle ANOVA<sup>a</sup>

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
linpenUntersucher1	Zwischen den Gruppen	130,200	2	65,100	9,285	,001
	Innerhalb der Gruppen	189,300	27	7,011		
	Gesamt	319,500	29			
linpenUntersucher2	Zwischen den Gruppen	58,067	2	29,033	3,511	,044
	Innerhalb der Gruppen	223,300	27	8,270		
	Gesamt	281,367	29			
linpenUntersucher3	Zwischen den Gruppen	61,667	2	30,833	3,180	,058
	Innerhalb der Gruppen	261,800	27	9,696		
	Gesamt	323,467	29			
Konsens linpen	Zwischen den Gruppen	88,267	2	44,133	6,209	,006
	Innerhalb der Gruppen	191,900	27	7,107		
	Gesamt	280,167	29			

## Sealer = Guttaflow

Einfaktorielle ANOVA<sup>a</sup>

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
linpenUntersucher1	Zwischen den Gruppen	65,867	2	32,933	4,325	,023
	Innerhalb der Gruppen	205,600	27	7,615		
	Gesamt	271,467	29			
linpenUntersucher2	Zwischen den Gruppen	56,467	2	28,233	4,409	,022
	Innerhalb der Gruppen	172,900	27	6,404		
	Gesamt	229,367	29			
linpenUntersucher3	Zwischen den Gruppen	6,867	2	3,433	,681	,515
	Innerhalb der Gruppen	136,100	27	5,041		
	Gesamt	142,967	29			
Konsens linpen	Zwischen den Gruppen	14,600	2	7,300	1,349	,276
	Innerhalb der Gruppen	146,100	27	5,411		
	Gesamt	160,700	29			

## Sealer = Epiphany

Einfaktorielle ANOVA<sup>a</sup>

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
linpenUntersucher1	Zwischen den Gruppen	45,067	2	22,533	4,383	,022
	Innerhalb der Gruppen	138,800	27	5,141		
	Gesamt	183,867	29			
linpenUntersucher2	Zwischen den Gruppen	45,067	2	22,533	3,812	,035
	Innerhalb der Gruppen	159,600	27	5,911		
	Gesamt	204,667	29			
linpenUntersucher3	Zwischen den Gruppen	39,800	2	19,900	3,129	,060
	Innerhalb der Gruppen	171,700	27	6,359		
	Gesamt	211,500	29			
Konsens linpen	Zwischen den Gruppen	45,067	2	22,533	3,812	,035
	Innerhalb der Gruppen	159,600	27	5,911		
	Gesamt	204,667	29			

## Homogene Untergruppen Sealer

### Konsens linpen<sup>a</sup>

Student-Newman-Keuls-Prozedur<sup>b</sup> AH Plus

Med	N	Untergruppe für Alpha = 0.05.	
		1	2
ChX	10	2,700	
ohne	10	4,900	4,900
Ca(OH)2	10		6,900
Signifikanz		,076	,105

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.<sup>a</sup>

a. Sealer = AHPlus

b. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10,000.

### Konsens linpen<sup>a</sup>

Student-Newman-Keuls-Prozedur Gutta Flow

Med	N	Untergruppe für Alpha = 0.05.
		1
ChX	10	2,000
Ca(OH)2	10	3,000
ohne	10	3,700
Signifikanz		,249

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.<sup>a</sup>

a. Sealer = Guttaflow

b. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10,000.

**Konsens linpen<sup>a</sup>**

Student-Newman-Keuls-Prozedur Epiphany

Med	N	Untergruppe für Alpha = 0.05.	
		1	2
ChX	10	1,800	
Ca(OH)2	10	3,400	3,400
ohne	10		4,800
Signifikanz		,153	,209

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.<sup>a</sup>

a. Sealer = Epiphany

b. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10,000.

**Varianzanalysen MED**

Med = ohne

**Einfaktorielle ANOVA<sup>a</sup>**

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
linpenUntersucher1	Zwischen den Gruppen	3,467	2	1,733	,190	,828
	Innerhalb der Gruppen	246,400	27	9,126		
	Gesamt	249,867	29			
linpenUntersucher2	Zwischen den Gruppen	1,800	2	,900	,109	,897
	Innerhalb der Gruppen	222,900	27	8,256		
	Gesamt	224,700	29			
linpenUntersucher3	Zwischen den Gruppen	34,200	2	17,100	2,424	,108
	Innerhalb der Gruppen	190,500	27	7,056		
	Gesamt	224,700	29			
Konsens linpen	Zwischen den Gruppen	8,867	2	4,433		
	Innerhalb der Gruppen	184,600	27	6,837	,648	,531
	Gesamt	193,467	29			

Med = Ca(OH)<sub>2</sub>Einfaktorielle ANOVA<sup>a</sup>

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
linpenUntersucher1	Zwischen den Gruppen	96,267	2	48,133	6,333	,006
	Innerhalb der Gruppen	205,200	27	7,600		
	Gesamt	301,467	29			
linpenUntersucher2	Zwischen den Gruppen	91,467	2	45,733	5,562	,009
	Innerhalb der Gruppen	222,000	27	8,222		
	Gesamt	313,467	29			
linpenUntersucher3	Zwischen den Gruppen	67,400	2	33,700	3,621	,040
	Innerhalb der Gruppen	251,300	27	9,307		
	Gesamt	318,700	29			
Konsens linpen	Zwischen den Gruppen	92,067	2	46,033	5,668	,009
	Innerhalb der Gruppen	219,300	27	8,122		
	Gesamt	311,367	29			

Med = ChX

Einfaktorielle ANOVA<sup>a</sup>

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
linpenUntersucher1	Zwischen den Gruppen	,067	2	,033	,011	,989
	Innerhalb der Gruppen	82,100	27	3,041		
	Gesamt	82,167	29			
linpenUntersucher2	Zwischen den Gruppen	18,600	2	9,300	2,264	,123
	Innerhalb der Gruppen	110,900	27	4,107		
	Gesamt	129,500	29			
linpenUntersucher3	Zwischen den Gruppen	5,000	2	2,500	,528	,596
	Innerhalb der Gruppen	127,800	27	4,733		
	Gesamt	132,800	29			
Konsens linpen	Zwischen den Gruppen	4,467	2	2,233	,644	,533
	Innerhalb der Gruppen	93,700	27	3,470		
	Gesamt	98,167	29			

## Homogene Untergruppen Med

### Konsens linpen<sup>a</sup>

Student-Newman-Keuls-Prozedur MED=ohne

Sealer	N	Untergruppe für Alpha = 0.05.	
		1	
Guttaflow	10	3,700	
Epiphany	10	4,800	
AHPlus	10	4,900	
Signifikanz			,567

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.<sup>a</sup>

a. Med = ohne

b. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10,000.

### Konsens linpen<sup>a</sup>

Student-Newman-Keuls-Prozedur MED Ca(OH)<sub>2</sub>

Sealer	N	Untergruppe für Alpha = 0.05.	
		1	2
Guttaflow	10	3,000	
Epiphany	10	3,400	
AHPlus	10		6,900
Signifikanz		,756	1,000

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.<sup>a</sup>

a. Med = Ca(OH)<sub>2</sub>

b. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10,000.

**Konsens linpen<sup>a</sup>**

Student-Newman-Keuls-Prozedur Med ChX

Sealer	N	Untergruppe für Alpha = 0.05.
		1
Epiphany	10	1,800
Guttaflow	10	2,000
AHPlus	10	2,700
Signifikanz		,534

Die Mittelwerte für die in homogenen Untergruppen befindlichen Gruppen werden angezeigt.<sup>a</sup>

a. Med = ChX

b. Verwendet ein harmonisches Mittel für Stichprobengröße = 10,000.

## Verzeichnis der akademischen Lehrer

Dr. K. W. Becker (Medizinischen Terminologie, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. T. Bernatik (Innere Medizin, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. H. U. Beuscher (Mikrobiologie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. R. Frankenberger (Kinderzahnheilkunde, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. J. Göhl (Allgemeine Chirurgie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. A. Hartmann (Pathologie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. U. Hirschfelder (Kieferorthopädie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
PD Dr. J. Hornung (Hals-, Nasen-, Ohrenkunde, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. J. Hüttermann (Physik, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. E.-W. Kienecker (Anatomie, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. E.-W. Kienecker (Mikroskopische Anatomie, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. M. Montenarh (Biochemie, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. E. Morgenstern (Biologie, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. Dr. F. W. Neukam (MKG-Chirurgie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Dr. H. Parsch (Klinische Chemie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. M. Pelka (Parodontologie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. A. Petschelt (Zahnerhaltungskunde, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. P. Pospiech (Zahnärztliche Propädeutik, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. H.-P. Richter (Physiologie, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. H. Schell (Dermatologie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. Dr. K. A. Schlegel (Zahnärztliche Chirurgie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
PD Dr. I. Schneider (Unfallchirurgie, FAU Erlangen-Nürnberg)  
Prof. Dr. G. Wenz (Chemie, Universität des Saarlandes)  
Prof. Dr. M. Wichmann (Zahnersatzkunde, FAU Erlangen-Nürnberg)  
PD Dr. O. Zolk (Pharmakologie, FAU Erlangen-Nürnberg)

## Danksagung

Bei Prof. Dr. A. Petschelt möchte ich mich für die Möglichkeit bedanken, meine Dissertationsarbeit an der Zahnklinik 1 der Friedrich-Alexander- Universität Erlangen/Nürnberg durchführen zu können und hierbei alle dafür benötigten Geräte und Räumlichkeiten nutzen zu können.

Besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Prof. Dr. R. Frankenberger für die freundliche Bereitstellung dieses Themas und die Unterstützung schon während des Studiums. Seine Anregungen, Hilfestellungen und umgehenden Antworten auf meine Fragen trugen maßgeblich zum Gelingen meiner Dissertation bei.

Ohne die hervorragende und kompetente Betreuung von Oberarzt Dr. M. Roggendorf und Oberarzt Dr. J. Ebert wäre das Weiterkommen während dieser Arbeit ungleich schwieriger gewesen. Die Unterstützung beim Erstellen und Auswerten der Statistiken war eine besonders große Hilfe. Auch für die mehrfache Durchsicht des Manuskriptes danke ich beiden vielmals.

An dieser Stelle möchte ich mich nochmals bei meinen Eltern bedanken, die mich nicht nur während des Studiums unterstützen, sondern mir auch heute noch mit Rat und Tat beiseite stehen!