

Aus der Zahnklinik 1 – Zahnerhaltung und Parodontologie  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Direktor: Prof. Dr. A. Petschelt

---

**Dichtigkeitsuntersuchung von Wurzelkanalfüllungen nach  
verschiedenen medikamentösen Einlagen**

Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung der Doktorwürde  
der Medizinischen Fakultät  
der Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt von  
Oliver Gerstbrein  
aus Erlangen



**Gedruckt mit Erlaubnis der  
Medizinischen Fakultät der Friedrich-Alexander-Universität  
Erlangen-Nürnberg**

<b>Dekan:</b>	Prof. Dr. J. Schüttler
<b>Referent:</b>	Prof. Dr. R. Frankenberger
<b>Korreferent:</b>	Prof. Dr. A. Petschelt
<b>Tag der mündlichen Prüfung:</b>	16. Juni 2010

## Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung .....	1
1	Summary .....	3
2	Einleitung.....	5
3	Literaturübersicht .....	6
3.1.	Wurzelkanalaufbereitung .....	6
3.2.	Instrumentelle Wurzelkanalaufbereitung.....	6
3.3.	FlexMaster- System.....	11
3.4.	Wurzelkanalspülung .....	13
3.5.	Medikamentöse Einlagen .....	14
3.6.	Wurzelkanalfüllung .....	18
3.7.	Wurzelfüllmaterialien .....	18
3.8.	Wurzelkanalfülltechniken .....	20
4	Material und Methode .....	22
4.1.	Untersuchte Materialien.....	22
4.2.	Auswahl und Vorbereitung der Probenzähne .....	25
4.3.	Medikamentöse Einlagen .....	25
4.4.	Wurzelkanalfüllung .....	25
4.5.	Farbstoffpenetrationstest.....	26
4.6.	Probenherstellung und Auswertung.....	27
4.7.	Bestimmung der Penetrationsfläche.....	29
4.8.	Statistische Auswertung .....	29
5	Ergebnisse.....	30
5.1.	Lineare Penetrationstiefe.....	30
6	Diskussion .....	33
6.1.	Methodik.....	33
6.2.	Beurteilung der Ergebnisse .....	37
6.3.	Ausblick .....	40
7	Literaturverzeichnis.....	42
8	Anhang .....	51
8.1.	Materialien .....	51
8.2.	Statistik.....	53

# 1 Zusammenfassung

## 1.1. Hintergrund und Ziele

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von zwei verschiedenen medikamentösen Einlagen auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen zu untersuchen. Dabei wurden die Sealer Tubli-Seal EWT und Apexit Plus sowie RelyX Unicem als experimenteller Sealer miteinander verglichen.

## 1.2. Methode

Die In-vitro-Studie umfasste 90 einwurzelige, nicht endodontisch vorbehandelte menschliche Zähne mit vollständig abgeschlossenem Wurzelwachstum. Nach der Trepanation wurden die Wurzelkanäle maschinell mittels FlexMaster-Instrumenten auf eine Größe von #45 aufbereitet. Die abschließende Spülsequenz bestand aus einer Wechselspülung mit je 2ml Zitronensäure 40%, Natriumhypochlorit 3%, und Alkohol 70%.

Nach Trocknung der Wurzelkanäle mittels Papierspitzen wurden die medikamentösen Einlagen eingebracht. Anschließend wurden die Kanäle mit einem Schaumstoffpellet und Cavit W verschlossen und für 7 Tage bei 37°C in einer feuchten Kammer gelagert. Nach Entfernung der medikamentösen Einlage wurden die Kanäle erneut mit derselben Spülsequenz gespült. Die getrockneten Wurzelkanäle wurden abschließend mit dem jeweiligen Sealer und Guttaperchastift #45 taper .04 in der Single-cone-Technik abgefüllt, mit Ketac Cem verschlossen und wieder für 7 Tage bei 37°C in einer feuchten Kammer (95% Luftfeuchtigkeit) gelagert.

Die Zähne wurden mit zwei Schichten Nagellack isoliert und apikal durch ein Diamantschleifblatt angeschliffen. Anschließend wurden die Zähne in einer einheitlichen Menge Methylenblau für 3 Minuten bei 400 U/min zentrifugiert. Die Testgruppen von jeweils zehn Zähnen wurden mit Heliobond auf einer Glasplatte fixiert und in Kunstharz eingebettet. Die Blöcke wurden horizontal geschnitten (Abstand 1mm) und die lineare Penetrationstiefe unter dem Lichtmikroskop ausgewertet.

### **1.3. Ergebnisse und Beobachtungen**

Die Ergebnisse der linearen Penetrationstiefe zeigten im Vergleich der medikamentösen Einlagen untereinander keine signifikanten Unterschiede. Innerhalb der Gruppe untersuchter Sealer konnten im ANOVA-Test ( $p < 0,05$ ) signifikante Unterschiede auf das Abdichtungsverhalten nachgewiesen werden. Auch bei der Kombination von medikamentöser Einlage und Sealer war ein signifikanter Einfluss festzustellen. Von den in dieser Arbeit verwendeten Sealern schnitt Tubli-Seal EWT mit Penetrationstiefen von 7,00 mm (ohne Medikament), 7,49 mm (mit Chlorhexidin) und 9,00 mm (mit Kalziumhydroxid) am schlechtesten ab. Wohingegen RelyX Unicem mit Werten von 3,70 mm (ohne Medikament), 5,20 mm (mit Chlorhexidin), 1,26 mm (mit Kalziumhydroxid) und Apexit Plus mit Werten von 5,20 (ohne Medikament), 3,63 mm (mit Chlorhexidin), 1,70 (mit Kalziumhydroxid) ähnliche Ergebnisse erzielen konnten.

### **1.4. Praktische Schlussfolgerung**

Aus den Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass die verwendete medikamentöse Einlage durchaus Einfluss auf das Abdichtungsverhalten verschiedener Sealer nehmen kann. So lässt sich sagen, dass der Weg der Weiterentwicklung in Richtung der Adhäsivtechnik begründet ist. Da RelyX Unicem als Vertreter der kunststoffbasierten Wurzelkanalfüllmaterialien im Vergleich zu den anderen Materialien bessere Ergebnisse erzielen konnte.

# 1 Summary

## 1.1. Aim

The aim of this study was to investigate the influence of two different intracanal medications on the apical seal of root canal fillings. The endodontic sealers Tubli-Seal EWT and Apexit Plus as well as RelyX Unicem experimentally used as sealer were compared.

## 1.2. Materials and Methods

90 extracted mature teeth with one root canal and no endodontic treatment were collected. After access preparation the teeth were chemo-mechanically prepared to size .04#45 using FlexMaster instruments. After drying the roots with paper points the intracanal medication was inserted. Roots were then covered with foam pellets and Cavit W. They were stored in a wet chamber with 95% humidity at 37°C for 7 days. After removing the intracanal medication the roots were irrigated with citric acid, sodium hypochlorite and alcohol. The dried roots were obturated with gutta-percha points #45 using lateral condensation technique and stored again in the wet chamber at 37°C for 7 days. The teeth were isolated with nail polish and apically grinded with a diamond sanding disc. Afterwards the teeth were centrifuged 3 min at 400 rpm in methylene blue dye. Testgroups consisting of ten sealers were bonded to a glass plate and incorporated into resin. The resin blocks were horizontally cut in steps of 1 mm slices and linear dye penetration was evaluated using a light optical microscope.

### **1.3. Results**

Comparing the intracanal medications among each other dye penetration showed no significant differences. Within the group of investigated sealers significant differences concerning the leak tightness were proved. Reckoning the combination of intracanal medication and sealer a significant influence was detected. Tubli-Seal EWT revealed worst with values from 7.00 mm (without medication), 7.49 mm (with chlorhexidine) and 9.00 mm (with calcium hydroxide) whereas RelyX Unicem with values from 3.70 mm (without medication), 5.20 mm (with chlorhexidine) and 1.26 mm (with calcium hydroxide) and Apexit Plus with 5.20 mm (without medication), 3.63 mm (with chlorhexidine) and 1.70 mm (with calcium hydroxide) achieved similar results.

### **1.4. Conclusion**

Reasoning the results, intracanal medication is able to exert influence on the leak tightness of different sealers. A trend towards adhesive techniques can be observed. Because RelyX Unicem as a representative of composite based sealers achieved the best results compared to the other sealers.

## 2 Einleitung

Die Wurzelkanalbehandlung ist eine oft angewandte Therapie, um den langfristigen Erhalt von entzündeten Zähnen zu gewährleisten. Ziel dabei ist es, das vitale oder nekrotische Pulpagewebe zu entfernen und Mikroorganismen größtenteils zu eliminieren. Dies wird durch eine chemo-mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals unter Anwendung von Spüllösungen erreicht. Zusätzlich kann es auch indiziert sein, die Wurzelkanalbehandlung durch eine intrakanaläre medikamentöse Einlage zu unterstützen [65].

Bakterien spielen bei Entzündungen der Pulpa und des periapikalen Gewebes eine große Rolle. Sie können sich im Wurzelkanal aber auch in Dentintubuli, Seitenkanälen und Ramifikationen ansiedeln. Besonders an den zuletzt genannten Orten ist eine rein mechanische Reinigung der Kanäle nicht ausreichend. Um auch diese Bereiche zu erreichen, kann das Einbringen von antimikrobiellen Medikamenten angezeigt sein [9,35].

Hier stehen dem Behandler verschiedene Möglichkeiten zur Verfügung, das entsprechende Medikament in den Kanal einzufüllen. Den Standard stellen dabei die Medikamente in Pastenform dar. Diese werden meist mit Papierspitzen in den Kanal eingebracht. Bei der Entfernung kann es allerdings dazu kommen, dass Reste des Medikaments im Kanal zurückbleiben und einen negativen Einfluss auf die Randdichtigkeit des Sealers haben [42]. So kam Mitte der neunziger Jahre eine Neuentwicklung auf den Markt. Dabei handelt es sich um Guttaperchaspitzen mit Chlorhexidin bzw. Kalziumhydroxid, die in Ihrer Anwendung ohne zusätzliche Pasten in den Kanal eingebracht werden. Man versprach sich einen geringeren Zeitaufwand, sowie einen Vorteil in der Entfernbarekeit. Hier gilt es zu klären, inwieweit sie Einfluss auf das Abdichtungsverhalten von Sealern haben.

## **3 Literaturübersicht**

### **3.1. Wurzelkanalaufbereitung**

Den entscheidenden Faktor einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung stellt das Reinigen und Ausformen des Wurzelkanals dar. Hierbei gilt es, den Wurzelkanal unter Beibehaltung des ursprünglichen Kanalverlaufs von vitalen sowie nekrotischen Pulpagewebe zu befreien und Mikroorganismen zu eliminieren [63]. Die chemo-mechanische Aufbereitung, eine Kombination von instrumentellen und chemischen Aufbereitungsmethoden, bietet die Möglichkeit, diese Aufgaben zu erfüllen [9].

### **3.2. Instrumentelle Wurzelkanalaufbereitung**

Die instrumentelle Wurzelkanalaufbereitung kann mit zwei Methoden erfolgen. Zum einen in klassischer Weise mittels manueller Aufbereitung per Handinstrumenten, zum anderen maschinell durch permanent rotierende Nickel -Titan-Instrumente.

Die manuelle Bearbeitung des Wurzelkanals mit Feilen und Reamern stellt die Standardmethode der universitären Ausbildung dar und wird von den meisten Zahnärzten angewendet. Dabei gilt es mit den Feilen infiziertes Material aus dem Kanal zu entfernen und den Kanal mittels Reamern so zu formen, dass der Kanal bakteriendicht verschlossen werden kann [69]. Es gibt im wesentlichen drei Grundtypen, die Hedstroem-Feile (H-Feilen, Feilen Typ H), den K-Reamer (KBohrer, Räumer, Reibahlen Typ K) und die K-Feile (Feilen Typ K) Abb 1.

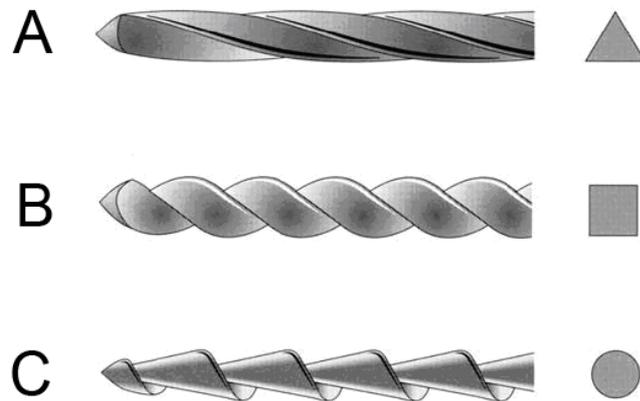


Abb. 1: Grundformen des endodontischen Instrumentariums mit umlaufenden Schneiden  
K-Reamer (A), K-Feile (B), Hedström-Feile (C)  
(Hellwig et al. 1999)

K-Reamer aus Stahl werden aus einem im Querschnitt dreieckigen oder quadratischen, nach vorne zulaufend konischen Rohling durch Verdrillen oder Fräsung hergestellt und weisen einen Schneidekantenwinkel von 10-30° und 8 bis 16 Schneiden. Sie finden ihre Anwendung in einer rotierenden Arbeitsweise, somit erfolgt der Schneidprozess durch Einschrauben nach apikal in den Kanal. Dabei wird je nach Differenz der Durchmesser von Wurzelkanal und Wurzelkanalinstrument, mehr oder weniger Dentin abgetragen. Maßgebend ist die Auswahl des richtigen Drehmoments und dies kann nur im Laufe der praktischen Tätigkeit entwickelt werden [76]. Sie eignen sich sehr gut dazu, den Wurzelkanal zu erschließen und gelten als sehr frakturbeständig [66].

K-Feilen sind ebenfalls aus einem dreieckigen oder quadratischen Rohling durch Verdrillung oder Fräsung hergestellte Instrumente, mit einem Schneidekantenwinkel von 25-40° und 24 bis 36 Schneiden. Sie sind im Vergleich zu K-Reamern deutlich enger verwunden und weisen dadurch eine höhere Anzahl an Schneiden auf. Dies ermöglicht Ihnen, sowohl in einer drehenden als auch in einer feilenden Bewegung benutzt zu werden.

Hedström-Feilen sind aus einem runden Rohling durch Fräsung hergestellte Instrumente mit einer umlaufenden Schneidekante, mit einem Schneidekantenwinkel von 60-65° und 14 bis 31 Schneiden. Dabei werden die Abstände und Tiefen der Schneiden in Richtung Instrumentenspitze kleiner. Sie weisen im Vergleich zu K-reamern und K-Feilen die höchste Schneidleistung auf. H-Feilen werden am effektivsten in einer reinen Zugsbewegung eingesetzt und werden für den lateralen Materialabtrag verwendet.

Eine Modifikation der H-Feilen stellen die Safety Hedström Files dar. Sie sind bezüglich des Herstellungsverfahrens, des Materials und des Schneidwinkels identisch mit den klassischen Hedström Feilen. Der Unterschied besteht in der vom Schaft bis zur Instrumentenspitze einseitig abgeflachten Schneidekante, die während der Aufbereitung der Innenkurvatur des Wurzelkanals zugewandt werden soll. Damit soll ein unerwünschter Materialabtrag in den kritischen Bereichen gekrümmter Kanäle verhindert oder minimiert werden. Mittlerweile werden Hedström-Feilen auch als Nickel-Titan-Legierung angeboten.

Die Aufbereitung und Formgebung des Wurzelkanals mit Handinstrumenten ist mühsam und zeitaufwendig. Daher bevorzugen viele Behandler maschinelle Aufbereitungsmethoden, da mit Ihrer Hilfe die Kanäle schneller und leichter aufbereitet werden können. Man unterscheidet nach Art des Antriebssystems und den Eigenschaften der angewandten Instrumente.

### 1. Generation

Winkelstück	Hersteller	Funktionsweise
Racer	Cardex	Hubbewegung
Giromatic	MicroMega	reziproke Rotation (90°)
Endo-Gripper	Moyco	reziproke Rotation (90°)
Endolift	Kerr	Hubbewegung + rez. Rotation (90°)
Endolift M 4	Kerr	reziproke Rotation (90°)
Endocursor	W & H	Rotation (360°)
Intra- Endo 3 LD	KaVo	reziproke Rotation (90°)
Dynatrak	Dentsply	reziproke Rotation (90°)

Tab. 1: Maschinelle Aufbereitungssysteme mit starrem Bewegungsablauf [31]

Eine neuere Entwicklung sind Aufbereitungshilfen mit flexiblem Bewegungsablauf. Diese Systeme verfügen neben der rotierenden Bewegung auch über eine Hub-/Zugbewegung bzw. lateralen Schwingung. Aber auch diese Aufbereitungssysteme werden in der Literatur kritisch bewertet (f,g)

## 2. Generation

Winkelstück	Hersteller	Funktionsweise
Excalibur	W & H	aleatorische (seitliche) Schwingungen (ca. 2000 Hz, 1,4-2 mm Amplitude)
Endoplaner	Microna	Schabbewegung auf Zug + freie Rotation
Canal-Finder-System	S.E.T.	Hubbewegung (0,3-1mm) + freie Rotation bei Friktion
Canal Leader 2000	S.E.T.	Hubbewegung (0,4-0,8mm) + Rotation (20-30°)
Intra-Endo 3-LDSY	KaVo	Hubbewegung + freie Rotation bei axialer Belastung
IMD 9GX	HiTech	360°-Rotation variable, torqueabhängige Umdrehungszahl (min. 10/min)
Endoflash	KaVo	drehmomentbegrenzte Rotation mit Hubbewegung

Tab. 2: Maschinelle Aufbereitungssysteme mit flexiblem Bewegungsablauf [31]

Daneben finden sich auch Schall- und Ultraschall-Systeme. Die momentan erhältlichen Systeme beruhen auf Basis der Magnetostriktion oder mit piezoelektrischen Effekten. Bei der Magnetostriktion wird elektromagnetische Energie in mechanische Energie umgewandelt. In piezoelektrischen Systemen werden mechanische Schwingungen durch Kristalle erzeugt, die Ihre Dimension in einem elektrischen Feld ändern. Die Schwingungsenergie wird dabei in Längsrichtung auf das Aufbereitungsinstrument übertragen.

### 3. Generation

<b>Winkelstück</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Funktionsweise</b>
Sonic Air 3000	MicroMega	Schallvibration
Endostar 5	Medidenta	Schallvibration (6000 Hz)
Mecasonic	MicroMega	Schallvibration
MM 1400 Sonic Air	MicroMega	Schallvibration
Yoshida Rooty	Hager & Werken	Schallvibration (6000 Hz)
MM 1500 Sonic Air	MicroMega	Schallvibration (1 500 000 Hz)

Tab. 3: Schallvibrationssysteme [31]

<b>Winkelstücke</b>	<b>Hersteller</b>	<b>Funtionsweise</b>
Cavi-Endo	DeTrey	Ultraschall-Lamellen-System 25 000 Hz
Piezon Master-400	EMS	Ultraschall-Piezokeramik 25 000 Hz
ENAC OE 3 JD	Osada	Ultraschall-Piezokeramik 30 000 Hz
Piezotec, P.U 2000	Satelec	Ultraschall-Piezokeramik 27 500 Hz
Odontoson	Goof	Ultraschall-Ferritstab 42 000 Hz
Spacesonic 2000	Morita	k.A.
Amdent US 30	Loser	Ultraschall-Piezokeramik 24 000-28 000 Hz

Tab. 4: Ultraschallsysteme [31]

Ab Mitte der 90er Jahre des letzten Jahrhunderts wurden vollrotierende Aufbereitungssysteme aus Nickel-Titan (NiTi) zur Wurzelkanalbehandlung eingeführt. Nickel-Titan-Legierungen bestehen aus ca. 55-Gewichtsprozent Nickel und 45-Gewichtsprozent Titan. Dadurch erhöht sich die Flexibilität um das Dreifache im Vergleich zu einem konventionellen Stahlinstrument. Ein gebogenes Instrument kann bei normaler Anwendung nicht irreversibel verformt werden und richtet sich, sobald es nicht mehr unter Spannung steht, wieder in seine Ursprungsform zurück. Das Einnehmen der Ausgangsposition wird auch als „memory effect“ bezeichnet, beinhaltet allerdings auch, dass das Instrument nicht vorgebogen werden kann. Des

Weiteren ist die Schneidleistung von NiTi-Instrumenten geringer als die von Edelstahl-Instrumenten.

#### 4. Generation

Winkelstück	Hersteller	Funktionsweise
Lightspeed	Max-Dental	Rotation (360°)
Canal Master U	Brasseler	Rotation (360°)
Flexogate	Maillefer	Rotation (360°)
ProFile .04/.06	Maillefer	Rotation (360°), 4-6% Konizität
Mity-Roto-Files	Looser	Rotation (360°), 2% Konizität
Quantec	Tycom	Rotation (360°), 2-6% Konizität
Hero 642	MicroMega	Rotation (360°), 2-6% Konizität
Tri-Auto ZX	Morita	Rotation (360°) + Autoreverse-Mechanismus und integrierter Längenkontrolle
GT Rotary Files	Maillefer	Rotation (360°), 4-12% Konizität
FlexMaster	VDW	Rotation (360°), 2-6% Konizität

Tab. 5: Nickel-Titan- Systeme [31]

### 3.3. FlexMaster- System

Das FlexMaster-System besteht aus jeweils sechs Instrumentengrößen (Gr. 20-45) und drei Konizitäten (Taper .02, .04, .06). Flex-Master-Instrumente besitzen einen konvexen Dreikant-Querschnitt mit schneidenden Kanten. Das Instrumentendesign soll die Schneidleistung der Feilen erhöhen. Allerdings ist es aufgrund der Schneidekantenform möglich, dass sich die Instrumente in den Kanal hineinschrauben [23].

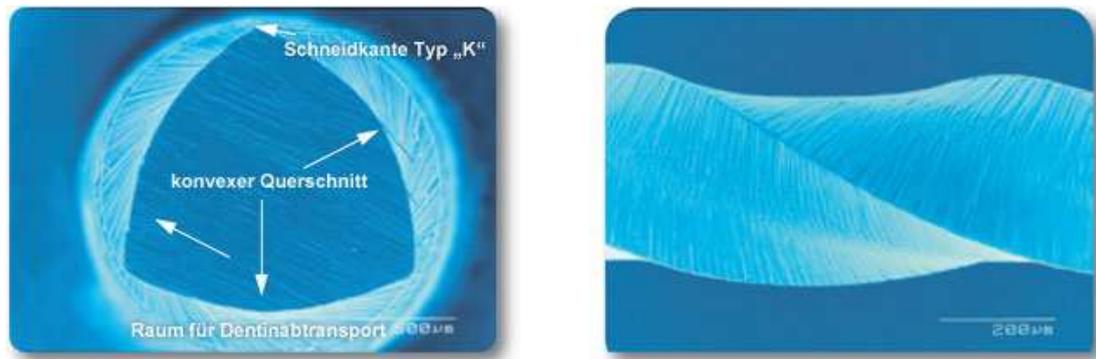


Abb. 2: FlexMaster Instrumente unter dem Mikroskop [34]

Die Wurzelkanäle werden mittels der Crown-down-Technik aufbereitet, dabei wird zunächst der koronale Kanalabschnitt mit dicken Instrumenten aufbereitet. Anschließend werden dünnere Instrumente tiefer in den Kanal eingeführt. Der apikale Kanalabschnitt wird mit Instrumenten mit Taper .02 in aufsteigender Größe aufbereitet, kann aber auch mit anderen Konizitäten weiter vergrößert werden. Dem Behandler stehen je nach Wurzelkanalanatomie (eng, mittel, weit) unterschiedliche Aufbereitungssequenzen zur Verfügung, welche der Geometrie des jeweiligen Wurzelkanals Rechnung tragen. Die Instrumente werden im Winkelstück eingesetzt und unter leichtem Druck mit einer empfohlenen Drehzahl zwischen 150 und 300 U/min benutzt. Der Einsatz von Drehmoment-begrenzten Winkelstücken ist indiziert und bietet vor allem in gekrümmten Kanälen eine Alternative zu konventionellen Winkelstücken [64].

Die maschinelle Aufbereitung bietet dem Behandler den Vorteil der Zeitersparnis, da im Vergleich zur manuellen Aufbereitung, mit wenigen Instrumenten schneller aufbereitet werden kann [23]. Der Kanal kann gleichmäßig konisch mit rundem Wurzelkanalquerschnitt aufbereitet werden, wodurch die Obturation erleichtert wird.

### 3.4. Wurzelkanalspülung

Die Wurzelkanalspülung stellt einen wichtigen Pfeiler in der chemo-mechanischen Reinigung der Wurzelkanäle dar. Dabei werden verschiedene Ziele verfolgt:

- ▶ Reduktion der Keime und bakteriellen Toxine im Wurzelkanalsystem
- ▶ Auflösung und Entfernung von Resten des Pulpagewebes
- ▶ Unterstützung der mechanischen Aufbereitung und Abtransport von Dentinspänen

Um Anwendung zu finden, sollen sie eine ausreichende Desinfektionswirkung besitzen, biologisch verträglich sein, das Gewebe auflösen und einfach zu applizieren sein [2].

#### **Natriumhypochlorit**

Seit Jahren hat sich Natriumhypochlorit in Konzentrationen von 0,5 – 5% als Spüllösung der ersten Wahl etabliert [23].

Die Lösung wirkt stark oxidierend bei einem pH-Wert von 12-13 und weist eine sehr gute antimikrobielle Wirkung gegenüber der Mehrzahl der endodontisch wirksamen Keime auf. Des Weiteren besitzt es die Fähigkeit, sowohl nekrotisches als auch vitales Gewebe aufzulösen [2].

Dabei ist die Effektivität von NaOCl abhängig von Temperatur, Konzentration, Applikationsmenge und Wirkdauer [12,25]. Es ist anzumerken, dass es einen negativen Effekt auf die Haftkraft adhäsiver Wurzelkanalsealer haben kann [53]. Die Spüllösung ist allerdings allein nicht im Stande, die Schmierschicht aufzulösen oder zu entfernen [57,79]

## **Zitronensäure**

Zitronensäure hingegen ist in der Lage, die Schmierschicht zu entfernen. [2,14,41,77]. Die zu den organischen Tricarbonsäuren zählende Säure, besitzt eine antimikrobielle Wirkung und wird oft zusammen mit NaOCl als Wechselfspülung eingesetzt. Beim Zusammentreffen beider Spüllösungen wird bakterizides Chlorgas frei und der niedrige pH-Wert der Zitronensäure wird neutralisiert. So kann der Gefahr einer durch Überätzen bedingten Traumatisierung wirksam entgegengewirkt werden [15]. Um die Schmierschicht effektiv zu entfernen, wird eine Konzentration von (5-10%) angegeben [26], da bei einer Konzentration über 30% auch Teile des peritubulären Dentins angegriffen werden [2].

## **Alkohol**

Alkohol besitzt nur eine mäßige antimikrobielle Wirkung wird aber trotzdem als Abschlussspülung empfohlen [2]. Der Grund des Einsetzens im Rahmen der Wurzelkanalspülung liegt in der Tatsache, dass durch dessen Verdunstung dem Wurzelkanal Restfeuchtigkeit entzogen wird und somit die Trocknung des Wurzelkanaldentins beschleunigt wird [57]. Es konnte nachgewiesen werden, dass durch Anwendung einer Spülung mit Ethanol die Sealerpenetration in die Dentintubuli verbessert wird und abhängig vom Sealertyp Mikro-Undichtigkeiten reduziert werden [75,60].

### **3.5. Medikamentöse Einlagen**

Da bei der mechanischen Aufbereitung selbst mit unterstützendem Einsatz von Desinfektionslösungen keine absolute Keimfreiheit erreicht werden kann, ist es naheliegend, dies durch eine intermediäre desinfizierende Einlage mit längerer Expositionszeit zu erreichen. Auch bei diesen medikamentösen Zwischeneinlagen gibt es, wie bei den Spüllösungen, eine Vielfalt zur Verfügung stehender Substanzen.

## **Kalziumhydroxid**

Kalziumhydroxid ist ein geruchloses weißes Pulver, welches bei Zugabe von Wasser eine Suspension bildet. Seine antibakterielle Wirksamkeit lässt sich auf sein stark alkalisches Potential (pH = 12) zurückführen.

In wässrigen Lösungen bildet es, aufgrund der Dissoziation von Kalziumhydroxid zu Kalzium- und Hydroxylionen, einen pH-Wert von 12,4 aus. In diesem stark alkalischen Milieu ist eine Mehrzahl der endopathogenen Mikroorganismen nicht mehr im Stande zu überleben [28]. Seine antimikrobielle Wirksamkeit wird allerdings nur dann erreicht, wenn intrakanalär eine ausreichend hohe Konzentration von Hydroxylionen und dadurch ein ausreichend hoher pH-Wert erreicht werden kann. Sollte dies nicht erreicht werden, kann das zu einem verminderten antimikrobiellen Effekt führen [72, 73, 82].

Über die Dauer der medikamentösen Einlage herrschte lange Uneinigkeit. So wurde zu Beginn eine Keimfreiheit von 90% nach dreimonatiger Anwendung nachgewiesen und entsprechend empfohlen [13]. Während nach dem Zeitraum einer vierwöchigen Einlage in Kombination mit einer chemo-mechanischen Aufbereitung keine Keime mehr nachgewiesen werden konnten [10], wurde später auch eine einwöchige Einlage als ausreichend beurteilt, um alle untersuchten Wurzelkanäle von Keimen zu befreien [74]. So scheint es, dass eine siebentägige Medikation ausreichend ist, um für weitestgehende Keimfreiheit zu sorgen. Dagegen wurde aber auch die Einschränkung in der Effektivität nachgewiesen, dennoch sollte dies keine Abwertung bezüglich der Anwendung bedeuten [62].

Im Bezug auf die apikale Randdichtigkeit konnte gezeigt werden, dass sich die Anwendung von Kalziumhydroxid negativ auf den Randschluss der definitiven Wurzelkanalfüllungsmaterialien auswirkt [11, 42]

## **Kalziumhydroxid-Stifte**

Um den Behandlungsablauf beim Einbringen und Entfernen der medikamentösen Einlage zu beschleunigen, wurden 1996 von der Firma

Roeko Guttaperchaspitzen mit Kalziumhydroxid auf den Markt gebracht. Diese „Roeko Calcium Hydroxide PLUS Points“ enthalten: 50-51%  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , 40-45% Guttapercha, 4-10%  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{BaSO}_4$ , Wachse und Öle.

Die Guttaperchaspitzen zeigten bei In-vitro Studien in 1% NaCl-Lösung und aqua dest. einen messbaren pH-Anstieg auf 9,5 – 13 innerhalb 30 s – 2 h [45,16,18,49]. Des Weiteren zeigten sie in biologischen Flüssigkeiten (Speichel, Rinderserum, pH-4-Pufferlösung) lediglich einen Anstieg auf 8,5, 8,0 und 6,0. Im Gegensatz dazu konnte  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – Paste den pH-Wert, noch vor Ablauf einer Stunde, auf über 11 anheben [45]. Im Jahre 2000 wurde der  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – Anteil auf ca. 58 Gewichtsprozent angehoben (Calciumhydroxid PLUS Spitzen), konnte allerdings keine deutliche Verbesserung im Bezug auf eine  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – Suspension erzielen [31]. Die Wirksamkeit der beiden  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – Stiftgenerationen gegenüber *Enterococcus faecalis* wurde in vitro als nicht ausreichend bewertet. So schlussfolgerten die Autoren, dass die Stifte in vivo als nicht wirksam angesehen werden müssen [17].

### **Chlorhexidin**

CHX wurde 1954 als Wundantiseptikum in den Handel eingeführt. Aufgrund seiner antimikrobiellen Wirkung fand es in der zahnärztlichen Behandlung als kariespräventives Mittel Anwendung [19]. CHX besitzt ein großes Wirkungsspektrum auf gram-positive, gram-negative Keime, Pilze und Viren. [80, 20, 68].

CHX wirkt in Konzentrationen von ca. 100ppm bakterizid und besitzt selbst bei Konzentrationen von ca. 0,19ppm noch bakteriostatische Eigenschaften [30]. Durch die Anlagerung an anionische Bestandteile der bakteriellen Zellwand kommt es zu einer gewissen Depotbildung. Einmal adsorbiert erfolgt eine lange bakteriostatische Wirkung, begründet durch eine langsame Freisetzung von der Oberfläche [54].

Mehrere Studien wiesen dem CHX einen Residualeffekt nach, also die Eigenschaft, auch nach dem Applikationszeitpunkt noch wirksam zu sein [61, 56]. So konnte eine Wiederbesiedlung durch *Enterococcus faecalis* nach einwöchiger Applikation von 0,2%igem CHX [44] und 2%igem CHX [46] über

einen Zeitraum von 3 Wochen verhindert werden. Im Vergleich mit Kalziumhydroxid erwies CHX, in vitro, eine signifikant erhöhte Wirksamkeit gegen *E. faecalis* [5, 22]. Sowohl Arbeiten an bovinen Zähnen [46] als auch an menschlichen Zahnpräparaten [4] belegten einem 2,0%igen CHX-Gel (gebraucht als einwöchigen Einlage mit anschließender 21-tägiger Inokulation durch *E. faecalis*) bessere Desinfektionseigenschaften als einer Kalziumhydroxid-Suspension.

Auf Grund der mangelhaften Eigenschaft Gewebe aufzulösen und der geringen Wirksamkeit gegenüber bakteriellen Endotoxinen, kann es alleine das Kalziumhydroxid nicht ersetzen.

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

Darunter versteht man Guttaperchspitzen, die aus der Matrix Chlorhexidindiacetat freisetzen. 1999 brachte die Firma Roeko diese Guttaperchaspitzen unter dem Handelsnamen „activ point“ auf den Markt. Sie bestehen aus ca. 5% Chlorhexidindiacetat, ca. 30% Guttapercha, ca. 65% ZnO, ca. 1% BaSO<sub>4</sub> und Farbpigmenten. Laut Herstellerangaben wird das CHX durch die nach dem Trocknen aus den Dentitubuli einfließende Flüssigkeit freigesetzt und sorgt dadurch für eine ausreichende Wirksamkeit [32].

Nach einwöchiger Einlage mit CHX-GPS konnten in einer Studie am Rinderzahnmodell kein *Enterococcus faecalis* mehr nachgewiesen werden. Daneben wurde auch eine starke Penetrationsfähigkeit in die Dentintubuli sowie eine starke antimikrobielle Wirkung beobachtet [48]. Im direkten Vergleich sind CHX-GPS im Gegensatz zu 5%igen CHX-Gel und Kalziumhydroxidpaste nicht in der Lage, einen Wurzelkanal zuverlässig von Mikroorganismen zu befreien [3]. Bei einer Studie über die antimikrobielle Wirksamkeit verschiedener „aktiver“ Guttapercha-Points gegenüber *Enterococcus faecalis*, konnten die „active points“ alle Keime innerhalb 5h eliminieren. Wohingegen „calcium hydroxide“- und „calcium hydroxid plus“-Points auch im direktem Kontakt nicht fähig waren *E. faecalis* ausreichend abzutöten [17].

### **3.6. Wurzelkanalfüllung**

Nach der chemo-mechanischen Reinigung des Wurzelkanals, soll ein bakteriendichter Verschluss vom Pulpenkavum aus bis in den Apexbereich erfolgen. Dadurch soll es Mikroorganismen unmöglich gemacht werden, vom periapikalen Raum aus in das Wurzelkanalsystem vorzudringen und eine erneute Entzündung hervorzurufen. Um dies zu ermöglichen, muss ein Füllmaterial verschiedene Anforderungen erfüllen. Es sollte eine gute Biokompatibilität aufweisen, resistent gegenüber Feuchtigkeit sein und formstabil bleiben. Eine bakteriostatische oder bakterizide Wirkung ist wünschenswert. Ebenso muss es einfach in der Handhabung sein und notfalls auch leicht wieder zu revidieren sein. Darüber hinaus sollte es auch röntgenopak sein, um eine Röntgenkontrollaufnahme zu gewährleisten [33]. Bis heute kann kein Füllmaterial allein, allen Anforderungen entsprechen. Daher wird als Standardmethode eine Kombination aus einem oder mehreren Wurzelkanalstiften und erhärtenden Wurzelfüllpasten (Sealern) angewendet. Sealer erfüllen die Aufgabe, Unregelmäßigkeiten im Wurzelkanalsystem auszufüllen und einen guten Verbund zwischen dem Kernmaterial (meist Guttaperchaspitzen) und dem Kanalwanddentin herzustellen. Zum Abfüllen des Wurzelkanals stehen dem Behandler mehrere Fülltechniken und Füllmaterialien zu Verfügung.

### **3.7. Wurzelfüllmaterialien**

#### **Sealer auf Kunstharzbasis**

Zu dieser Gruppe gehören, unter anderem AH 26 (DentSply/De Trey, Konstanz, Deutschland) und seine Weiterentwicklung AH Plus (DentSply/De Trey, Konstanz, Deutschland). AH 26 zeigt gute adhäsive Eigenschaften und eine geringe Löslichkeit. Problematisch ist allerdings die Formaldehydfreisetzung, die zu Gewebsreaktionen führt und im direkten Kontakt mit

Nervengewebe neurotoxisch wirkt und Allergien hervorrufen kann [43]. Diese Freisetzung von Formaldehyd nimmt jedoch mit zunehmender Aushärtung des Materials ab und ist nach einigen Wochen kaum noch nachweisbar [59]. AH Plus hingegen setzt während der Abbindereaktion kein Formaldehyd mehr frei. So liefert es bezüglich Biokompatibilität und physikalischer Eigenschaften gute Ergebnisse [70].

### **Sealer auf Zinkoxid-Eugenolbasis**

Bei dieser Gruppe handelt es sich um Zwei-Komponenten-Systeme. Durch das Vermischen der zwei Komponenten Pulver und Flüssigkeit erhärten diese und bilden ein Zinkeugenolat. Diese Sealer weisen eine geringe Schrumpfung sowie eine gute Adhäsion zum Kanalwanddentin und zum Wurzelfüllstift auf und dichten somit den Kanal gut ab. Eugenol ist allerdings kritisch zu bewerten, da es bei Zellkontakt eine zytotoxische und neurotoxische Wirkung zeigt [8]. Vertreter dieser Gruppe sind Grossman's Zement, Tubli-Seal (Kerr GmbH, Rastatt, Germany) und ProcoSol (Star Dental, DentalEZ Group, Lancaster, PA, USA).

### **Sealer auf Salicylatbasis**

Dieser Zement entsteht durch Anmischen von Kalziumhydroxid mit Salicylsäure-Estern. Man erhoffte sich durch die beigefügten  $\text{OH}^-$ -Ionen, eine alkalisierende Wirkung und zusätzlich durch die  $\text{Ca}^{2+}$ -Ionen eine Hartsubstanzinduktion herbeizuführen. Bei direktem Kontakt zum periapikalen Gewebe rufen diese Materialien nur vergleichsweise gering ausgeprägte entzündliche Reaktionen hervor [52]. Apexit (Ivovlar-Vivadent), als ein Beispiel dieser Gruppe, zeigte eine hohe Zellverträglichkeit [7] und gutes Abdichtungsverhalten [47].

## **Sealer auf Basis von selbstadhäsiven Compositen**

Exemplarisch soll hier RelyX Unicem (3M Espe, Seefeld, Deutschland) vorgestellt werden. RelyX Unicem ist ein selbstadhäsiver, dualhärtender Befestigungszement, der neben den Eigenschaften eines herkömmlichen Zements auch die von adhäsiven Befestigungsmaterialien aufweist. Bei der Anwendung von RelyX Unicem sind keine Vorbehandlungsschritte notwendig, so entfällt das Konditionieren der Dentinoberfläche und die nachfolgende Verwendung eines Primers bzw. Bondings. Im Vergleich mit anderen adhäsiven Befestigungszementen, konnte RelyX Unicem ein gutes Abdichtungsverhalten nachgewiesen werden [71].

### **3.8. Wurzelkanalfülltechniken**

#### **Kaltfülltechniken**

##### **Zentralstifttechnik**

Ziel der Zentralstifttechnik (Single-cone-Technik) ist es, einen Guttaperchastift in Kombination mit einem Sealer in den Kanal einzubringen, der dem zuletzt verwendeten Aufbereitungsinstrument in Größe und Konizität entspricht, so dass der gesamte Raum dicht gefüllt ist. Der Nachteil dieser Technik besteht darin, dass es insbesondere bei Wurzelkanälen mit einem ovalen Querschnitt zu einem ungünstigen Volumenverhältnis zwischen Guttapercha und Sealer führt.

##### **Laterale Kondensation**

Die laterale Kondensation gilt momentan als Methode der Wahl. Dabei wird das Ziel verfolgt, den Wurzelkanal vollständig mit einem hohen Anteil an Guttapercha und möglichst wenig Sealer dicht zu füllen. Hierbei wird ein

volumenstabiler Hauptstift (meist aus Guttapercha) mittels Spreader an die Kanalwand kondensiert und der dadurch entstandene Raum durch akzessorische Wurzelstifte aufgefüllt.

## **Warmfülltechniken**

### **Warme laterale Kondensation**

Diese Technik entspricht der kalten lateralen Kondensation. Ein durch Erhitzen erwärmter Spreader wird in den Kanal eingeführt. Der im Kanal befindliche Guttaperchastift soll so nicht nur kalt verformt, sondern durch die Erwärmung an das Kanallumen adaptiert werden.

### **Warme Zentralstifttechnik**

Die Thermafil-Methode stellt eine thermische Einstift-Technik dar. Das System besteht aus einem mit Alpha-Guttapercha ummantelten Träger, der auf Kunststoff basiert ist. Der Gedanke dahinter war, möglichst wenig Guttapercha zu verwenden, um die beim Abbindevorgang entstehende Schrumpfung möglichst gering zu halten [40].

## 4 Material und Methode

### 4.1. Untersuchte Materialien

In dieser Arbeit wurden 90 einkanalige, nicht endodontisch vorbehandelte, menschliche Zähne mit abgeschlossenem Wurzelwachstum untersucht. Die Zähne wurden randomisiert auf 3 Gruppen (n = 30) verteilt.

Nach Anlegen einer standardisierten Kavität bzw. Trepanationsöffnung mittels rotem Winkelstück (KaVo, Biberach, Deutschland) und Diamantbohrern (Meisinger GmbH, Düsseldorf, Deutschland) wurde die Gängigkeit mit einem Handinstrument überprüft. Danach erfolgte die maschinelle Aufbereitung mit dem FlexMaster System (VDW Dental, München, Deutschland) Größe #45 taper .04 .

Während der Aufbereitung wurden die Kanäle gemäß dem Spülprotokoll mit je 2ml Zitronensäure (40%) und NaOCl (5%) nach jeder Instrumentengröße gespült. Abschließend wurden die Wurzelkanäle zusätzlich mit Ethanol (70%) gespült und mit Papierspitzen der Größe #45 taper .04 getrocknet.

Vor der definitiven Wurzelkanalfüllung wurden medikamentöse Einlagen eingebracht. So wurde von den Gruppen bestehend aus 30 Zähnen jeweils 10 Zähne mit Calciumhydroxidstiften (Calciumhydroxid Plus), 10 Zähne mit Chlorhexidin-Stiften (Activ Plus) und 10 ohne medikamentöse Einlagen für eine Woche in einen Thermoschrank (37° 95% Feuchtigkeit) gegeben. Anschließend wurden die Zähne mit 3 verschiedenen Sealern gefüllt. Gruppe A mit RelyX Unicem (3M Espe, Seefeld, Deutschland), Gruppe B mit Tubli-Seal EWT (SybronEndo, Orange, CA, USA) und Gruppe C mit Apexit Plus (Ivoclar-Vivadent, Ellwangen, Deutschland). Die Zusammensetzung der verwendeten Sealer ist in Tabelle 6-8 ersichtlich.

Material	Komponente A	Komponente B
<b>RelyX Unicem</b>	Glaspulver (silanisiert) Initiator Kieselsäure (silanisiert) Subst. Pyrimidin Calciumhydroxid Peroxo-Verbindung Pigment	Methacrylierter Phosphorsäureester Dimethacrylat Acetat Stabilisator Initiator

Tab. 6: Zusammensetzung RelyX Unicem



Abb. 3: RelyX Unicem

Material	Komponente A	Komponente B
<b>Apexit Plus</b>	Kalziumhydroxid 32% Kolophoniumhydrat 31,5% SiO <sub>2</sub> 8% CaO 5,6% ZnO 5,5% Trikalziumphosphat 4% Polydimethylsiloxan 2,5% Zinkstearat 2,3%	Trimethylhexandioldisalicylat 25% Wismutkarbonat 18% Wismutoxid 18% SiO <sub>2</sub> 15% 1,3-Butandioldisalicylat 11% Kolophoniumhydrat 5,4% Trikalziumphosphat 5% Zinkstearat 1,4%

Tab. 7: Zusammensetzung Apexit Plus



Abb. 4: Apexit Plus

Material	Komponente A	Komponente B
<b>Tubli-Seal EWT</b>	Bariumsulfat ZnO Lezithin	Eugenol Öl Modifier

Tab. 8: Zusammensetzung Tubli-Seal EWT



Abb. 5: Tubli-Seal EWT

## **4.2. Auswahl und Vorbereitung der Probenzähne**

Für diese Arbeit wurden 90 menschliche, kariesfreie Zähne herangezogen. Davon wiesen alle ein vollständiges Wurzelwachstum auf und wurden nach der Extraktion für ca. 1 Woche in 0,5%iger Chloramin-T Lösung gelagert. Die Oberflächen der Zähne wurden mittels Scaler und Skalpell von anhängendem Weichgewebe oder Zahnstein gesäubert und für die weiteren Versuche in destilliertem Wasser aufbewahrt.

## **4.3. Medikamentöse Einlagen**

Als Einlagen kamen Roeko Calcium Hydroxide PLUS Points (Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland) und Roeko Activ point Chlorhexidine Points (Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland) zum Einsatz. Um eine Referenzgruppe zu schaffen, wurde bei den Kontrollgruppen (n=10) auf eine medikamentöse Einlage verzichtet.

Die medikamentösen Stifte wurden auf die Arbeitslänge gekürzt und in den Kanal eingebracht, überstehende Anteile bis zum Kanaleingang mit einem heißen Heidemann-Spatel abgetrennt. Die Kavitäten wurden mit Wattepellets abgedeckt und mit Cavit W (3M ESPE, Seefeld, Deutschland) verschlossen. Anschließend wurden die Zähne in einer feuchten Kammer bei 37°C / 95% rel. Luftfeuchtigkeit gelagert.

Nach 7 Tagen erfolgte die Entfernung der medikamentösen Einlage und eine erneute Spülung mit der Spülsequenz Zitronensäure, NaOCl und Alkohol.

## **4.4. Wurzelkanalfüllung**

Zur definitiven Wurzelkanalfüllung wurden RelyX Unicem (3M Espe), Tubli-Seal EWT (SybronEndo) und Apexit Plus (Ivoclar-Vivadent) herangezogen. Die verschiedenen Sealer wurden mittels papierspitzen .04/#40 in die getrockneten Wurzelkanäle eingebracht. Die Obturation erfolgte entsprechend der Single-Cone-Technik (Zentralstift-Technik) mit

angepassten Guttapercha-Stiften .04/#40. Diese wurden sukzessiv gekürzt, bis sie mit einem „tug fit“ im Wurzelkanal klemmten.

Nach Abtrennen der Stifte und Säuberung der Kavität, wurden sie mit KetacCem (3M ESPE) verschlossen und für 28 Tage in der feuchten Kammer aufbewahrt.

#### 4.5. Farbstoffpenetrationstest

Um die Zähne zu versiegeln, wurden sie in zwei Schichten mit Nagellack isoliert und getrocknet. Anschließend wurden sie apikal an einem Trimmer angeschliffen, da die Kanäle lediglich an dieser Stelle mit Methylenblau (5%) penetriert werden sollten und apikale Deltas und Foramina ausgeschlossen werden sollten.

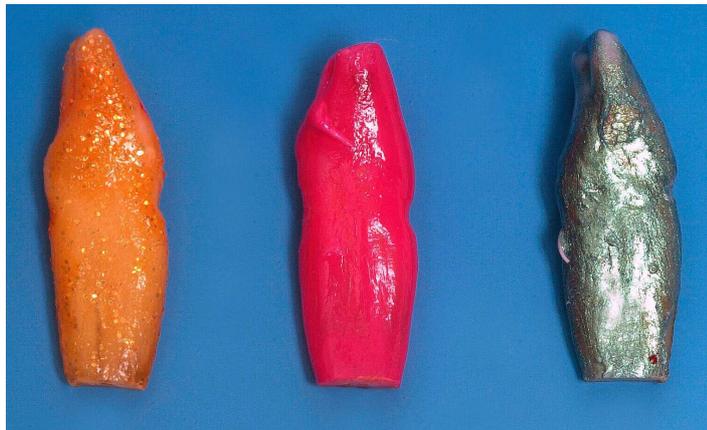


Abb. 6: Versiegelung der Probenzähne mit Nagellack

Für den Farbstoffpenetrationstest wurden 90 Zentrifugengläser vorbereitet. Nach dem Einbringen der einzelnen Probenzähne wurde Methylenblaulösung mit einer Füllhöhe von 3 cm in die Gläser pipettiert. Danach wurden die Proben 3 Minuten lang bei 30g (400 U/min) zentrifugiert (Varifuge K, Heraeus Christ, Osterode) und anschließend unter fließendem Wasser gereinigt und getrocknet.



Abb. 7: Epoxidharzblock mit eingebetten Proben

Die Untersuchungsgruppen, bestehend aus jeweils 10 Zähnen, wurden auf einer Glasplatte mit Heliobond (Ivoclar Vivadent, Ellwangen, Deutschland) befestigt und lichtgehärtet. Um die Zähne einzubetten, wurden die Proben in eine Silikonform eingebracht und mit Epoxidharz (Biresin<sup>®</sup>, Sika BV, Utrecht, NL) eingebettet.

#### **4.6. Probenherstellung und Auswertung**

Die Blöcke wurde mit Hilfe der Innenlochsäge in 1mm dicke Scheiben geschnitten. Die Schnitte wurden in einem 90° Winkel zur Zahnachse durchgeführt. Die jeweiligen Schnittebenen wiesen einen Durchmesser von ca. 0,75 mm auf.

Um die lineare Penetrationstiefe zu beurteilen, wurden zu jedem Zahn 8 Serienschnitte angefertigt. Die Auswertung fand unter einem Mikroskop in 40x Vergrößerung statt und wurde von drei unabhängigen Untersuchern durchgeführt.

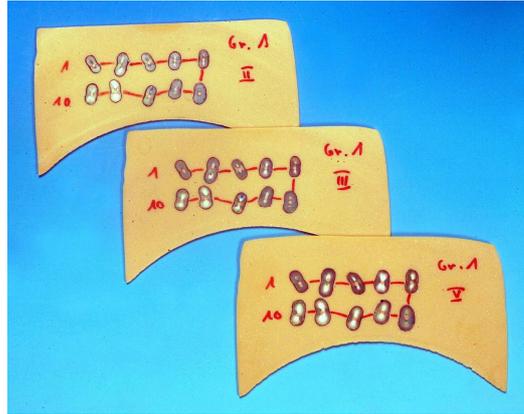


Abb. 8: Serienschritte

Die Penetrationstiefe (PT) wurde anhand einer „Ja-Nein“ Bewertung bestimmt. Wie in Abb.9 zu sehen, wurden die Ergebnisse (Sichtbare Penetrationsfläche = + ; nicht sichtbare Penetrationsfläche = - ) in die standardisierte Tabelle eingetragen und für die statistische Auswertung herangezogen.

### Auswertungsbogen

	Gruppe:									
	Untersuchungszeitpunkt:									
	<b>Zahn</b>									
<b>Schnitt</b>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

+ : Farbstoffpenetration

Datum der Auswertung:

- : keine Farbpenetration

Untersucher:

Abb. 9: Vorlage eines Auswertungsbogens

#### **4.7. Bestimmung der Penetrationsfläche**

Um neben der qualitativen Auswertung auch quantitative Werte zu erhalten, wurde neben der linearen Penetrationstiefe auch die Penetrationsfläche bestimmt. Hierfür wurden die Zahnschnitte mit Hilfe eines Kamera unterstütztem Mikroskops (40x Vergrößerung) betrachtet und das Bild auf dem PC bearbeitet.

Dabei wurde der Bereich zwischen Wurzelkanalfüllung und Wurzelkanalwand untersucht. Ermittelt wurde das Verhältnis zwischen penetrierter Fläche und Gesamtquerschnitt der Wurzelkanalfüllung. Hierfür wurde die blau gefärbte Linie am Übergang Wurzelkanalfüllung zum Zahn am Bildschirm mit B markiert und die restliche nicht gefärbte Fläche mit A bezeichnet. Auch diese Ergebnisse flossen in die statistische Auswertung mit ein.

#### **4.8. Statistische Auswertung**

Für die statistische Auswertung der Ergebnisse wurde das Statistikprogramm SPSS win<sup>®</sup> 14.0 verwendet. Die Undichtigkeiten wurden mit Hilfe folgender statistischer Tests ausgewertet:

- Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest
- Univariate Varianzanalyse
- ANOVA
- Post-Hoc Test
- LSD - Test
- Bonferroni - Test

Der allgemeine Wert der Signifikanz wurde bei  $p \leq 0,05$  festgelegt.

## 5 Ergebnisse

### 5.1. Lineare Penetrationstiefe

Die Serienschnitte wurden von drei unabhängigen Personen ausgewertet. Im Folgenden sind die Ergebnisse der linearen Penetrationstiefen als Mittelwert und die Standardabweichung aufgelistet (Tab. 9):

Gruppe	Sealer	Untergruppe	Medikation	Mittelwert (mm)	Standardabweichung
1	RelyX- Unicem	a	ohne	3,70	2,94
		b	Ca(OH) <sub>2</sub>	1,26	0,68
		c	CHX	5,20	2,62
2	Tubli- Seal EWT	a	ohne	7,00	3,70
		b	Ca(OH) <sub>2</sub>	9,00	0,00
		c	CHX	7,49	1,99
3	Apexit	a	ohne	5,20	3,22
		b	Ca(OH) <sub>2</sub>	1,70	0,82
		c	CHX	3,63	2,16

Tab. 9: lineare Penetrationstiefe (Werte in mm)

Die folgende Grafik gibt die Werte in Säulenform wieder. Auf der x-Achse sind die Sealer angegeben, die y-Achse gibt den Mittelwert der Penetrationstiefe an. Jedem Sealer sind drei farbige Säulen zugeordnet, die die jeweilige Kontamination repräsentieren (Abb.10).

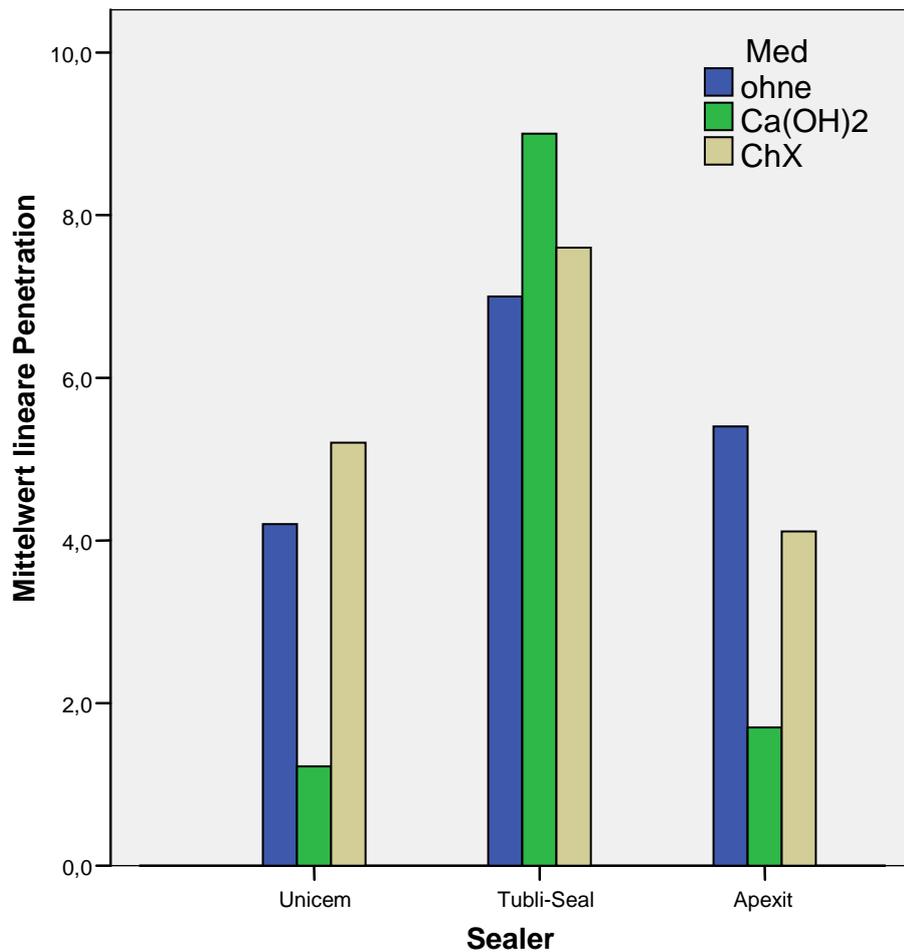


Abb. 10: Mittelwert der Penetrationstiefe (Werte in mm)

Innerhalb der Gruppe untersuchter medikamentöser Einlagen konnte kein signifikanter Einfluss auf die Randdichtigkeit gefunden werden ( $p=0,12$ ). Wohingegen sowohl innerhalb der Gruppe untersuchter Sealer ( $p=0,001$ ) als auch bei Kombination medikamentöser Einlagen mit Sealern ( $p=0,001$ ) ein signifikanter Einfluss auf die Dichtigkeit beobachtet wurde.

Bei den untersuchten Sealern konnte ein signifikanter Unterschied zwischen RelyX Unicem und Tubli-Seal EWT festgestellt werden. Ebenso auch zwischen Tubli-Seal EWT und Apexit. Beim Vergleich zwischen Apexit und RelyX Unicem konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden. (Tab.10,11)

Sealer	Sealer	Signifikanz
Unicem	Tubli-Seal EWT	0,001*
	Apexit	0,88
Tubli-Seal EWT	Unicem	0,001*
	Apexit	0,001*
Apexit	Unicem	0,88
	Tubli-Seal EWT	0,001*

Tab. 10: LSD Test (Sealer)

(\* = signifikante Unterschiede)

Sealer	Sealer	Signifikanz
Unicem	Tubli-Seal EWT	0,001*
	Apexit	1,00
Tubli-Seal EWT	Unicem	0,001*
	Apexit	0,001*
Apexit	Unicem	1,00
	Tubli-Seal EWT	0,001*

Tab. 11: Bonferroni Test (Sealer)

(\* = signifikante Unterschiede)

## 6 Diskussion

### 6.1. Methodik

Ziel der vorliegenden Studie ist, den Einfluss von zwei verschiedenen medikamentösen Einlagen auf die Dichtigkeit von drei verschiedenen Sealern zu untersuchen. Um den Einfluss der Variablen zu verringern, wurden die Probenzähne standardisiert behandelt. Es wurden einkanalige Zähne mit geraden Wurzelkanälen verwendet, entsprechend der Klassifikation nach Schneider (1971). Es ergeben sich dabei zwar Einflüsse durch Kanalquerschnitt, Kanallänge und Kanalkonfiguration, diese wurden jedoch durch eine Vorauswahl der verwendeten Zähne (Inzisivi, Canini, einwurzelige Prämolaren und gerade Molarenwurzeln) sowie der maschinellen Aufbereitung mittels des FlexMaster-Systems auf .04/#45 minimiert. Der Vorteil der maschinellen Aufbereitung besteht darin, dass im Vergleich zur manuellen Aufbereitung ein geringerer Zeitaufwand notwendig ist, weniger Schmierschicht zurückbleibt und bedingt durch die permanente Rotation der Instrumente ein standardisierter runder Wurzelkanalquerschnitt erzielt wird. [24,87] Zudem wurde eine Aufbereitungsgröße größer als ISO 40 gewählt, um einen möglichst hohen Grad an instrumentierter Wurzelkanalwandfläche zu erhalten [35].

Da die Anatomie des Wurzelkanalsystems sehr kompliziert ist, ist keine Aufbereitungstechnik allein im Stande, Gewebereste und Bakterien vollständig aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen. Die maschinelle Aufbereitung muss immer durch die chemischen Spüllösungen unterstützt werden [51]. So wurden alle Zähne bei der Konditionierung mit der gleichen Menge von Zitronensäure und Natriumhypochlorit gespült, um Schwankungen bedingt durch unterschiedliche Spülvolumina soweit wie möglich auszuschließen. Diese Kombination wird häufig verwendet, um die

Schmierschicht zu entfernen. Sowohl die organischen als auch die anorganischen Bestandteile wurden somit entfernt [24,14,63].

Die medikamentöse Einlage stellt eine zeitlich begrenzte Therapiemaßnahme dar, um eine Desinfektion des kontaminierten Wurzelkanals und eine eventuelle Schmerzstillung zu erreichen [36]. Aufgrund der temporären Anwendung liegt es nahe, dass eine einfache Applikation, aber auch eine ebenso einfache und schnelle Entfernbareit des Medikaments ermöglicht werden soll. Um dieser Forderung nachzukommen, wurden Ende der 90er Jahre Chlorhexidin- und Kalziumhydroxidhaltige Guttaperchaspitzen auf den Markt gebracht.

Ein Vorteil liegt zum einen in ihrer Handhabung. Nach der Aufbereitung wird die Guttaperchaspitze entsprechend der zuletzt verwendeten ISO Größe auf Arbeitslänge gekürzt und ohne Kondensation locker sitzend in den Kanal eingebracht. Bei ovalen oder hantelförmigen Kanälen können zusätzliche Stifte zum weitestgehenden Ausfüllen des Kanallumens eingesetzt werden. Nach der erforderlichen Liegezeit von meist ein bis zwei Wochen kann die Guttaperchaspitze relativ einfach mittels Pinzette, Sonde oder Hedströmfeilen entfernt werden. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass bei der Entfernung keine Pastenreste im Wurzelkanal zurückbleiben. Die Guttaperchaspitze wird in toto entfernt.

Im Gegensatz dazu werden andere medikamentöse Einlagen in Pastenform in den Kanal eingebracht. Dies kann möglicherweise dazu führen, dass bei einer unvollständigen Entfernung Reste auf der Wurzelkanalwand verbleiben. Diese Reste können somit als Inhibitionsschicht fungieren und Einfluss auf die Randdichtigkeit der Wurzelkanalfüllung haben [42]. Zudem kann es bei Pasten, insbesondere Kalziumhydroxideinlagen vorkommen, dass die Entfernung im apikalen Kanalanteil unvollständig erfolgt und so die Arbeitslänge verloren geht, da der apikale Anteil mit der medikamentösen Einlage verbolzt bleibt. Die Röntgenkontrollaufnahme zeigt dann eine anscheinend suffiziente Wurzelkanalfüllung, welche allerdings nach einiger Zeit durch die Resorption der restlichen medikamentösen Einlage in apikale

Kanalabschnitte sichtbar wird. Die Wurzelkanalfüllung erscheint dann zu kurz, Hohlräume können von Bakterien wiederbesiedelt werden.

Um die Wurzelkanäle definitiv abzufüllen, kam in dieser Arbeit die Zentralstifttechnik zur Anwendung. Bei dieser Technik wird der genau passende Guttaperchastift in Kombination mit einem Sealer in den Kanal eingeführt, so dass der gesamte Raum dicht gefüllt ist. Dabei ist der prozentuale Anteil, an mit Sealer bedeckter Kanalwand, signifikant höher als bei der lateralen Kondensation [85]. Es konnte gezeigt werden, dass bei der lateralen Kondensation Kanalwandabschnitte vorlagen, an denen der Guttaperchastift direkt auflag und somit nicht von Sealer bedeckt waren. [85,42,47] Dies ist jedoch bei anderen Techniken ebenfalls der Fall und stellt nicht zwingend einen Nachteil dar. Die Zentralstifttechnik ermöglicht eine gleichmäßigere Sealerverteilung, einen höheren Benetzungsgrad der Wurzelkanalwand mit Sealer und ist auf Grund der einfachen Handhabung weniger vom Behandler abhängig [83]. So wurde es ermöglicht, einheitliche Messungen durchzuführen und die Dichtigkeit bezüglich der Sealereigenschaften und nicht der Fülltechnik zu ermitteln. Da der Anteil des Sealers im Wurzelkanal jedoch höher ist, kommt dem Sealerplacement eine besondere Bedeutung zu.

Zur Untersuchung der Undichtigkeiten von Wurzelfüllmaterialien stehen zahlreiche Methoden zu Verfügung. Der Farbstoffpenetrationstest ist ein einfaches und schnelles Verfahren den „Mikroleakage“-Wert zu ermitteln. In dieser Arbeit dient die lineare Farbstoffpenetration als Maß für die quantitative Beurteilung der apikalen Dichtigkeit. Die Tiefe der Farbstoffpenetration in den Wurzelkanal korreliert mit dem Undichtigkeitsgrad der Wurzelkanalfüllung [86]. Die Moleküle chemischer Substanzen und die Bakterienzellen verfügen über unterschiedliche Größen. Bei der Untersuchung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen ist die molekulare Größe des verwendeten Indikators daher ausschlaggebend. Da eine möglichst dichte Wurzelkanalfüllung eine hemmende Wirkung auf die Penetration von Molekülen hat, ist für die Beurteilung der Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung eine möglichst kleine Molekülgröße des Indikators sinnvoll [85].

Als Farbstoffe können Methylenblau, India Ink oder Silbernitrat eingesetzt werden. Methylenblau hat ein kleineres Molekül und ein niedrigeres Molekulargewicht und kann tiefer als andere Farbstoffe, wie zum Beispiel India Ink, entlang der Wurzelkanalfüllung penetrieren [1]. Methylenblau entspricht von seiner Molekülgröße ungefähr der Größe bakterieller Stoffwechselprodukte. Dadurch ist diese Testmethode genauer und sensibler und wurde deshalb auch in dieser Studie verwendet.

Um eine ungewollte Penetration des Farbstoffes an anderen Stellen wie eröffneten Dentintubulis, Schmelzsprüngen oder Ramifikationen zu vermeiden, wurde angeraten die Zähne mit Lack oder Wachs zu isolieren. Da sich Nagellack sehr gut eignet [39], wurden die Zähne mit jeweils zwei Schichten Nagellack isoliert, eine sichere Versiegelung ist somit garantiert.

Bei normalen Druckverhältnissen kann es dazu kommen, dass Luft in den Dentinkanälchen zurückbleibt und somit den Eintritt von Farbstoffen verhindert [84]. Um einen Einfluss auf die Ergebnisse zu vermeiden, wurden die Untersuchungen in dieser Arbeit mit Hilfe der Zentrifugation unter Hochdruck durchgeführt.

Um die Farbstoffpenetrationstiefe zu ermitteln, stehen verschiedene Methoden zur Verfügung. Dazu zählen im Wesentlichen die Längsschnittmethode und die Querschnittmethode, welche auch als Clearing-Technik eingesetzt wird. Bei der Längsschnittmethode werden die Zähne längs geschnitten und es kann lediglich die Penetrationsfläche zwischen Kanalwand und Sealer beurteilt werden [50]. Vorteilhafter ist hier die Querschnittmethode, da hier zusätzlich auch Undichtigkeiten im Wurzelfüllmaterial nachgewiesen werden können. Somit kann die Penetrationstiefe, Penetrationsfläche und Sealerverteilung beurteilt werden. Allerdings muss man anmerken, dass ein mit der Schnittherstellung einhergehender Substanzverlust dazu führt, dass der Kanal nicht in seiner Gesamtheit dargestellt werden kann und somit einige Wurzelkanalbereiche unerkannt bleiben. Der Materialverlust durch das Sägeblatt kann mit der Ausnahme berechnet werden, dass die maximale Penetrationstiefe im

Bereich des Sägeblattverlustes liegt. Die Auswertung erfolgte durch die Anfertigung serieller Querschnitte an den Zahnwurzeln von apikal nach koronal und mit Hilfe eines Lichtmikroskops. Durch eine gleichmäßige Schichtdicke der Schnitte sowie der definierten Dicke des Sägeblattes, konnte für jede Wurzelfüllung die Farbpenetrationstiefe errechnet werden. Durch diese Methode können die Ergebnisse untereinander, aber auch mit denjenigen anderer Studien verglichen werden.

## **6.2. Beurteilung der Ergebnisse**

In der vorliegenden Arbeit wurde das Abdichtungsvermögen von drei Sealern nach verschiedenen medikamentösen Einlagen untersucht. Die zu untersuchenden Zähne wurden alle in derselben Weise aufbereitet und obturiert. Dies ermöglichte es, die Gruppen auf die Sealerabhängigkeit und nicht auf die Abhängigkeit von Aufbereitungstechnik oder Fülltechnik zu untersuchen. Daher spiegeln die Ergebnisse ausschließlich den Einfluss der Sealer auf die Randdichtigkeit wider.

Selbstadhäsiver Zement wird momentan nur experimentell eingesetzt, da bislang keine Indikation als Wurzelkanalfüllmaterial besteht. Es scheint jedoch, dass sich die selbststützende Eigenschaft ideal für die Bedingungen im Wurzelkanal eignet. RelyX Unicem kommt ohne jeglichen Vorbehandlungsschritt aus und ist in seiner Anwendung einfachen zu handhaben. Das Pulver-Flüssigkeitssystem kann sofort nach Aktivierung der Aplicap-Kapsel und Durchmischung im Hochfrequenzmischgerät, mit einem entsprechenden Aufsatz direkt in den Wurzelkanal eingefüllt werden. Dadurch können die Kanäle schneller abgefüllt werden und durch Aktivierung der Kapseln Fehler beim Anmischen verhindert werden.

Im Bezug auf die Haftkraft konnte gezeigt werden, dass RelyX Unicem sowohl mit koronalem Dentin als auch mit Wurzelkanaldentin gleich gute Ergebnisse liefert [81]. Der Haftverbund beruht laut Hersteller auf der

Verwendung neuartiger, mehrfach funktionalisierter Monomere, die mittels saurer Phosphatgruppen eine Anhaftung am Kanalwanddentin ermöglichen. Neben der organischen Matrix aus Phosphatgruppen sind die anorganischen basischen Füllkörper für die Zementreaktion verantwortlich. Durch die Reaktion der basischen Füllkörperanteile mit den Säurefunktionalitäten kommt es zu einem pH-Anstieg auf neutrales Niveau und zur Abgabe von Fluoridionen. Die radikalische Polymerisationsreaktion kann über Licht oder ein Redoxsystem erfolgen. Bei dieser Neutralisation kommt es zur Freisetzung von Wasser und der Ausbildung hydrophiler Eigenschaften. Dies ermöglicht eine gute Adaption an die Zahnhartsubstanz und eine gewisse Toleranz gegenüber Feuchtigkeit im Wurzelkanal. Das gebildete Wasser reagiert mit den verbliebenen Säuregruppen und die folgende Zementreaktion führt zur Ausbildung einer hydrophoben Matrix und einer erneuten Fluoridabgabe. Die hydrophobe Eigenschaft führt zu einer geringeren Quellung [21, 58, 38]

In der vorliegenden Arbeit erreichte RelyX Unicem mit einer mittleren Penetrationstiefe von 3,70 mm, im nicht kontaminierten Kanal, die besten Ergebnisse im Vergleich mit den anderen Sealern. Dies korreliert mit einer Studie von Taranu R. et al (2005) die RelyX Unicem ähnliche Dichtigkeitswerte nachweisen konnte [78]. In Verbindung mit CHX lag RelyX Unicem mit einem Wert von 5,20 mm im Mittelfeld. In der Gruppe mit vorangegangener medikamentöser Einlage mit  $\text{Ca(OH)}_2$  konnte sogar eine Penetrationstiefe von 1,26 mm und somit der beste Wert innerhalb der Gruppe aber auch innerhalb der gesamten Studie erzielt werden. Dies lässt darauf schließen, dass sich RelyX Unicem durchaus als definitives Wurzelkanalfüllungsmaterial eignet.

Das Zweikomponenten-Präparat Tubli-Seal erhärtet nach Vermischen von Pulver und Flüssigkeit. Dabei bildet es einen wenig widerstandsfähigen, porösen Zinkeugenolat-Komplex. Aber auch bei adäquater Anmischung liegt überschüssiges, freies Eugenol vor, das stets an das Eugenolat sowie an Zinkoxid bindet und dadurch den Zinkeugenolat-Komplex schwächen kann.

Aufgrund der erhöhten Löslichkeit sollte es nur in Verbindung mit Guttapercha-Stiften und nicht als alleiniges Füllmaterial verwendet werden.

Die in Gewebeflüssigkeit löslichen Zinkoxid-Eugenol basierten Pasten weisen während der Aushärtung eine Schrumpfung von ca. 0,3% - 1% auf. Von den Inhaltsstoffen dieser Sealer wird nach dem Anmischen vor allem dem Eugenol eine gewisse zytotoxische und allergisierende Wirkung zugesprochen.

Von den drei untersuchten Sealern lieferte Tubli-Seal EWT die schlechtesten Ergebnisse im Rahmen dieser Untersuchung. Ohne Kontamination durch ein Medikament als Einlage im Kanal wurde eine Penetrationstiefe von 7,0 mm festgestellt, ähnlich dem Ergebnis mit CHX. Dort konnte eine Tiefe von 7,49 mm beobachtet werden. In Kombination mit einer  $\text{Ca(OH)}_2$  - Einlage lag der Wert sogar bei 9,00 mm. Der Grund für dieses schlechte Ergebnis liegt wahrscheinlich an der Wechselwirkung zwischen  $\text{Ca(OH)}_2$  und dem Zinkoxid-Eugenol-Komplex. Werden diese beiden Komponenten vermischt, kann es einerseits zur Ausbildung von Kalzium-Eugenolat kommen oder aber zur ionischen Anheftung von Kalzium an Eugenol. Diese Anheftung kann durch den Zutritt von Wasser wieder aufgelöst werden. Daher kommt es zu einer erhöhten Löslichkeit. Dies führt auf lange Sicht zu einer schlechteren Randdichtigkeit [55]. So konnte in einer anderen Studie mit Tubli-Seal gezeigt werden, dass Kanäle mit einer  $\text{Ca(OH)}_2$  - Medikation signifikant erhöhte Undichtigkeitswerte lieferten, verglichen mit nicht behandelten Wurzelkanälen [42].

Apexit Plus ist ebenfalls ein Zweikomponentenmaterial. Für die Aushärtung des Sealers ist die Bildung eines Komplexes verantwortlich. Zur Komplexbildung tragen Kalziumhydroxid, Salizylat und Wasser bei. Die Aushärtung von Apexit Plus ist feuchtigkeitsabhängig. So kann es laut Hersteller bei ungenügend getrockneten Kanälen zu einer schnellen Abbindung kommen. Der Zutritt der für die Abbindung erforderlichen Feuchtigkeit erfolgt über die Dentintubuli. Das Material bindet von apikal nach koronal ab, da das Foramen apicale und die geringe Dentinschichtstärke für einen erhöhten Wasserzutritt sorgt, allerdings ist das Dentin hier weniger von Dentintubuli durchzogen.

Die Penetrationstiefe in der Gruppe mit Kanälen ohne medikamentöse Einlage lag bei 5,20 mm und stellte das schlechteste Ergebnis innerhalb der Gruppe dar. Dies könnte an dem Restfeuchtigkeitsgehalt der Kanäle liegen. Die Kanäle wurden zum Abschluss standardisiert mit Alkohol gespült und mit Papierspitzen getrocknet. Daher wurde die Restfeuchtigkeit deutlich verringert, was zu einer schnelleren Abbindung und somit zu einer schlechteren Adaptation an die Kanalwände führen könnte. Dies belegt eine Studie von Roggendorf M. et al (2007), bei der Feuchtigkeit im Wurzelkanal zu einer verbesserten Randdichtigkeit von Apexit führt [60]. Nach medikamentöser Einlage mit Chlorhexidin wurde ein Wert von 3,63 erreicht, dies liegt innerhalb der Studie im Mittelfeld. Das zweitbeste Ergebnis der Studie mit einer Penetrationstiefe von 1,70 mm wurde in Verbindung mit Kalziumhydroxid erzielt. Dies ist wohl der Tatsache zu zuschreiben, dass Kalziumhydroxid sowohl im Sealer selbst als auch in der medikamentösen Einlage vorhanden ist. Sollte also selbst nach der sorgfältigen Entfernung der medikamentösen Einlage noch etwas Kalziumhydroxid zurückbleiben, kann es durch Wasser in Lösung gehen und zur Komplexbildung beitragen.

### **6.3. Ausblick**

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von zwei unterschiedlichen medikamentösen Einlagen auf die Dichtigkeit von drei verschiedenen Sealern zu untersuchen. Es stellt sich die Frage, welche Faktoren die Dichtigkeit beeinflussen können. Einerseits trägt vermutlich das Alkalisierungspotential der medikamentösen Einlagen dazu bei. Andererseits spielen aber sicherlich auch der Restfeuchtigkeitsgehalt und die Interaktion zwischen Inhaltsstoffen der medikamentösen Einlagen und der Sealer eine gewisse Rolle.

In dieser Arbeit konnte der adhäsive Sealer die besten Ergebnisse erzielen. Der Trend im Bereich der Entwicklung von Wurzelkanalfüllmaterialien geht eindeutig in Richtung der Adhäsivtechnik, wie an vielen neuen Materialien

sichtbar. So zum Beispiel EndoREZ (Ultradent, USA) ein UDMA-basiertes dualhärtendes Komposit mit hydrophilen Eigenschaften. Ein anderer Vertreter ist Resilon, ein aus Polycaprolacton (Polyester-Polymer), Dimethacrylaten, sowie Glas- und radioopaken Füllern bestehendes synthetisches Wurzelkanalfüllmaterial. Dieses kunststoffbasierte Material wird unter anderem in den Systemen Epiphany (SybronEndo, USA) und RealSeal (Pentron, USA) verwendet. Auch die Firma J. Morita (USA) hat mit Hybrid Root Seal einen selbstkonditionierenden Wurzelkanalsealer auf Basis ihrer 4-Meta-Materialien auf den Markt gebracht. Da heutzutage jede Wurzelkanalfüllung mit einem adhäsiven Verschluss abgedichtet wird, liegt es sehr nahe, den gesamten Wurzelkanal adhäsiv zu obturieren. Ein Problem ist aber immer noch die Polymerisations schrumpfung, die bei allen Kompositmaterialien zu beobachten ist.

Bei der Suche nach dem idealen Sealer, geht der Weg auch in eine ganz andere Richtung. So gibt es Ansätze, die die Guttapercha ohne Sealer mittels Ultraschall in den Kanal einbringen wollen. Dabei soll die Guttapercha auch in die Verzweigungen der Dentintubuli eindringen [6]. Ein anderer Ansatz ist die Non-instrumentation-Technik nach Lussi, die eine Methode darstellt, bei der der Kanal ohne Wurzelkanalinstrumente gereinigt, getrocknet und anschließend gefüllt werden kann. Dabei konnte einigen Sealern, darunter auch Apexit, signifikant niedrigere Undichtigkeiten im Vergleich mit der Lateralkondensations-Technik nachgewiesen werden. Im Zuge der Weiterentwicklung werden in nächster Zeit sicherlich neue Materialien und neue Therapieansätze vorgestellt werden. So bleibt abzuwarten, inwiefern die adhäsiven Sealer zu einer Erhöhung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen führen werden. Der Einfluss von medikamentösen Einlagen ist jedoch der limitierende Faktor, welcher bei der Wahl des Sealers berücksichtigt werden muss.

Basierend auf den Ergebnissen dieser Studie kann festgestellt werden, dass keine generelle Empfehlung für die Wahl des Sealers gegeben werden kann. Somit sollte die Wahl des Sealers abhängig von der medikamentösen Einlage getroffen werden.

## 7 Literaturverzeichnis

- 1 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)
- 2 Barthel C, Flachsenberg S, Georgi M, Petschelt A, Schäfer E, Neuber T, Kockapan C, Weiger R, Hülsmann M: Wurzelkanalspülung. Stellungnahme der DGZMK (2006)
- 3 Barthel CR, Zimmer S, Zilliges S, Schiller R, Göberl UB, Roulet JF: In situ antimicrobial effectiveness of chlorhexidine: Gel and paste versus guttapercha points. *J Endo* 28, 427-430 (2002)
- 4 Basrani B, Santos JM, Tjäderhane L, Grad H, Gorduysus O, Huang J, Lawrence HP, Friedman S: Substantive antimicrobial activity in chlorhexidine-treated human root dentin. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 94, 240-58 (2002)
- 5 Basrani B, Tjäderhane L, Santos JM, Pascon E, Grad H, Lawrence HP, Friedman S: Efficacy of chlorhexidine- and calcium hydroxide-containing medicaments against *Enterococcus faecalis* in vitro. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96, 618-24 (2003)
- 6 Baumgardner K, Krell K: Ultrasonic condensation of guttapercha: an in vitro dye penetration and scanning electron microscopic study. *J Endod* 16, 253 (1990)
- 7 Bratel J, Jontell M, Dahlgren U, Bergenholtz G: Effects of root canal sealers on immunocompetent cells in vitro and in vivo. *Int Endod J* 31, 178 (1998)
- 8 Briseno BM, Willershausen B: Root canal sealer cytotoxicity on human gingival fibroblasts. 1. Zinc oxide-eugenol-based sealers. *J Endod* 16, 383-386 (1990)

- 9 Byström A, Sundqvist G: Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 55, 307-312 (1983)
- 10 Byström A, Sundqvist G: The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J* 18, 35-40 (1985)
- 11 Contardo I, De Luca M, Bevilacqua L, Breschi L, Di Lenarda R: influence of calcium hydroxide debris on the quality of endodontic apical seal. *Minerva Stomatol* 10, 509-517 (2007)
- 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 Cvek M, Hollender L, Nord CE: Treatment of non-vital permanent incisors with calcium hydroxide. IV. A clinical, microbiological and radiological evaluation of treatment in one sitting of teeth with mature and immature root. *Odontol Revy* 27, 93-108 (1976)
- 14 Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O: Effectiveness of 1 mol L<sup>-1</sup> citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. *Int Endod J* 33, 46-52 (2000)
- 15 DiLenarda R, Cernaz A, Sbaizero O: Effects of citric acid endodontic irrigation on smear layer and dentinal microhardness. *Proceedings of the VII. Biennial Congress of European Society of Endodontology*. Göteborg, Sweden: European Society Of Endodontology, 2003
- 16 Distler W, Petschelt A: Über die Freisetzung von Ca(OH)<sub>2</sub> aus Guttaperchaspitzen. *Dtsch Zahnärztl Z* 57, 199-201 (1997)
- 17 Ebert J, Roggendorf MJ, Frank K, Petschelt A: Antimicrobial activity of various active gutta-percha points against *Enterococcus faecalis* in simulated root canals. *Int Endod* 41, 249-257 (2008)

- 18 Economides N, Koulaouzidou EA, Beltes P, Kortsaris AH: In vitro release of hydroxyl ions from calcium hydroxide gutta-percha points. *J Endod* 25, 481-482 (1999)
- 19 Fardak O, Turnbull RS: A review of the literature on use of chlorhexidine in dentistry. *J Am Dent Assoc* 112, 863-869 (1985)
- 20 Ferguson JW, Sarich SJ, Hatton JF, Gillespie MJ: Efficacy of common intracanal medicaments against candida albicans. *J Dent Res* 79, 568 (2000)
- 21 Frankenberger R, Seltmann T, Krämer N, Petschelt A: Zur Haftung eines neue Universalzements. Paper presented at Jahrestagung der DGZMK (2002)
- 22 Gomes B, Souza S, Ferraz C, Teixeira FB, Zaia AA, Valdrighi L, Souza-Filho FJ: Effectiveness of 2% chlorhexidine gel and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* in bovine root dentine in vitro. *Int Endo J* 36, 267-275 (2003)
- 23 Gressmann G, Hülsmann M: Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-NiTi-System. *Endodontie* 10, 227 (2001)
- 24 Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM: Comparative study of six rotary nickel–titaniumsystems and hand instrumentation for root canal preparation. *International Endodontic Journal* 38, 743–752 (2005)
- 25 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)
- 26 Haznedaroglu F: Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96, 340-344 (2003)

- 27 Heidemann D: Endodontie 4. Aufl., Urban & Fischer München,2001, 100-101
- 28 Heithersay GS: Calcium hydroxide in the treatment of pulpless teeth with associated pathology. J Brit Endod Soc 8, 74-93 (1975)
- 29 Hellwig E, Klimek J, Attin Th: Einführung in die Zahnerhaltung 3. Aufl., Urban & Fischer, München 2003, 302-303
- 30 Hennessy TD: Some antibacterial properties of chlorhexidine. J Periodontol Res 8, 61-67 (1973)
- 31 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)
- 32 [http://www.coltenewhaledent.biz/download.php?file\\_id=3851](http://www.coltenewhaledent.biz/download.php?file_id=3851)
- 33 [http://www.dgz-online.de/chapters/stellungnahmen/endodontologie/endo08\\_1994\\_qualitaetsrichtlinien\\_endodontische\\_behandlung.pdf](http://www.dgz-online.de/chapters/stellungnahmen/endodontologie/endo08_1994_qualitaetsrichtlinien_endodontische_behandlung.pdf)
- 34 <http://www.vdw-dental.com/produkte/flexmaster.html>
- 35 Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F: A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. Int. End. J. 36, 358–66 (2003)
- 36 Hülsmann M, Schäfer E, Petschelt A, Heidemann D, Raab WHM, Weiger R: Good clinical practice: Die Wurzelkanalbehandlung. DZZ 60, 8 (2005)
- 37 Hülsmann, M: Entwicklung einer Methodik zur standardisierten Überprüfung verschiedener Aufbereitungsparameter und vergleichende in-vitro-Untersuchung unterschiedlicher Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. Quintessenz-Verlag, Berlin 2000.

- 38 Irie M, Suzuki K, Windmüller B: Effect of One-day Storage on Marginal Gap of Composite Inlays. *J Dent Res* 81, (Spec Iss A), Abstr. Nr. 3365, A-415 (2002)
- 39 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, 587-578 (1993)
- 40 Johnson WB: A new gutta-percha technique. *J Endod* 4, 184-188 (1987)
- 41 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. *Journal of Research in Medical Sciences* 2, 27-35 (2004)
- 42 Kim SK, Kim YO: Influence of calcium hydroxide intracanal medication on apical seal. *Int Endo J* 35, 623-628 (2002)
- 43 Koch MJ, Wunstel E, Stein G: Formaldehyde release from ground root canal sealer in vitro. *J Endod* 27, 396-397 (2001)
- 44 Komorowski R, Grad H, Yu Wu X, Friedman S: Antimicrobial Substantivity of Chlorhexidine-Treated Bovine Root Dentin. *J Endod* 26, 315-317 (2000)
- 45 Larsen MJ, Hörsted-Bindslev P: A laboratory study evaluating the release of hydroxyl ions from various calcium hydroxide products in narrow root canal-like tubes. *Int Endod J* 33, 238-242 (2000)
- 46 Lenet BJ, Komorowski R, Wu XY, Huang J, Grad H, Lawrence HP, Friedman S: Antimicrobial substantivity of bovine root dentin exposed to different chlorhexidine delivery vehicles. *J Endod* 26, 652-55 (2000)
- 47 Limkangwalmongkol S, Abbott P, Sandler A: Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning. *J Endod* 18, 535-9 (1992)

- 48 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)
- 49 Lohbauer U, Gambarini G, Ebert J, Dasch W, Petschelt A: Calcium release and pH-characteristics of calcium hydroxide plus points. *Int Endo J* 10, 683-689 (2005)
- 50 Lussi A, Imwinkelried S, Stich H: Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology. *Int Endod J* 32, 17–23 (1999)
- 51 Mayer W: Die anatomischen Grundlagen der Wurzelbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 15, 177-186 (1960).
- 52 Mittal M, Chandra S, Chandra S: Comparative tissue toxicity evaluation of four endodontic sealers. *J Endodont* 21, 622 (1995)
- 53 Morris MD, Lee KW, Agee KA, Bouillaquet S, Pashley DH: Effects of sodium hypochlorite and RC-prep on bond strengths of resin cement to endodontic surfaces. *J Endod* 27, 753-757 (2001)
- 54 Nordbo H: The affinity of chlorhexidine for hydroxyapatite and tooth surfaces. *Scand J Dent Res* 80, 465-473 (1972)
- 55 Park JC, Kwon TK, Kim SK: Properties of calcium hydroxide-eugenol compound. *Journal of Korean Academy of Conservative Dentistry* 24, 408-15 (1999)
- 56 Parsons GJ, Patterson SS, Miller CH, Katz S, Kafrawy AH, Newton CW: Uptake and release of chlorhexidine by bovine pulp and dentin specimens and their subsequent acquisition of antibacterial properties. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 49, 455-459 (1980)
- 57 Petschelt A: Zur Schmierschicht und Dentinfeuchtigkeit nach der Wurzelkanalaufbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z* 43, 1139-1147 (1988)

- 58 Piwowarczyk A, Berge HX, Lauer H-C, Sorensen, JA: Shearbond Strength of Cements to Zirconia and Lithium Disilicate Ceramics. J Dent Res 81, (Spec Iss A), Abstr. Nr. 3241, A-401 (2002)
- 59 Rappaport HM, Lilly GE, Kapsimalis P: Toxicity of Endodontic Filling Materials. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1, 785-802 (1964)
- 60 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, 31-3 (2007)
- 61 Rølla G, Loe H, Schiott CR: The affinity of chlorhexidine for hydroxyapatite and salivary mucins. J Periodontol Res 5, 90-95 (1970)
- 62 Sathorn C, Parashos P, Messer H: Antibacterial efficacy of calcium hydroxide intracanal dressing: a systematic review and meta-analysis. Int Endo J 40, 2–10, (2007)
- 63 Saunders WP, Saunders EM: Influence of smear layer on the coronal leakage of Thermafil and laterally condensed gutta-percha root fillings with a glass ionomer sealer. J Endod 20, 155-8 (1994)
- 64 Schäfer E, Erler M, Dammaschke T: Influence of different types of automated devices on the shaping ability of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments. Int Endo J 38, 627–636 (2005)
- 65 Schäfer E, Hickel R, Geurtsen W: Stellungnahme der DGZMK: Wurzelkanalaufbereitung. DZZ 50, (2000)
- 66 Schäfer E: Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz. Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte. Quintessenz, Berlin 1998
- 67 Schäfer, E: Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Handinstrumenten. Endodontie 8, 213 (1999)

- 68 Sen BH, Safavi KE, Spangberg LS: Antifungal effects of sodium hypochlorite and chlorhexidine in root canals. *J Endod* 25, 235-238 (1999)
- 69 Sequeira P, Fedorowicz Z, Nasser M, Pedrazzi V: Ultrasonic versus hand instrumentation for orthograde root canal treatment of permanent teeth. *Cochrane Database Syst. Rev.* 4, (2008)
- 70 Sevimay S, Kalayci A: Evaluation of apical sealing ability and adaptation to dentine of two resin-based sealers. *J Oral Rehabil* 32, 105-110 (2005)
- 71 Simonetti M, Coniglio I, Magni E, Cagidaglio M, Ferarri M: Sealing ability and microscopic aspects of a self-adhesive resin cement used for fiber post luting into root canals. *Int Dent SA* 8, 24-30 (2006)
- 72 Siqueira Junior JF, Lopes HP, de Uzeda M: Recontamination of coronally unsealed root canals medicated with camphorated paramonochlorophenol or calcium hydroxide pastes after saliva challenge. *J Endod* 24, 11-14 (1998)
- 73 Siqueira Junior JF, Uzeda M: Influence of different vehicles on the antibacterial effects of calcium hydroxide. *J Endod* 24, 663-665 (1998)
- 74 Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist G: The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *Int Endod J* 24, 119-125 (1991)
- 75 Stevens RW, Strother JM, McClanahan SB: Leakage and sealer penetration in smear-free dentin after a final rinse with 95% ethanol. *J Endod* 32, 785-788 (2006)
- 76 Stock C, Walker R, Gulavivala K: *Endodontie* 1.Aufl., Urban & Fischer München, 2005, 150-151
- 77 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)

- 78 Taranu R, Wegerer U, Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R: Leakage analysis of three modern root filling materials after 90 days of storage Int Endod J 38, 928 (2005)
- 79 Timpawat S, Vongsavan N, Messer HH: Effect of removal of the smear layer on apical microleakage. J Endod 27, 351-3 (2001)
- 80 Wade W, Addy M: In vitro activity of a chlorhexidine containing mouthrinse against subgingival bacteria. J Periodont 60, 521-525 (1989)
- 81 Walter R, Miguez PA, Pereira PN: Microtensile bond strength of luting materials to coronal and root dentin. J Esthet Restor Dent 17, 165-71 (2005)
- 82 Wang JD, Hume WR: Diffusion of hydrogen ion and hydroxyl ion from various sources through dentine. Int Endod J 21, 17-26 (1988)
- 83 Wesselink PR: The filling of the root canal system. Ned Tijdschr Tandheelkd 112, 471-477 (2005)
- 84 Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR: Fluid transport and dye penetration along root fillings. Int Endod J 27, 233-238 (1994).
- 85 Wu MK, Özok AR, Wesselink PR: Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. Int Endod J 33, 340-5 (2000)
- 86 Wu, M.-K., Wesselink, P. R.: Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. J Endod 26, 37-43 (1993)
- 87 Zand V, Bidar M, Ghaziani P, Rahimi S, Shahi S: A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel titanium rotary and hand instruments. Journal of Oral Science 49, 47-52 (2007)

## 8 Anhang

### 8.1. Materialien

#### Aufbereitung

Diamantschleifer	Meisinger GmbH, Düsseldorf, Deutschland
FlexMaster	VDW GmbH, München, Deutschland
Rotes Winkelstück	Kaltenbach & Voigt Dental GmbH, Biberach, Deutschland
Grünes Winkelstück	KaVo, Biberach, Deutschland
FlexMaster Feile ISO 20-45	VDW GmbH, München, Deutschland
Scaler	Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
Skalpell	Braun, Tuttlingen, Deutschland
Spritzen 2ml	BD Discardit II, Fraga, Spanien
Endokanüle	Transcoject, Neumünster, Deutschland
Natriumhypochlorit 3%	Apotheke der Universitätskliniken, Erlangen, Deutschland
Zitronensäure 40%	Apotheke der Universitätskliniken, Erlangen, Deutschland
Ethanol-Lösung 70%	Apotheke der Universitätskliniken, Erlangen, Deutschland
Papierspitzen "Color"	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland

#### Medikamentöse Einlage

Calcium Hydroxid Plus #45 LOT: 85878	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland
Activ Point Chx Spitzen LOT: 94799	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland
Cavit W LOT: 257235	3M Espe, Seefeld, Deutschland

## Wurzelkanalfüllung

Apexit Plus LOT: J10179	Ivoclar Vivodent, Ellwangen, Deutschland
Tubli-Seal EWT LOT: 6-1205	Sybron Endo, Orange, USA
RelyX Unicem LOT: 300136	3M Espe, Seefeld, Deutschland
Guttaperchaspitzen ISO 45 LOT: 144771	Coltène-Whaledent, Langenau, Deutschland
KetacCem Aplicap LOT: 301749	3M Espe, Seefeld, Deutschland

## Sonstige Materialien

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

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	KaVo, Biberach, Deutschland

## 8.2. Statistik

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest:

- (a) Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.  
 (b) Aus den Daten berechnet.

RelyX Unicem ohne Kontamination		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

RelyX Unicem mit Ca(OH) <sub>2</sub>		lineare Penetration Untersucher 1	lineare Penetration Untersucher 2	lineare Penetration Untersucher 3
N		9	9	9
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	1,222	1,222	1,333
	Standardabweichung	,6667	,6667	,7071
Extremste Differenzen	Absolut	,519	,519	,459
	Positiv	,519	,519	,459
	Negativ	-,369	-,369	-,319
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,558	1,558	1,377
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,016	,016	,045

RelyX Unicem mit CHX		lineare Penetration Untersucher 1	lineare Penetration Untersucher 2	lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	5,200	5,200	5,200
	Standardabweichung	2,6162	2,6162	2,6162
Extremste Differenzen	Absolut	,220	,220	,220
	Positiv	,100	,100	,100
	Negativ	-,220	-,220	-,220
Kolmogorov-Smirnov-Z		,696	,696	,696
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,718	,718	,718

Tubli-Seal ohne Kontamination		lineare Penetration Untersucher 1	lineare Penetration Untersucher 2	lineare Penetration Untersucher 3
N		8	8	8
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	7,000	7,000	7,000
	Standardabweichung	3,7033	3,7033	3,7033
Extremste Differenzen	Absolut	,455	,455	,455
	Positiv	,295	,295	,295
	Negativ	-,455	-,455	-,455
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,288	1,288	1,288
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,072	,072	,072

Tubli-Seal mit Ca(OH) <sub>2</sub>		lineare Penetration Untersucher 1	lineare Penetration Untersucher 2	lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	9,000	9,000	9,000
	Standardabweichung	,0000(c)	,0000(c)	,0000(c)

(c) Die Verteilung weist keine Varianz für diese Variable auf. Der Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest kann nicht ausgeführt werden.

Tubli-Seal mit CHX		lineare Penetration Untersucher 1	lineare Penetration Untersucher 2	lineare Penetration Untersucher 3
N		9	10	9
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	7,667	7,600	7,222
	Standardabweichung	1,8708	2,1187	1,9861
Extremste Differenzen	Absolut	,318	,346	,259
	Positiv	,238	,254	,185
	Negativ	-,318	-,346	-,259
Kolmogorov-Smirnov-Z		,953	1,093	,777
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,324	,183	,582

Apexit ohne Kontamination		lineare Penetration Untersucher 1	lineare Penetration Untersucher 2	lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	4,700	5,400	5,500
	Standardabweichung	3,1990	3,3066	3,1710
Extremste Differenzen	Absolut	,211	,262	,265
	Positiv	,201	,164	,182
	Negativ	-,211	-,262	-,265
Kolmogorov-Smirnov-Z		,666	,828	,838
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,767	,499	,483

Apexit mit Ca(OH) <sub>2</sub>		lineare Penetration Untersucher 1	lineare Penetration Untersucher 2	lineare Penetration Untersucher 3
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	1,700	1,700	1,700
	Standardabweichung	,8233	,8233	,8233
Extremste Differenzen	Absolut	,302	,302	,302
	Positiv	,302	,302	,302
	Negativ	-,198	-,198	-,198
Kolmogorov-Smirnov-Z		,956	,956	,956
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,320	,320	,320

Apexit mit CHX		lineare Penetration Untersucher 1	lineare Penetration Untersucher 2	lineare Penetration Untersucher 3
N		9	9	9
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	2,556	4,111	4,222
	Standardabweichung	1,8105	2,1473	2,5386
Extremste Differenzen	Absolut	,287	,216	,143
	Positiv	,287	,171	,143
	Negativ	-,195	-,216	-,102
Kolmogorov-Smirnov-Z		,862	,648	,428
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,448	,795	,993

### Post Hoc-Test:

#### Lineare Penetrationstiefe in Abhängigkeit von dem verwendeten Sealer

	(I) Sealer	(J) Sealer	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
LSD	Unicem	Tubli-Seal	-4,308(*)	,6673	,000	-5,626	-2,990
		Apexit	-,103	,6614	,876	-1,410	1,203
	Tubli-Seal	Unicem	4,308(*)	,6673	,000	2,990	5,626
		Apexit	4,204(*)	,6673	,000	2,887	5,522
	Apexit	Unicem	,103	,6614	,876	-1,203	1,410
		Tubli-Seal	-4,204(*)	,6673	,000	-5,522	-2,887
Bonferroni	Unicem	Tubli-Seal	-4,308(*)	,6673	,000	-6,297	-2,319
		Apexit	-,103	,6614	1,000	-2,075	1,868
	Tubli-Seal	Unicem	4,308(*)	,6673	,000	2,319	6,297
		Apexit	4,204(*)	,6673	,000	2,216	6,193
	Apexit	Unicem	,103	,6614	1,000	-1,868	2,075
		Tubli-Seal	-4,204(*)	,6673	,000	-6,193	-2,216

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

\* Die mittlere Differenz ist auf der Stufe ,05 signifikant.

Lineare Penetrationstiefe in Abhängigkeit von der verwendeten medikamentösen Einlage

	(I) Med	(J) Med	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95% Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
LSD	ohne	Ca(OH)2	,657	,4657	,160	-,263	1,576
		ChX	,826	,4657	,078	-,094	1,746
	Ca(OH)2	ohne	-,657	,4657	,160	-1,576	,263
		ChX	,169	,4637	,715	-,746	1,085
	ChX	ohne	-,826	,4657	,078	-1,746	,094
		Ca(OH)2	-,169	,4637	,715	-1,085	,746
Bonferroni	ohne	Ca(OH)2	,657	,4657	,481	-,470	1,783
		ChX	,826	,4657	,234	-,301	1,953
	Ca(OH)2	ohne	-,657	,4657	,481	-1,783	,470
		ChX	,169	,4637	1,000	-,953	1,291
	ChX	ohne	-,826	,4657	,234	-1,953	,301
		Ca(OH)2	-,169	,4637	1,000	-1,291	,953

Basiert auf beobachteten Mittelwerten.

## Danksagung

Herrn Professor Dr. A. Petschelt danke ich für die Möglichkeit, die vorliegende Dissertationsarbeit an der Zahnklinik 1 der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen/Nürnberg durchführen zu können.

Ganz herzlich möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. R. Frankenberger für die Überlassung des Themas bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. M. Roggendorf und Herrn OA Dr. J. Ebert für die Anregung zur Bearbeitung des Themas, für die hervorragende Unterstützung im experimentellen Teil dieser Arbeit und für die Durchsicht des Manuskripts.

## Lebenslauf

Name: Oliver Gerstbrein

Geboren: 20.04.1981

Eltern: Joanna Gerstbrein, geb. Lutakov, medizinisch-  
technische Angestellte  
Rolf F. Gerstbrein, Diplom Ingenieur

Geschwister: Patrick Gerstbrein, Diplom Ingenieur

Schulbildung: 1987 – 1991 Grundschule Möhrendorf  
1991 – 2000 Albert-Schweitzer-Gymnasium Erlangen  
2000 Abitur

Zivildienst: 2000 – 2001 Kopfklinikum Erlangen

Studium: 2001 – 2002 Studium der Kunstgeschichte an der  
Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
2002– 2007 Studium der Zahnmedizin an der Friedrich-  
Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
2007 Examen  
Seit Oktober 2007 Assistentenstelle an der Zahnklinik 2  
– zahnärztliche Prothetik in Erlangen