

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

---

Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen und  
Sealerextrusion in verschiedenen konischen  
Wurzelkanälen unter Verwendung von  
AH Plus und GuttaFlow

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

vorgelegt von  
Perham Pourmaafi  
aus Teheran

-2009-

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

**Dekan:** Prof. Dr. Dr. h. c. Jürgen Schüttler  
**Referent:** Prof. Dr. Roland Frankenberger  
**Koreferent:** Prof. Dr. Anselm Petschelt

**Tag der mündlichen Prüfung: 10. Februar 2010**

**Meiner Familie in Dankbarkeit gewidmet**

---

<b>1 Zusammenfassung .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Hintergrund und Ziele</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Methode</b>	<b>1</b>
<b>1.3 Ergebnisse und Beobachtungen</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Praktische Schlussfolgerung</b>	<b>2</b>
<b>1 Summary .....</b>	<b>3</b>
<b>1.1 Aim</b>	<b>3</b>
<b>1.2 Materials and Method</b>	<b>3</b>
<b>1.3 Results</b>	<b>4</b>
<b>1.4 Conclusion</b>	<b>4</b>
<b>2 Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>3 Literaturübersicht .....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Die Wurzelkanalaufbereitung</b>	<b>7</b>
<b>3.1.1 Die Bedeutung der Wurzelkanalaufbereitung</b>	<b>7</b>
<b>3.1.2 Die Arbeitslänge</b>	<b>8</b>
<b>3.1.3 Die Aufbereitungsgröße</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Wurzelkanalaufbereitungsinstrumente</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Entfernung der Schmierschicht</b>	<b>11</b>
<b>3.4 Trocknen des Wurzelkanals</b>	<b>11</b>
<b>3.5 Bedeutung der Wurzelkanalfüllung</b>	<b>11</b>
<b>3.6 Bedeutung der Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)</b>	<b>12</b>
<b>3.7 Sealereigenschaften</b>	<b>13</b>
<b>3.7.1 AH Plus</b>	<b>13</b>
<b>3.7.2 GuttaFlow</b>	<b>13</b>
<b>4 Problemstellung .....</b>	<b>15</b>
<b>5 Material und Methoden .....</b>	<b>16</b>
<b>5.1 Vorbereitung der Wurzelkanäle</b>	<b>16</b>
<b>5.2 Wurzelkanalfüllungen</b>	<b>16</b>
<b>5.3 Untersuchung des überpressten Sealers</b>	<b>18</b>

5.4	Vorbereitung der Probenzähne	18
5.5	Dichtigkeitsmessungen der Wurzelkanalfüllungen	20
5.6	Statistische Auswertung	23
6	Ergebnisse .....	24
6.1	Auswertung des apikal überpressten Sealers	24
6.2	Auswertung der linearen Penetrationstiefen	26
7	Diskussion	28
7.1	Bedeutung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung	28
7.2	Diskussion des Studiendesigns	29
7.2.1	Auswahl und Prüfen der Probenzähne	30
7.2.2	Bestimmung der Arbeitslänge	30
7.2.3	Maschinelle Aufbereitung	31
7.2.4	Schmierschicht und Spüllösungen	31
7.2.5	Wurzelkanalfüllstifte	32
7.2.6	Wurzelkanalfülltechniken	32
7.2.6.1	Kalte laterale Kondensation von Guttapercha	32
7.2.6.2	Zentralstifttechnik (single cone technique)	33
7.2.7	Farbstoffpenetrationstests	33
7.2.8	Schnittmethoden	35
7.3	Diskussion der Ergebnisse	35
8	Literaturverzeichnis .....	39
9	Anhang .....	48
9.1	Materialien	48
9.2	Statistiken und Anlagen	50
	Danksagung.....	58
	Lebenslauf.....	59
	Eidesstattliche Erklärung .....	60

# **1 Zusammenfassung**

## **1.1 Hintergrund und Ziele**

Die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung stellt eine Grundvoraussetzung für den Erfolg der endodontischen Behandlung dar. Daher ist es heutzutage unerlässlich, neben den Eigenschaften der zur Wurzelfüllung verwendeten Materialien, auch den Einfluss der eingesetzten Aufbereitungsinstrumente auf die Qualität der Wurzelfüllung in den Vordergrund zu stellen. Nur so kann eine bakteriendichte und dauerhafte endodontische Versorgung ermöglicht werden.

Ziel dieser Untersuchung war es, den Zusammenhang zwischen der Aufbereitungsgröße von Wurzelkanälen und dem Dichtigkeitsverhalten der Wurzelkanalfüllung bei Verwendung von zwei unterschiedlichen Sealern (AH Plus und GuttaFlow) zu ermitteln, indem die lineare Penetrationstiefe, sowie die apikal überpresste Sealermenge untersucht wurde.

## **1.2 Methode**

Bei 90 extrahierten menschlichen Unterkiefer-Incisivi, die in 9 Gruppen mit je 10 Zähnen unterteilt waren, wurde eine maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mittels FlexMaster<sup>®</sup>- und K3<sup>®</sup>-Instrumenten durchgeführt. Hierbei wurden jeweils 2 Gruppen mit Instrumenten der Größe .02/#30, .02/#45, .06/#30 und .06/#45 aufbereitet und mit einem Guttapercha-Stift, entsprechend der ISO-Größe der zuletzt zur Aufbereitung verwendeten Feile nach der Zentralstifttechnik gefüllt. Als Sealer wurden GuttaFlow sowie AH Plus eingesetzt. Zur Erstellung einer Kontrollgruppe wurden weitere 10 Probenzähne mit der ISO-Größe .06/#45 aufbereitet und nach dem Prinzip der kalten, lateralen Kondensation gefüllt. Der zentrale Guttapercha-Stift wurde in dieser Gruppe durch weitere Stifte der ISO-Größe 20 ergänzt. Als Sealer wurde in dieser Gruppe AH Plus verwendet. Nach 24-stündiger Lagerung wurde die apikal überpresste Sealermenge mit einem Skalpell entfernt und auf einer Präzisionswaage gewogen. Im Anschluss wurden die Zähne okklusal mit Glasionomermzement verschlossen, mit Nagellack versiegelt und von apikal her bis zum Erscheinen der Guttapercha-Spitze mit einer Trennscheibe separiert. Die Probenzähne wurden anschließend mittels einer Zentrifuge gefärbt, und es folgte das Einbetten der Zähne in Epoxidharzblöcke, bevor mit Hilfe einer Innenlochsäge die Herstellung von Serien-

schnitten im Abstand von 1mm erfolgte. Die Ermittlung der Undichtigkeiten der Wurzelkanalfüllungen erfolgte durch 3 unabhängige Untersucher.

### **1.3 Ergebnisse und Beobachtungen**

Es konnte gezeigt werden, dass die Aufbereitung mit so genannten „greater taper“-Instrumenten sowohl die Dichtigkeit der Wurzelfüllung als auch die Menge an apikal überpresstem Sealer negativ beeinflussen zu scheint. So war bei einem Taper von .06 im Vergleich zu Instrumenten mit einer Konizität von .02 etwa die doppelte Menge an überpresstem Sealer zu messen. Auch die Werte für die Penetrationstiefe waren signifikant schlechter ( $p=0,012$ ). Bemerkenswert ist es, dass das relativ neue Material GuttaFlow als silikonbasierter Sealer sehr gute Ergebnisse aufwies. So konnten mit diesem Sealer in allen Gruppen gleich gute oder bessere Ergebnisse gegenüber dem Goldstandard AH Plus erzielt werden.

### **1.4 Praktische Schlussfolgerungen**

Mit dieser Arbeit wurde gezeigt, dass aus dem Einsatz von Aufbereitungsinstrumenten mit einer erhöhten Konizität ein schlechteres Dichtigkeitsverhalten der Wurzelkanalfüllung resultiert. Zudem wird die mögliche Überstopfung des Sealers in den Periapikalraum begünstigt. Da der Einfluss der Aufbereitungsgröße auf die genannten Parameter bisher recht wenig untersucht worden ist, bleibt abzuwarten, ob künftige Studien diese Ergebnisse bestätigen werden. Im Hinblick auf den relativ neu entwickelten Silikon-Sealer GuttaFlow bleibt festzuhalten, dass die Ergebnisse dieser Arbeit sehr viel versprechend sind und das Material durchaus mit dem bewährten Sealer AH Plus mithalten kann.

# 1 Summary

## 1.1 Aim

The density of the root canal filling represents a basic condition for the success of the endodontic treatment. Thus it is essential to place special emphasis beside the qualities of the materials used for the root filling, also the influence of the used preparation instruments on the quality of the root filling. Respecting this fact, a bacteria-tight and permanent endodontic obturation can be made possible.

The aim of this study was to determine the correlation between the preparation size and the apical mikroleakage of the root canal filling on one hand and the amount of apically extruded sealer on the other hand, while using two different sealers (AH Plus and GuttaFlow). Therefore the linear penetration depth, and the amount of apically extruded sealer were examined.

## 1.2 Materials and Methods

Ninety extracted human lower incisors which were divided into 9 groups with 10 teeth. Then, an engine-driven root canal preparation was done using FlexMaster<sup>®</sup>- and K3<sup>®</sup>-instruments. In each case 2 groups were prepared with instruments of the size .02/#30, .02/#45, .06/#30 and .06/#45 and obturated with a guttapercha-point, having the ISO size of the file used last for the preparation according to the single-cone technique. AH Plus and GuttaFlow were used as sealer in these groups. Another 10 teeth were instrumented to size .06/#45 and obturated according to the lateral condensation technique. In this group the masterpoint was supplemented by additional guttapercha-points of ISO 20. AH Plus was used as sealer in this group. After a storage period of 24 hours the apically extruded sealer amount was removed with a scalpel and weighed using a precision balance. Two layers of nail gloss completely coated the specimen and a dye penetration test using methylene blue dye 5% was carried out in order to visualise the areas of microleakage. The teeth were groupwise embedded in epoxy-resin and cross-sectioned in Steps of 1mm using a water-cooled diamond saw. Cross sections were investigated by three independent, calibrated examiners using a stereo-microscope at 40fold magnification.



### **1.3 Results**

The results of this study show that using greater-tapered instruments for the root canal preparation seem to negatively affect the apical microleakage of root canal fillings and the amount of apically extruded sealer. So about the double quantity of apically extruded sealer was to be measured in the groups having used .06 Taper instruments for the preparation, compared to the groups with .02 taper instruments. The examination of apical microleakage by investigating the penetration depth revealed also poorest results in these groups. It is remarkable that the relatively new silicone-based obturation material GuttaFlow exhibited very good results. So in all groups equivalent good or even better results could be obtained with this Sealer in relation to the "gold standard" AH Plus.

### **1.4 Conclusion**

Based on the results of this study, it can be said that using instruments with a greater taper causes a worse apical microleakage and an increased amount of apically extruded sealer into the periapical tissue. Although, as the influence of the instruments' size used for the root canal preparation is quite few examined yet, further investigations are surely necessary to prove these results.

Regarding the relatively new developed silicone sealer GuttaFlow the results of this study are promising very much and it can be concluded that the material can compete with the established sealer AH Plus.

## 2 Einleitung

Der Wunsch, die eigenen Zähne möglichst lange zu erhalten, ist in der Bevölkerung in den letzten Jahren zunehmend größer geworden. Während früher vor allem im Rahmen der Schmerzbehandlung häufig eine Extraktion die einzige Therapiemöglichkeit darstellte, ist das Spektrum der zahnerhaltenden Maßnahmen heute deutlich größer. Im Rahmen der konservierenden Behandlung hat gerade die Endodontie immer mehr an Bedeutung gewonnen.

Das Ziel einer endodontischen Behandlung ist die möglichst vollständige Entfernung von Mikroorganismen aus dem Wurzelkanal. Da dies selbst nach einer sorgfältigen Aufbereitung und Spülung des Kanalsystems nur selten erreicht werden kann, ist eine dichte Wurzelkanalfüllung eine unverzichtbare Voraussetzung für den Behandlungserfolg. Nur dadurch kann eine Verschiebung von Flüssigkeiten unterbunden werden. Ist dies nicht der Fall, kann es zum Eindringen von Gewebeflüssigkeit aus dem Periapikalraum in das Kanalsystem sowie zum Übertritt von Bakterien aus dem Wurzelkanalsystem in das periapikale Gewebe kommen. Als Folge kann eine chronische Entzündung entstehen, die akut exazerbieren kann [9, 15]. Wünschenswert ist daher eine möglichst vollständige, dreidimensionale Füllung, die den Kanal sowohl im apikalen und koronalen Abschnitt, als auch die akzessorischen Kanäle adäquat füllt, und somit einer Infektion durch Keime aus der Mundhöhle vorbeugt [7, 21, 34]. Neben der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung ist die apikale Überstopfung von Wurzelkanalfüllpasten von großer Bedeutung. Die Gefahr von postoperativen Schmerzen, sowie einer permanenten Gewebsirritation im Sinne einer Fremdkörperreaktion sollte in diesem Zusammenhang nicht unterschätzt werden.

In der endodontischen Behandlung werden heute zahlreiche Materialien, Techniken und Instrumente eingesetzt, um die Wurzelkanalfüllpasten (Sealer) in das Kanalsystem einzubringen. Dabei können Unterschiede hinsichtlich der Dichtigkeit, sowie der Menge an apikal überpresstem Füllmaterial auftreten.

Neben der Auswahl des geeigneten Füllmaterials gibt es somit auch weitere Faktoren, die den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung maßgeblich beeinflussen können.

Ziel dieser Studie war es, die apikale Dichtigkeit (apical microleakage) sowie die Menge des apikal überpressten Sealers (apically extruded sealer) in Abhängigkeit von unterschiedlichen Konizitäten, sowie variierenden Aufbereitungsgrößen zu untersuchen. Dies geschah anhand der Auswertung von linearen Penetrationstiefen, der

Penetrationsfläche sowie Messung der apikal überpressten Sealmenge. Dabei sollte gleichzeitig untersucht werden, ob der thixotrop eingestellte Silikon-Sealer GuttaFlow gegenüber einem klassischen Sealer auf Epoxidharz-Basis (AH Plus) bei den differenten Aufbereitungsgrößen und -konzentrationen Unterschiede erkennen lässt.

### **3 Literaturübersicht**

#### **3.1 Die Wurzelkanalaufbereitung**

Für den langfristigen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung sind die genaue Kenntnis der Anatomie und Morphologie der Wurzelkanäle sowie eine rationelle und systematische Aufbereitungstechnik Voraussetzung [39, 41, 48, 95, 98].

Die Ziele der Wurzelkanalaufbereitung sind das Entfernen des Kanalinhalt, die Desinfektion des Wurzelkanals, die Formgebung und der hermetische Verschluss der Kanäle nach apikal und koronal. Ziel dieser Maßnahmen ist stets das Herbeiführen eines entzündungsfreien Zustandes der apikalen Region. Durch schwierige topographische Verhältnisse des Wurzelkanals und instrumentelle bzw. materialbedingte Unzulänglichkeiten sind diese Voraussetzungen schon im geraden Wurzelkanal nicht immer sicher erreichbar [5, 115].

Der Kenntnis über die Anatomie und Morphologie der Wurzelkanäle kommt im Rahmen der endodontischen Behandlung eine besondere Bedeutung zu, besonders, da es sich bei Wurzelkanälen um stark verzweigte Kanalsysteme mit zahlreichen Seitenkanälchen, Aufzweigungen und Ramifikationen handelt [18, 25, 43, 71, 72, 73, 74]. Der Hauptkanal verjüngt sich in apikaler Richtung und bildet ca. 0,5 - 1 mm koronal des anatomischen Apex das Foramen physiologicum [13, 112], wo das Pulpagewebe in das apikale Mischgewebe übergeht. In den seltensten Fällen ist der gesamte Kanalquerschnitt kreisrund [37]. In den meisten Fällen nähert sich der Wurzelquerschnitt erst im apikalen Bereich der Kreisform. Etwa 85% der Wurzelkanäle weisen außerdem im apikalen Drittel eine Krümmung auf [85]. Der Kanaldurchmesser wird mit zunehmendem Alter kleiner [37, 57]. Zusätzlich kommt es im Laufe der Zeit zur Apposition sowie möglicherweise auch zur Resorption von Wurzelzement im apikalen Bereich. Daher liegen die Foramina häufig nicht direkt am Apex, sondern etwa 0,5 - 3 mm davon entfernt [85].

##### **3.1.1 Die Bedeutung der Wurzelkanalaufbereitung**

Eine gründliche mechanische Aufbereitung, Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanals sind die entscheidenden Maßnahmen bei der endodontischen Behandlung. Liegen diese Grundvoraussetzungen nicht vor, kann nicht mit einem Behandlungserfolg gerechnet werden [41]. Schon geringe Mengen organischen Gewebes, welche im Wurzelkanal belassen werden, können Entzündungen und immunologische Reak-

tionen im Parodont hervorrufen [104]. Das Hauptziel der Aufbereitung besteht somit darin, infiziertes und nekrotisches Pulpagewebe und Kanalwanddentin zu entfernen, die Keimzahl im Kanal auf unpathologische Werte zu reduzieren, sowie den erneuten Zutritt von Bakterien zu verhindern [27, 39, 41, 44, 55, 70, 95, 116]. Angestrebt wird bei der Aufbereitung ein möglichst runder Querschnitt. In korono-apikaler Richtung sollte die Aufbereitung zu einer gleichmäßig konischen Erweiterung, mit dem kleinsten Durchmesser an der apikalen Konstriktion und dem größten Querschnitt koronal führen, wobei die Kanal Anatomie weitestgehend erhalten bleiben sollte [33, 70, 95].

### **3.1.2 Die Arbeitslänge**

Die Bestimmung der Arbeitslänge ist wichtig, um ein Überinstrumentieren mit Traumatisierung des periapikalen Gewebes bzw. ein Unterinstrumentieren mit daraus resultierender unvollständiger Wurzelkanalfüllung zu verhindern. Die exakte Wurzelkanallänge wird mittels Taktilität, Röntgenmeßaufnahmen und der Endometrie bestimmt. Die Aufbereitung sollte sowohl bei vitaler, als auch bei nekrotischer Pulpa bis zum physiologischen Foramen erfolgen, welches etwa 1-2 mm vor dem röntgenologischen Apex liegt [41, 42, 108]. In der Literatur finden sich zahlreiche Empfehlungen, wonach die Aufbereitung 0,5 mm vor dem röntgenologischen Apex enden sollte [57, 113].

### **3.1.3 Die Aufbereitungsgröße**

Hinsichtlich des Aufbereitungsdurchmessers ist zu beachten, daß nicht nur das pulpare Weichgewebe, sondern, bei einer infizierten Nekrose, auch das zirkumpulpare Dentin der Kanalwand bis zu 1,2 mm tief mit Mikroorganismen und Endotoxinen besiedelt sein kann [83, 84]. Somit ist es unbedingt notwendig, möglichst viel infiziertes Kanalwanddentin abzutragen, ohne dabei die Wurzel durch übermäßigen Materialabtrag zu schwächen. In Verbindung mit der chemo-mechanischen Reinigung, die weiter unten beschrieben wird, ist eine Keimreduzierung zu erreichen, die langfristig klinische Erfolge in etwa 70 - 80% der Fälle ermöglicht [26, 96]. Empfehlungen zufolge sollte die Erweiterung des Wurzelkanals um mindestens drei bis vier ISO-Größen nach der initialen apikalen Feile bei rundem, sowie um mindestens fünf ISO-Größen bei ovalem oder schlitzförmigem Kanalquerschnitt erfolgen [56, 116]. Der Materialabtrag sollte zirkulär gleichmäßig erfolgen, um ein Abweichen des

präparierten Wurzelkanallumens zu einer Seite der Wurzel zu vermeiden [60]. Diese Anforderungen sind bei geraden oder leicht gekrümmten Kanälen relativ einfach zu erfüllen. Bei stärker gekrümmten Kanälen gestaltet sich dies jedoch problematisch. Die Kanalkrümmung sollte daher vor der Präparation bekannt sein, um die Aufbereitungstechnik, sowie die Auswahl der Aufbereitungsinstrumente den tatsächlichen Kanalverhältnissen anpassen zu können.

### **3.2 Wurzelkanalaufbereitungsinstrumente**

Das Instrumentendesign hat neben der Aufbereitungstechnik einen entscheidenden Einfluss auf die Qualität der Wurzelkanalaufbereitung. Endodontische Instrumente unterscheiden sich in der Art der Legierung und der geometrischen Form.

Die Arbeitsweise der Aufbereitungsinstrumente wird durch folgende Eigenschaften bestimmt:

- Der Schneidekantenwinkel ist der Winkel, den die Schneidekanten mit der Instrumentenachse bilden. Er ist entscheidend für die Effizienz des Instruments.
- Der Spanraum ist das Maß für die Abtragsleistung und die Fähigkeit, Material aus dem Kanal zu transportieren.
- Der Kerndurchmesser hat großen Einfluss auf die Flexibilität und Bruchsicherheit des Instrumentes. Je größer der Kerndurchmesser ist, umso höher wird die Bruchsicherheit, die Flexibilität dagegen nimmt ab.
- Der Torsionswinkel ist der Winkel, bei dem ein an der Spitze verklemmtes Instrument frakturiert [92].
- Die Schneidleistung ist bei der Wurzelkanalaufbereitung von entscheidender Bedeutung. Sie ist abhängig vom Querschnitt des Instruments, der Schneidenanzahl des Arbeitsteils, dem Schneidekantenwinkel und der Legierung. Die Schneidleistung flexibler Instrumente aus Edelstahl ist besser, als die herkömmlicher Instrumente aus Edelstahl oder aus einer Nickel-Titan-Legierung [92].
- Die Spitzengeometrie hat einen entscheidenden Einfluss auf die resultierende Kanalform. Flexible endodontische Instrumente mit modifizierter, nichtschneidender Spitze (Batt-Spitze) besitzen eine bessere Zentrierung im Kanal [90].

Herkömmliche Wurzelkanalinstrumente wurden früher aus Kohlenstoffstählen hergestellt. Heute verwendet man säurebeständige Chrom-Nickel-Edelstähle, die eine geringe Korrosion aufweisen [91]. Daneben existieren seit einigen Jahren auch In-

strumente aus Nickel-Titan-Legierungen. Da diese Instrumente in der vorliegenden Studie zur Aufbereitung eingesetzt wurden, sollen sie an dieser Stelle näher beschrieben werden.

Zusammengesetzt wird die Legierung, je nach Hersteller, etwa aus 55 Gewichtsprozent Nickel und 45 Gewichtsprozent Titan. Die 60-Nitinol-Legierung hingegen besteht aus 60% Nickel und 40% Titan. Für Systeme zur maschinellen Aufbereitung werden fast ausschließlich Nickel-Titan-Instrumente aus 55-Nitinol hergestellt, während Nickel-Titan-Handinstrumente aus beiden Legierungsarten produziert werden. Die herausragende Eigenschaft dieser Instrumente liegt in der dreifach höheren Flexibilität gegenüber herkömmlichen Stahlinstrumenten. Nickel-Titan-Instrumente sind so flexibel, dass ein gebogenes Instrument von allein in seine ursprüngliche Lage zurückkehrt (sog. Memory-Effekt), sobald es nicht mehr unter Spannung steht. Dieses Formerinnerungsvermögen erlaubt es, dass diese Instrumente selbst beim Aufbereiten stärker gekrümmter Wurzelkanäle in der Lage sind, ihre Ausgangsform wieder einzunehmen und nicht irreversibel verformt werden [10, 16, 28, 92]. Zurückzuführen ist dieser Effekt auf den Elastizitätsmodul dieser Legierung, dass etwa ein Fünftel des Wertes für Chrom-Nickel-Stahlinstrumente beträgt [114].

Aufgrund der Superelastizität werden die Instrumente durch maschinelle Fräsung und nicht, wie bei Stahlinstrumenten üblich, durch Verdrillung hergestellt.

Bei entsprechender Routine können auch stärker gekrümmte Kanäle bis zu ISO-Größen von 30-40 aufbereitet werden, ohne dass größere Abweichungen vom Kanalverlauf oder gar Perforationen auftreten. Nickel-Titan-Instrumente, die speziell für die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung entwickelt wurden, unterscheiden sich im Instrumentendesign und in ihrer Handhabung zum Teil ganz erheblich von den konventionellen Handaufbereitungsinstrumenten. Viele Systeme verwenden unterschiedliche Konizitäten (Taper) zum Erreichen einer konischen Präparation des Wurzelkanals und zur Steigerung der Effektivität der Aufbereitung. Übliche Konizitäten sind .02, .04 und .06. Dabei werden die Instrumente mit einer Konizität von .06 zur koronalen Erweiterung verwendet. Anschließend wird das mittlere Kanaldrittel mit .04-Instrumenten präpariert. Instrumente mit der Konizität .02 dienen der apikalen Erweiterung. Einige Aufbereitungssysteme bieten sogar Konizitäten bis 12% (Quantec) oder sogar 20% (GT Rotary) für die koronale Aufbereitung an.

Grenzen der Anwendung von Ni-Ti-Instrumenten liegen in der Aufbereitung von Kanälen mit schlitzen- oder nierenförmigen Querschnitten. Aufgrund der hohen Flexi-

bilität der Instrumente lassen diese sich nicht in die bukkalen und lingualen Ausläufer solcher Wurzelkanäle pressen [38]. Auch wenn während der Initialbehandlung eine Stufe in die Kanalwand präpariert wird, kann diese mit Nickel-Titan-Instrumenten nicht überwunden werden, weil sie sich nicht adäquat vorbeiegen lassen [38].

### **3.3 Entfernung der Schmierschicht**

Eine wichtige Voraussetzung für die Dichtigkeit der Wurzelfüllung ist die Entfernung der Schmierschicht nach der Aufbereitung. Da in der 1-2 $\mu$ m dicken Schmierschicht Bestandteile wie nekrotische Pulpazellen, Bakterien, Blutzellen und Gewebereste vorkommen, würde dabei der Wurzelkanal trotz dichter Füllung ausreichend infiziert sein und eine Entzündungsreaktion hervorgerufen werden [9, 17, 23, 29, 50, 79, 118]. Durch den Verbleib der Schmierschicht auf der Kanaloberfläche wird verhindert, dass das Wurzelfüllmaterial optimal an der Kanalwand adaptieren und der Sealer in die Dentintubuli eindringen kann, woraus letztlich der dichte Verschluss resultieren würde [17, 23, 51, 54, 76]. Bis heute haben sich mehrere Spüllösungen zur Entfernung der Schmierschicht bewährt, wobei Zitronensäure in 5 bis 50%iger Konzentration sehr effektiv die Schmierschicht auf der Kanaloberfläche entfernt [8, 99, 105, 118, 125]. Daneben werden auch Spüllösungen wie .05 bis 5%iger Natriumhypochloritlösung und 70 bis 95%iger Alkohol verwendet, um das Gewebe aufzulösen und die Wurzeloberfläche zu reinigen und zu desinfizieren [99, 105, 118].

### **3.4 Trocknen des Wurzelkanals**

Einen wichtigen Faktor für eine dichte Wurzelfüllung stellt zudem auch die Trocknung der Kanalwände dar, da erst dann eine ausreichende Adhäsion der Sealer an der Kanaloberfläche erzielt werden kann [7, 19, 49, 97]. Dieser Prozess sollte mit Hilfe von Papierspitzen in geeigneten Größen stattfinden und solange andauern, bis die verwendete Papierspitze dem Kanal keinerlei Feuchtigkeit mehr entnimmt [7, 97].

### **3.5 Bedeutung der Wurzelkanalfüllung**

Die Ergänzung zur optimalen Desinfektion stellt die einwandfreie Wurzelkanalfüllung dar. Bei einer inadäquaten Wurzelkanalfüllung würde die Perlokation, also das Durchsickern von kontaminierten Flüssigkeiten in den und aus dem Wurzelkanal die Erfolgsaussichten in Frage stellen. Studien ergaben, dass 73% der behandelten Wur-



zelkanäle aufgrund einer nicht einwandfrei durchgeführten Wurzelkanalbehandlung klinisch zu einem Misserfolg führten. Andere Studien nennen sogar die inadäquate Wurzelkanalfüllung als Hauptmisserfolgsquelle [1, 45, 47, 75, 104]. Wie schon erwähnt, sind Abbauprodukte und Toxine von Mikroorganismen, die ins periapikale Gewebe eindringen können, in der Lage, eine schon abgeklungene Entzündung wieder in die akute Phase zu überführen. Darüber hinaus sind auch noch nicht abgestorbene Mikroorganismen, die trotz einwandfreier mechanischer Bearbeitung und chemischer Desinfektion des Wurzelkanalsystems persistieren, dazu fähig. Eine dicht hergestellte Wurzelkanalfüllung soll die Penetration dieser Substanzen verhindern und die verbliebenen Bakterien gegen die Umgebung isolieren, so dass eine Substratzufuhr blockiert werden kann. Die Wurzelfüllung sollte daher bakteriendicht sein und bis zum Foramen physiologicum reichen. Gleichzeitig sollte jedoch eine Überfüllung des Wurzelkanals verhindert werden, da das Eindringen von Wurzelkanalfüllmaterial in das periapikale Gewebe eine Fremdkörperreaktion hervorrufen kann [52].

### **3.6 Bedeutung der Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)**

Die Anforderungen an einen Sealer reichen vom schnellen Abbinden, über Volumensstabilität, Unlöslichkeit gegenüber Gewebeflüssigkeiten, bis hin zu adhäsiven Eigenschaften. Um diese Anforderungen zu erreichen, wurden zahlreiche Materialien entwickelt. Da das Abdichtungsvermögen ein entscheidendes Kriterium für die Erfolgsrate einer Wurzelkanalbehandlung darstellt, ist diese Eigenschaft für einen Sealer als Teil der Wurzelkanalfüllung unentbehrlich. Für die Dichtigkeit eines Sealers ist entscheidend, dass dessen Schichtstärke möglichst gering gehalten wird. Studien zu Folge erhöht sich bei steigender Schichtstärke die Wahrscheinlichkeit, dass bezüglich der Dichtigkeit ungünstige Faktoren wie Porositäten und Hohlräume auftreten [20, 31, 53, 122]. Daneben ist für die Qualität einer Wurzelkanalfüllung die dimensionale Änderung des Sealers nach erfolgter Füllung der Kanäle von entscheidender Bedeutung. Studien belegen, dass ab einer Sealerschrumpfung von 1% Bakterien in die entstandenen Hohlräume eindringen können [81].

### **3.7 Sealereigenschaften**

Es existieren zahlreiche Studien zur Ermittlung der Materialeigenschaften von Sealern [12, 26, 46, 50, 80, 86]. Im Folgenden sollen die in dieser Arbeit verwendeten Sealer näher beschrieben werden.

#### **3.7.1 AH Plus**

Vor etwa 50 Jahren kam mit AH 26 der erste, auf Epoxidharzbasis hergestellte Sealer auf den Markt. Zahlreiche Studien haben bereits die Eigenschaften dieses Sealers untersucht [4, 11, 12, 61, 62, 80]. Neben positiven Eigenschaften wie einer einfachen Handhabung so wie guter Revisionsmöglichkeit wies es allerdings als Nachteil auf, dass es beim Abbinden eine Farbumwandlung von gelb zu grau-schwarz hervorruft, was für den Patienten kosmetisch nicht erfreulich war [7]. Unter anderem aus diesem Grund wurde AH Plus als Nachfolger entwickelt. Neben einer Farbstabilität besitzt es im Vergleich zu AH 26 auch weitere Vorteile. Es traten bei AH Plus geringe Zellschädigungen auf, und zusätzlich hatte man hervorragende Dichtigkeitswerte bedingt durch eine minimale Dimensionsänderung ermitteln können [4, 19, 58, 59, 81, 82, 94, 107]. Alles in allem wurde durch AH Plus ein Material entwickelt, das Eigenschaften mit sich brachte, die sich den anderen Produkten gegenüber durchsetzen konnten. Daher gilt es als ein Standardmaterial. Auch in dieser Arbeit sollten speziell dessen Eigenschaften bezüglich der bisher so positiven Erfahrungen geprüft werden.

#### **3.7.2 GuttaFlow**

Die Entwicklung des neuen Obturationsmaterials GuttaFlow basiert auf dem von der Firma Coltène hergestellten Sealer RoekoSeal. Dieses ist ein additionsvernetzendes, auf Silikonbasis hergestelltes Material, das gute Abdichtungseigenschaften aufweist [14, 24, 30, 88, 89, 123, 124]. Im Gegensatz zu vielen anderen verwendeten Sealern weist RoekoSeal eine leichte Abbindeexpansion auf (0,2%) [81]. Die Entwicklung von GuttaFlow kombiniert den Sealer RoekoSeal mit seiner Silikon-Komponente mit Guttapercha-Kügelchen der Größe 40 – 45 µm. Diese Kombination soll die Fließfähigkeit des Materials erhöhen, so dass Spalträume und laterale Kanälchen des Wurzelkanals obturiert werden können. GuttaFlow ist ein Kaltfüllsystem, das ohne Erwärmung mittels eines Applikators in den Wurzelkanal injiziert wird. Es wurden mit GuttaFlow hinsichtlich der Dichtigkeit des abgefüllten Wurzelkanals gute Ergebnisse erreicht [88]. Bei Farbstoffpenetrationstests zeigte das Material keine höheren

Undichtigkeiten, wenn die Sealerschicht dicker war [89]. Diese Werte wurden bei ausschließlich mit GuttaFlow ohne Zentralstift versiegelten Wurzelkanälen nicht verschlechtert. Dies ist ein weiteres Indiz auf das gute Abdichtungsvermögen des GuttaFlow. In dieser Studie sollte daher auch dieser Sealer erneut auf dessen positiven Eigenschaften hin geprüft werden.

## 4 Problemstellung

Im Rahmen dieser In-vitro-Studie sollte geklärt werden, welchen Einfluss die Konizität und die Aufbereitungsgröße der verwendeten Instrumente auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung, sowie auf die Menge überpressten Füllmaterials im Bereich des Periapex haben. Gleichzeitig sollte untersucht werden, ob der auf Silikon basierende Sealer GuttaFlow im Vergleich zu einem klassischen Sealer (AH Plus) Unterschiede hinsichtlich der Dichtigkeit und der Menge an überpresstem Füllmaterial aufweist. Nach erfolgter Wurzelkanalaufbereitung und Wurzelkanalfüllung sollten die lineare Penetrationstiefe und die Penetrationsfläche im Wurzelkanal mittels eines Lichtmikroskops ermittelt werden. Zusätzlich sollte die apikal überpresste Sealermenge mittels einer Präzisionswaage gemessen werden.

Als Nullhypothese wurde angenommen, dass die Verwendung von Aufbereitungsinstrumenten mit einem zweiprozentigen Konus zu einer annähernd parallelwandigen Gestaltung der Wurzelkanäle und in Folge der eingebrachte Guttapercha-Stift wie ein Kolben wirkt und zu einer erhöhten Sealerüberpressung nach apikal führt. Zudem wurde angenommen, dass mit größeren Konizitäten aufbereitete Wurzelkanäle eine bessere Verteilung des Sealers ermöglichen, woraus wiederum eine höhere Dichtigkeit der Wurzelfüllung resultiert. In Bezug auf die eingesetzten Sealer AH Plus und GuttaFlow wurde angenommen, dass der Einsatz des epoxidbasierten Sealers AH Plus, aufgrund dessen niedrigerer Viskosität ebenfalls zu einer erhöhten Sealerüberpressung nach apikal führt. Diese Annahmen sollten durch die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Arbeit überprüft werden.

## **5 Material und Methoden**

### **5.1 Vorbereitung der Wurzelkanäle**

Nach Lagerung in einer 10 %igen Formalinlösung wurden die 90 menschlichen, extrahierten Front- und Eckzähne mit einem zylinderförmigen Diamantschleifer trepaniert. Die anschließende Längenbestimmung erfolgte durch das Vorschieben eines K-Reamers ISO 15 bis zur Sichtbarkeit am Apex. Durch diesen Arbeitsschritt wurde gleichzeitig die apikale Gängigkeit (apical patency) des Wurzelkanals sichergestellt. Die Arbeitslänge wurde 1 mm kürzer als die Zahnlänge eingestellt. Danach folgte die maschinelle Aufbereitung der Zähne in der Crown-down-Technik mit Flex-Master<sup>®</sup>-Instrumenten. Jeweils zwanzig Zähne wurden bis zu einer Größe von .02/#30, .02/#45, .06/#30 sowie .06/#45 aufbereitet. Weitere zehn Zähne wurden zur Erstellung einer Kontrollgruppe bis zur Größe .06/#45 aufbereitet.

Um die Schmierschicht nach der Kanalaufbereitung zu entfernen, wurde jeder Wurzelkanal während der Aufbereitung abwechselnd mit Zitronensäure (40 %) und Natriumhypochlorit (5 %) gespült. Die abschließende Spülsequenz beinhaltete 1 ml Zitronensäure (40 %) gefolgt von 1 ml Ethanol (70 %). Anschließend wurden die Wurzelkanäle mit jeweils passenden Papierspitzen getrocknet.

Als letzter Schritt der Aufbereitung wurde nun erneut die apikale Gängigkeit des Wurzelkanals mittels eines K-Reamers ISO 15 überprüft. Die Zähne wurden bewusst nicht apikal verschlossen, um die auch im endodontischen Alltag auftretende, komplizierte Situation einer periapikalen Läsion zu simulieren, bei welcher es durch den nicht vorhandenen Gegendruck zu einer Extrusion von Wurzelfüllmaterial kommen kann.

### **5.2 Wurzelkanalfüllungen**

Die 90 Probenzähne wurden in 9 Gruppen unterteilt, wobei jede Gruppe aus 10 Zähnen bestand. Die Einteilung der Gruppen erfolgte entsprechend der jeweiligen Aufbereitungsgröße, der Konizität der Aufbereitungsinstrumente, sowie des verwendeten Sealers. Die Wurzelkanalfüllung wurde in den Gruppen 1 bis 8 mit der Einstift-Technik (single cone technique) vorgenommen. Der eingesetzte Guttapercha-Stift wurde jeweils eine ISO-Größe kleiner als das zuletzt verwendete Aufbereitungsinstrument gewählt. Dadurch konnte dieser mit einer minimalen Klemmpassung auf Arbeitslänge eingebracht werden. In der Kontrollgruppe (= Gruppe 9) wurde die

Technik der Lateralkondensation angewandt. Hierbei wurde der zentrale Guttapercha-Stift durch 3 bis 4 weitere Stifte der ISO-Größe 20 ergänzt.

<b>Gruppe</b>	<b>Konizität (Taper)</b>	<b>ISO- Größe</b>	<b>Fülltechnik</b>	<b>Sealer</b>
1	.02	#30	Zentralstifttechnik	AH Plus
2	.02	#30	Zentralstifttechnik	GuttaFlow
3	.02	#45	Zentralstifttechnik	AH Plus
4	.02	#45	Zentralstifttechnik	GuttaFlow
5	.06	#30	Zentralstifttechnik	AH Plus
6	.06	#30	Zentralstifttechnik	GuttaFlow
7	.06	#45	Zentralstifttechnik	AH Plus
8	.06	#45	Zentralstifttechnik	GuttaFlow
9	.06	#45	Lateralkondensation	AH Plus

Als Wurzelkanalfüllpasten kamen der Silikon-Sealer GuttaFlow sowie der auf Epoxidharz basierende Sealer AH Plus zum Einsatz. Die beiden Sealer wurden nach dem Anmischen in eine Insulin-Spritze gegeben. Hierdurch wurde sichergestellt, dass pro Zahn eine standardisierte Menge an Sealer von 0,05 ml appliziert werden konnte. Diese Menge wurde auf einen Anmischblock gegeben, von wo aus sie mit einem Lentulo #25 in 2 Portionen aufgenommen und bei 400 U/min in den Kanal eingebracht wurde. Der Lentulo wurde dabei vorsichtig auf- und abbewegt und unter Beibehaltung der Rotation langsam aus dem Wurzelkanal entfernt. Die effektive Verweildauer des Lentulos im Wurzelkanal betrug bei allen Probenzähnen 10 Sekunden. Anschließend wurde der zentrale Guttapercha-Stift, benetzt mit dem restlichen Sealer, in den Kanal eingebracht. In der Kontrollgruppe wurde der zentral eingebrachte Guttapercha-Stift, nach dem Prinzip der kalten, lateralen Kondensation, durch weitere Guttapercha-Stifte der ISO-Größe 20 ergänzt.

### 5.3 Untersuchung des überpressten Sealers

Nach vollständiger Aushärtung des Sealers wurde die apikal überpresste Menge mit einem Skalpell entfernt und anschließend mittels einer Präzisionswaage gewogen. Die Messwerte wurden in einen Auswertungsbogen eingetragen.

### 5.4 Vorbereitung der Probenzähne

Nachdem der Füllvorgang beendet war, wurden die überschüssigen Guttapercha-Spitzen im koronalen Bereich durch einen vorher erwärmten Heidemann-Spatel entfernt und die koronale Kavität jedes Zahnes mit Glasionomerzement gefüllt. Anschließend wurden sie gruppenweise mit Nagellack in verschiedenen Farben versiegelt und getrocknet. Um ein seitliches Eindringen des Farbstoffes zu verhindern, wurde der Nagellack bei allen Zähnen insgesamt dreimal aufgetragen.



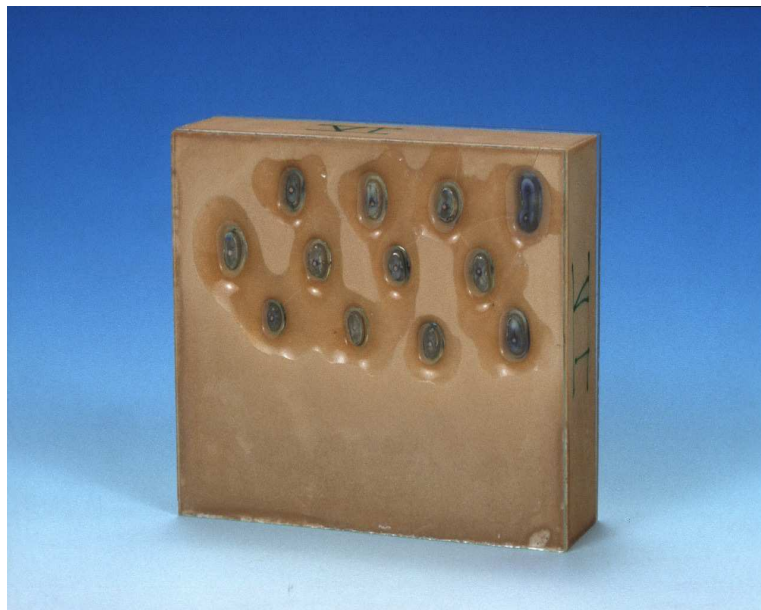
*Abb. 1: Versiegelung der Probenzähne mit Nagellack*

Nach diesem Arbeitsschritt wurde zunächst jeder Zahn im Bereich des Apex bis zum Erscheinen der Guttapercha-Spitze mittels einer Trennscheibe gekürzt. An dieser Stelle sollte im Erlanger Farbstoffpenetrationstest bei einer eventuell undichten Wurzelfüllung der Farbstoff eindringen können. Zu diesem Zweck wurden alle Probenzähne in mit 5 %iger Methylenblau-Lösung gefüllte Zentrifugengläser eingebracht und anschließend bei 30g für 3 Minuten (400 Umdrehungen/min) zentrifugiert (Abb. 2).



*Abb. 2: Zentrifuge des werkstoff-wissenschaftlichen Labors*

Nach der Zentrifugation wurden die 90 Probenzähne in insgesamt 9 Epoxidharzblöcke eingebettet. Dafür wurden jeweils 10 Zähne einer Gruppe mit Hilfe von Tetric Flow<sup>®</sup> auf einer Glasplatte fixiert. Die Herstellung der Blöcke erfolgte mit Alpha Die<sup>®</sup>, einem Epoxidharz (Abb. 3). Die Anfertigung der Serienschritte in 1 mm Abstand erfolgte mittels einer Innenlochsäge. Es resultierten 0,85 mm starke Serienschritte (Sägeblatt = 0,15 mm dick).



*Abb. 3: Epoxidharzblock*



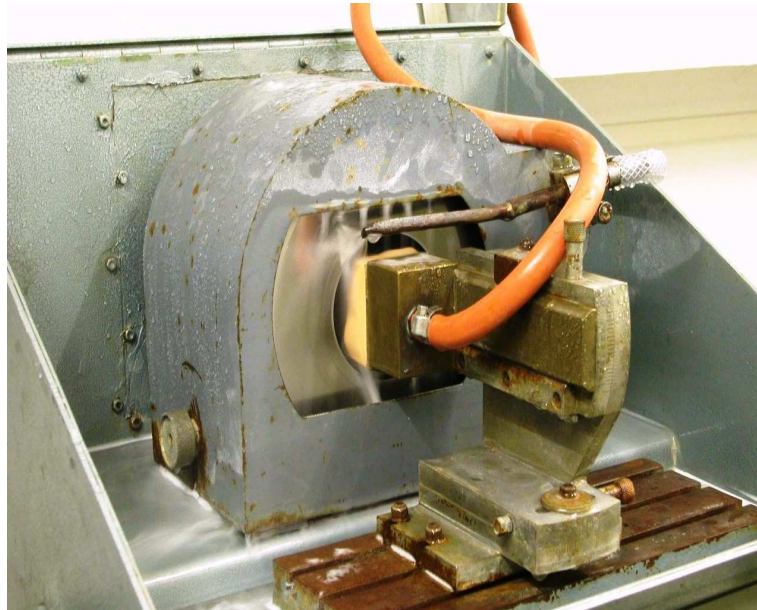


Abb. 4: Innenlochsäge

### 5.5 Dichtigkeitsmessungen der Wurzelkanalfüllungen

Pro Epoxidharzblock wurden somit 10 Schnitte im Abstand von 1 mm hergestellt (Abb. 5). Die Ermittlung der linearen Penetrationstiefe erfolgte unter dem Lichtmikroskop bei 40facher Vergrößerung.

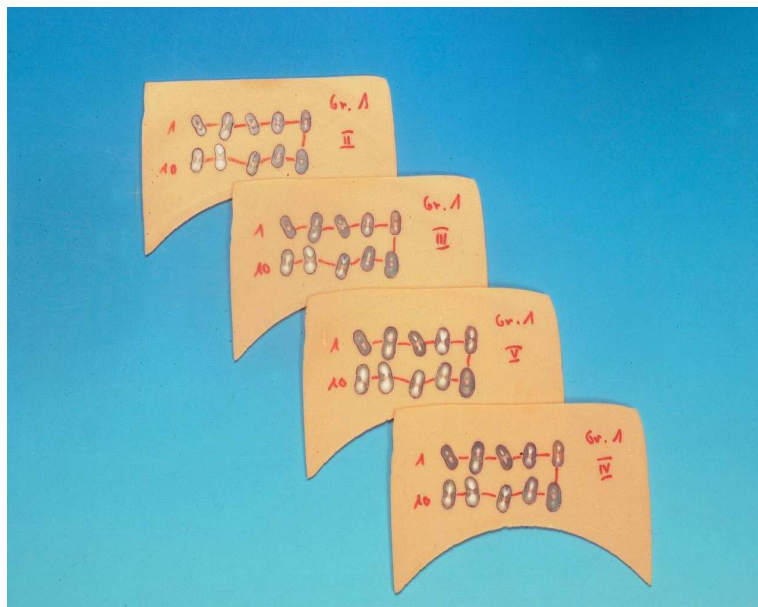


Abb. 5: Serienschritte

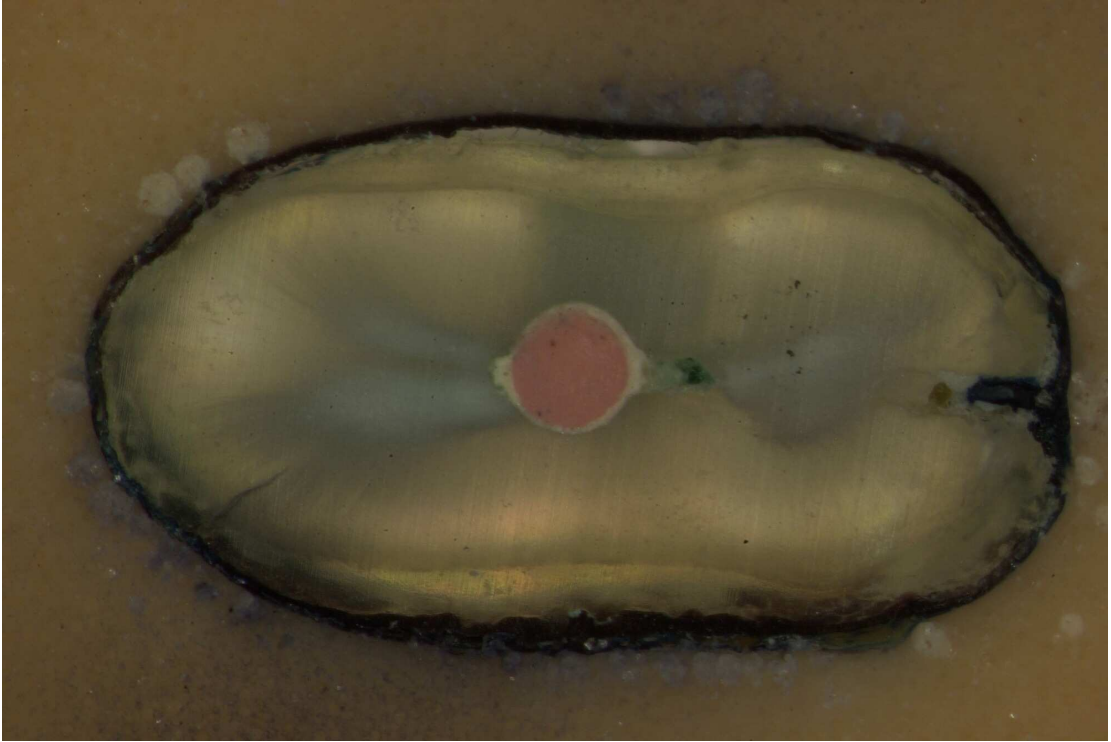
Die Auswertung wurde durch 3 unabhängige Untersucher durchgeführt. Jeder Untersucher hatte nur die Möglichkeit einer Ja-Nein-Entscheidung. In die dafür vorgesehenen Auswertungsbögen (Abb. 6) wurde durch den Untersucher für eine nicht

sichtbare Farbstoffpenetration eine „0“ und für eine sichtbare Farbstoffpenetration eine „1“ eingetragen. Auf diese Weise wurde die lineare Farbstoffpenetration ermittelt.

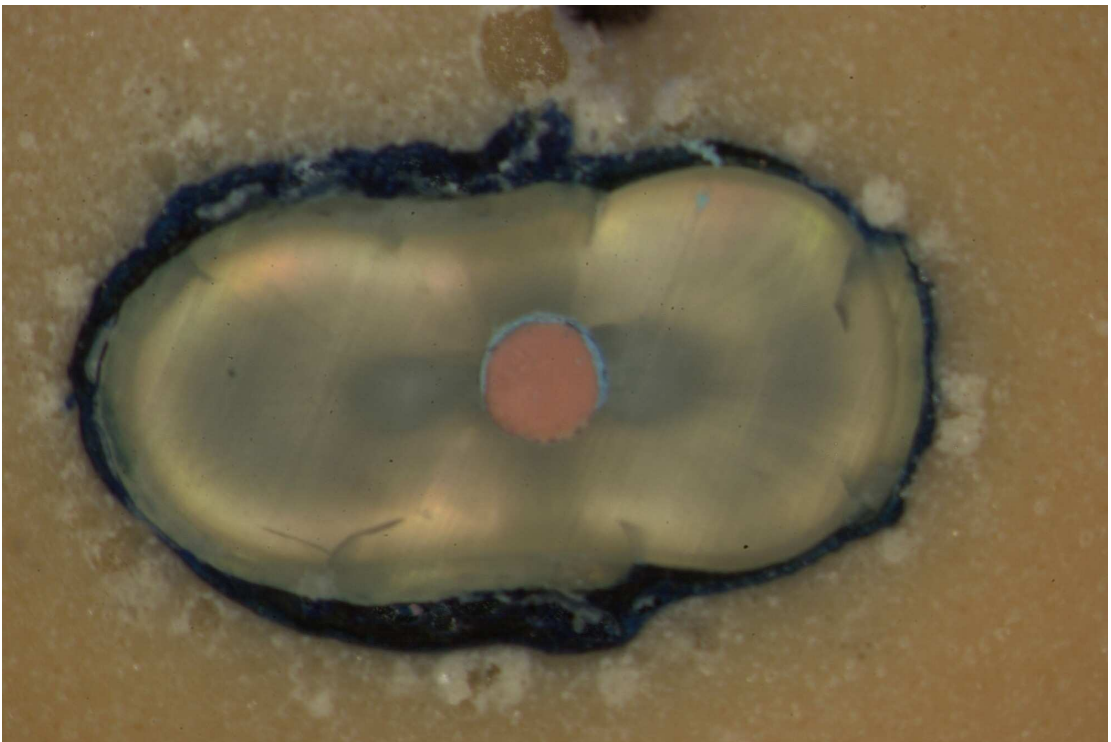
	Zahn 1	Zahn 2	Zahn 3	Zahn 4	Zahn 5	Zahn 6	Zahn 7	Zahn 8	Zahn 9	Zahn 10
Schnitt 1										
Schnitt 2										
Schnitt 3										
Schnitt 4										
Schnitt 5										
Schnitt 6										
Schnitt 7										
Schnitt 8										
Schnitt 9										
Schnitt 10										
0 = keine Farbstoffpenetration sichtbar 1 = Farbstoffpenetration sichtbar <b>Gruppe:</b> <span style="float: right;"><b>Untersucher:</b></span>										

*Abb. 6: Auswertungsbogen der linearen Penetrationstiefe*

Durch die weiter unten beschriebenen, positiven Eigenschaften von Methyleneblau als Farbstoff konnte bei Betrachtung der Serienschnitte unter dem Lichtmikroskop ein eindeutiges Ergebnis für die Farbstoffpenetration ermittelt werden (siehe Abb. 7, 8).



*Abb. 7: Apikaler Wurzelkanalabschnitt mit nicht vorhandener Farbstoffpenetration (keine Blaufärbung)*



*Abb. 8: Apikaler Wurzelkanalabschnitt mit vorhandener Farbstoffpenetration (Blaufärbung)*

## 5.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte durch das Statistikprogramm SPSS win<sup>®</sup> 12.0. Die apikalen Undichtigkeiten wurden mit Hilfe der folgenden Tests ausgewertet:

- Kolmogorov-Smirnov (KS) Test
- Kruskal-Wallis (KW) Test
- Mann-Whitney (MW) Test
- Wilcoxon Test
- T-Test für verbundene Stichproben
- univariate Varianzanalyse
- multivariate Varianzanalyse

Der allgemeine Wert der Signifikanz wurde bei  $p \leq 0.05$  festgelegt.

## 6 Ergebnisse

Die Menge an apikal überpresstem Sealer wurde nach dessen Abbindephase mittels einer Präzisionswaage gemessen. Anschließend erfolgte die mikroskopische Untersuchung der Serienschnitte. Die lineare Penetrationstiefe wurde mittels eines Ja-Nein-Systems ermittelt.

### 6.1 Auswertung des apikal überpressten Sealers

Zunächst wurde für jeden Zahn der Wert an apikal überpresstem Sealer ermittelt (Abb. 9).

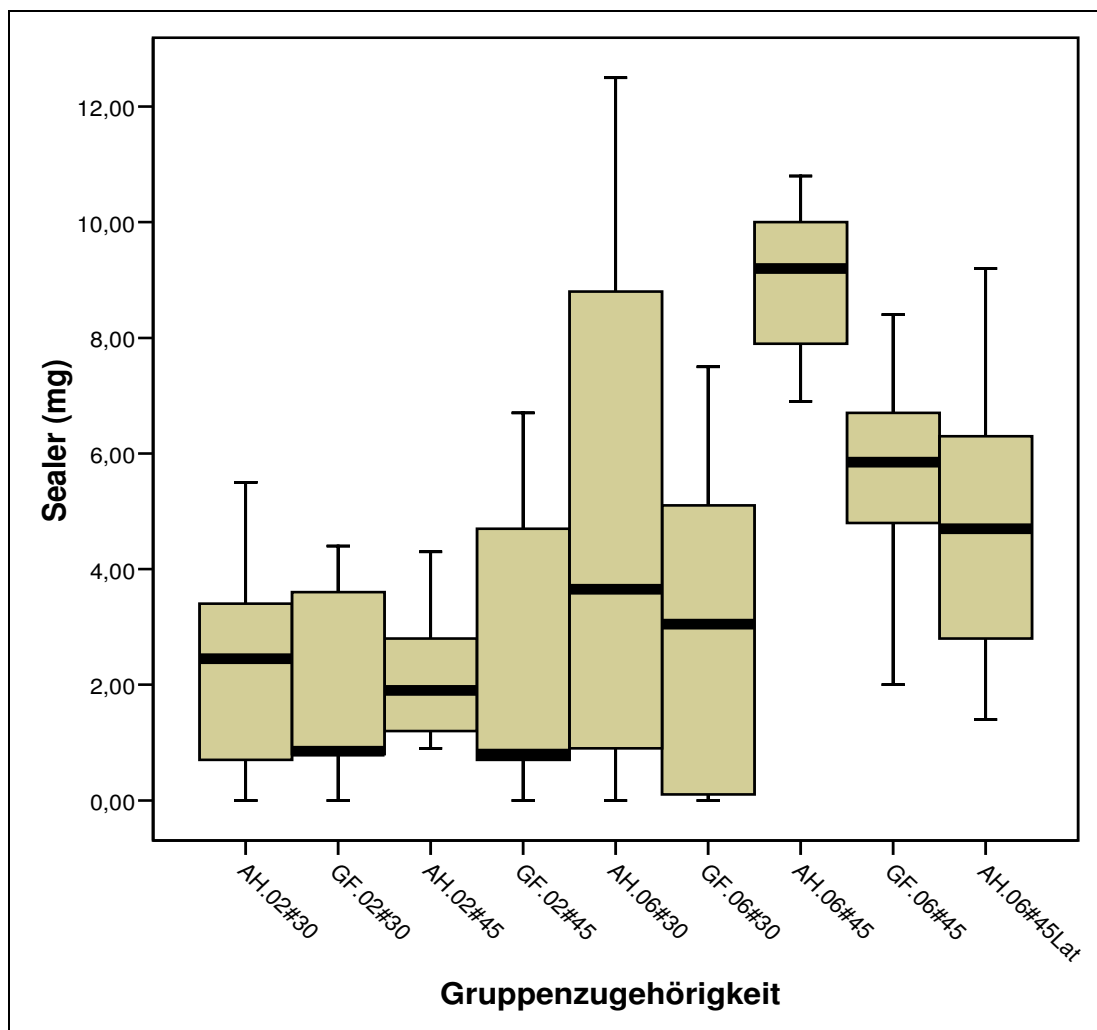


Abb. 9: apikal überpresste Sealermenge

Anschließend wurde aus diesen Werten für jede Gruppe ein Mittelwert errechnet. Dieser ist der Abbildung 10 zu entnehmen.

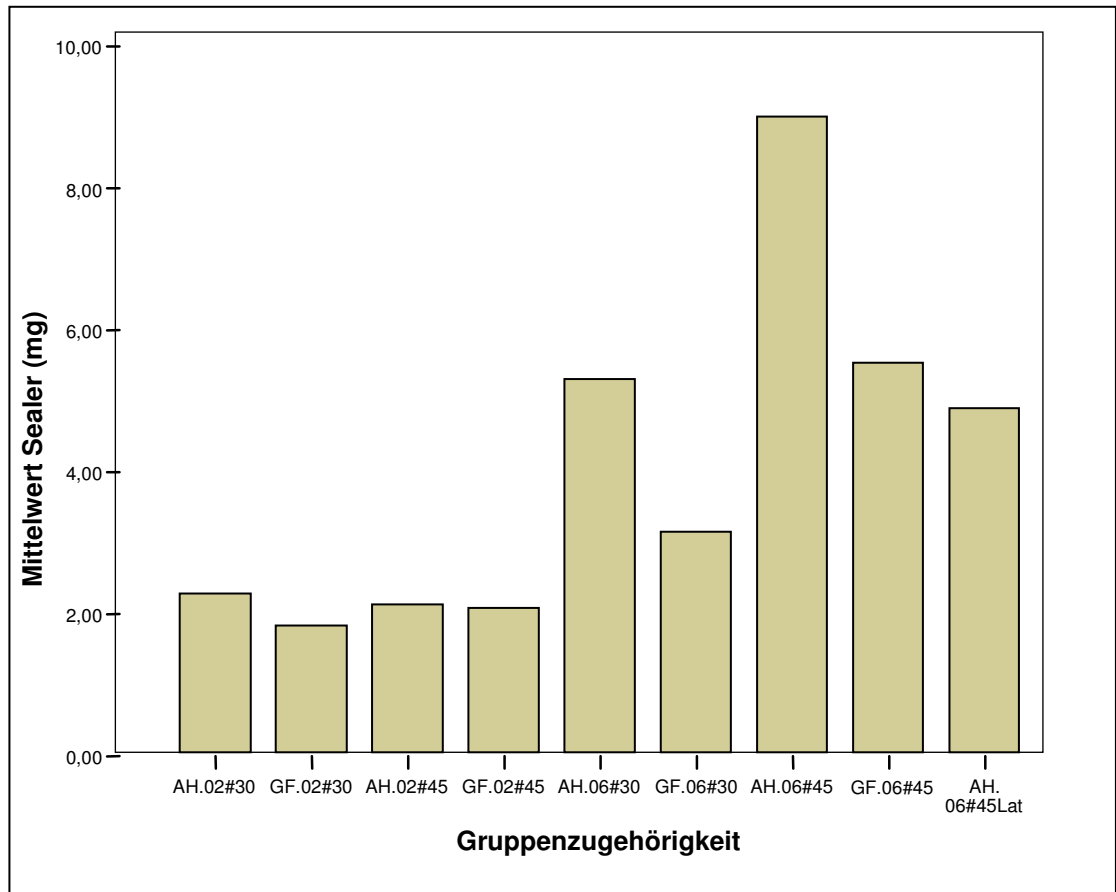


Abb. 10: apikal überpresste Sealermenge (Mittelwerte)

In Bezug auf die apikal überpresste Sealermenge lässt sich deutlich erkennen, dass bei einem verwendeten Taper von .06 unabhängig von der Aufbereitungsgröße mehr Sealer überpresst wurde als bei einem Taper von .02. Dieses Verhalten zeigt sich unabhängig vom verwendeten Sealer. Die größte Menge an überpresstem Sealer wurde bei der Aufbereitungsgröße .06/#45, mit AH Plus und der Zentralstifttechnik als Wurzelkanalfüllmethode gemessen.

In Bezug auf die zwei unterschiedlichen Sealer waren bei einem Taper von .02 keine deutlichen Unterschiede zu erkennen. Beim Taper .06 ist jedoch die Menge an überpresstem Sealer für GuttaFlow etwas geringer als bei AH Plus.

In der Kontrollgruppe wurde im Vergleich zu den Gruppen mit dem identischen Taper von .06 ein in etwa vergleichbarer Mittelwert errechnet. Eine Ausnahme stellt,

wie bereits erwähnt, die Gruppe mit AH Plus als Sealer und der Einstiftmethode als Fülltechnik dar. Die statistische Auswertung ergab einen signifikanten Einfluss des Sealers (univariate ANOVA;  $p=0,006$ ) sowie auch der Obturationstechnik (univariate ANOVA;  $p=0,008$ ) auf die Menge an überpresstem Material. Ebenso zeigten die Konizität und die Größe des Wurzelkanals einen signifikanten Einfluss auf die Sealerüberpressung (univariate ANOVA;  $p<0,001$ ). Auch die Kombination Sealer und Taper (univariate ANOVA;  $p=0,022$ ) sowie die Kombination Taper und Größe des Wurzelkanals (univariate ANOVA;  $p=0,008$ ) zeigten einen signifikanten Einfluss. Hingegen ließ die Kombination Sealer und Größe des Wurzelkanals keinen signifikanten Einfluss erkennen (univariate ANOVA;  $p=0,675$ ).

## **6.2 Auswertung der linearen Penetrationstiefen**

Die Untersuchung der linearen Penetrationstiefen erfolgte unter dem Lichtmikroskop und bei 40facher Vergrößerung. Sie wurde von drei unabhängigen Untersuchern durchgeführt. Da bei den ermittelten Werten der Untersucher eine Übereinstimmung vorhanden war und somit eindeutige Ergebnisse vorlagen, wurden die Einzelwerte auch hier zu einem Mittelwert zusammengefasst (siehe Abbildung 11). Dies verschafft dem Betrachter einen besseren Überblick und eine höhere Anschaulichkeit der Ergebnisse.

Dabei zeigten der Sealer (univariate ANOVA;  $p=0,008$ ), die Konizität des Wurzelkanals (univariate ANOVA;  $p=0,012$ ) sowie die Obturationstechnik (univariate ANOVA;  $p<0,001$ ) einen signifikanten Einfluss. Die Aufbereitungsgröße hatte dagegen keinen signifikanten Einfluss auf die Dichtigkeit (univariate ANOVA;  $p=0,164$ ). Auch die Kombinationen Sealer / Taper (univariate ANOVA;  $p=0,001$ ), Sealer / Aufbereitungsgröße (univariate ANOVA;  $p=0,003$ ), Taper / Aufbereitungsgröße (univariate ANOVA;  $p=0,002$ ) sowie Sealer / Taper / Aufbereitungsgröße (univariate ANOVA;  $p=0,017$ ) zeigten einen signifikanten Einfluss.

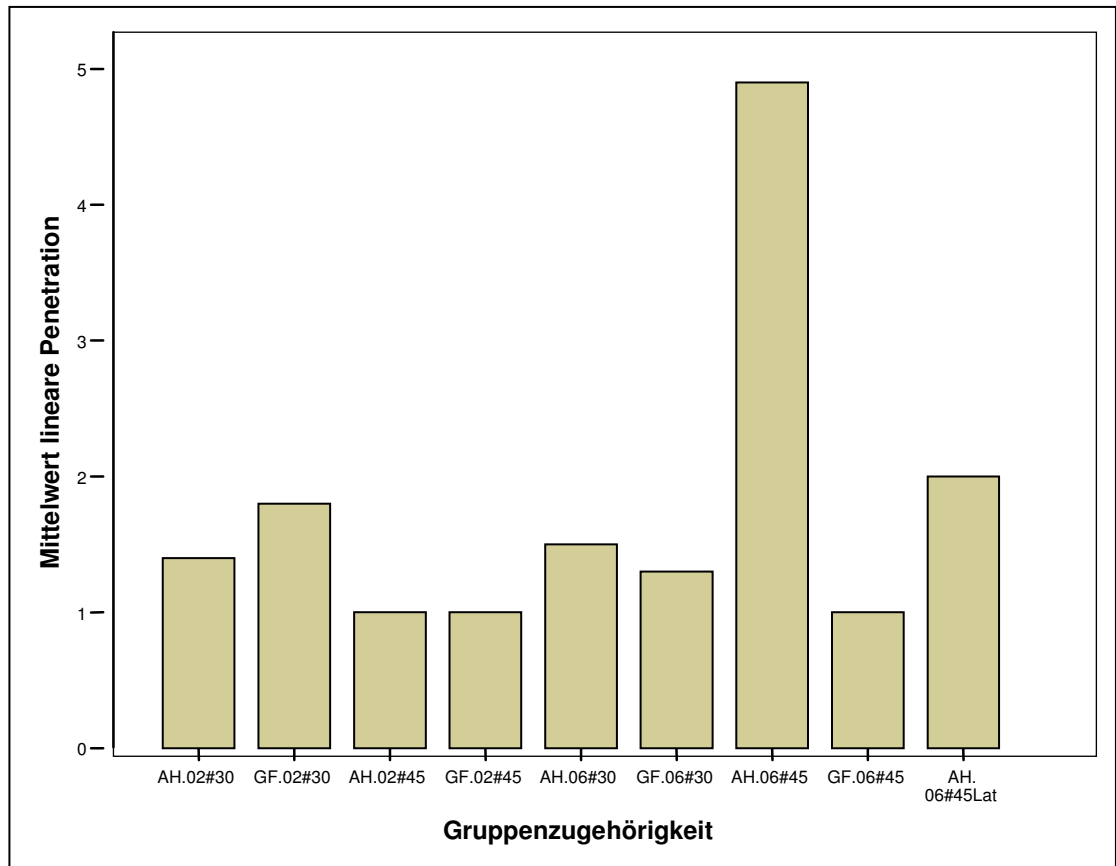


Abb. 11: lineare Penetrationstiefe als Mittelwerte dargestellt

Während bei GuttaFlow als Sealer die mittlere Penetrationstiefe in allen Gruppen etwa gleiche Werte aufweist, verhält es sich bei AH Plus anders. Hier zeigt sich bei einer Aufbereitungsgröße von .06/#45 ein deutlich schlechterer Wert als in den anderen Gruppen. Gleichzeitig ist aber zu erkennen, dass bei AH Plus bei der Aufbereitungsgröße .02/#45 im Vergleich zu allen Gruppen die höchste Dichtigkeitsverhalten nachgewiesen wurde, da in keinem der Serienschnitte eine Farbstoffpenetration nachzuweisen war. Auch die Kontrollgruppe mit dem verwendeten Sealer AH Plus und der Aufbereitungsgröße .06/#45, in der als Fülltechnik die Lateralkondensation angewandt wurde, zeigt ein ähnliches Dichtigkeitsverhalten wie die Gruppen, in denen die Single-cone-Technik angewandt wurde.



## 7 Diskussion

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss der Aufbereitungsgröße der verwendeten Instrumente sowohl auf das Dichtigkeitsverhalten als auch auf die Menge an apikal überpresstem Sealer hin zu untersuchen.

Zudem sollte durch die Verwendung von zwei unterschiedlichen Sealern, in dieser Studie, AH Plus und GuttaFlow, beurteilt werden, ob die Viskosität des Sealers einen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung und auf die apikal überpresste Sealermenge besitzt.

Die ideale Wurzelfülltechnik sollte keinen Sealer über das Foramen apicale hinauspressen und zugleich einen vollständigen und dichten apikalen Verschluss durch die Wurzelkanalfüllung ermöglichen. Diese Forderungen sind nicht in jedem Fall zu erfüllen. Für die vollständige und dichte Wurzelfüllung ist ein ausreichendes Reinigen und Glätten der Wurzelkanäle unumgänglich [49]. Zur Entfernung der Schmier-schicht hat sich eine Vielzahl an Spüllösungen bewährt, was wiederum eine wichtige Voraussetzung für ein vernünftiges Ergebnis darstellt [32, 117].

### 7.1 Bedeutung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung

Die Bedeutung der suffizienten Wurzelkanalfüllung basiert auf mehreren Kriterien: Diese sind die Homogenität, die Länge und die Dichte. Ausschlaggebend ist auch das von der Wurzelkanalfüllung unabhängige Kriterium der adäquaten Bearbeitung des Wurzelkanals. Allerdings sind auch klinische Kriterien, wie Symptomfreiheit, sowie das Ausbleiben von Rezidiven weitere Erfolgskriterien einer einwandfreien Wurzelfüllung.

Zahlreiche Studien nennen die inadäquat durchgeführte Wurzelfüllung als Hauptmisserfolgsquelle bei der Wurzelkanalbehandlung [1, 45, 47, 75, 104]. Bei einer inadäquat durchgeführten Wurzelkanalfüllung sind Abbauprodukte und Toxine von Mikroorganismen, die in das periapikale Gewebe eindringen können, in der Lage, eine schon abgeklungene Entzündung wieder in die akute Phase zu überführen. Dieselbe Gefahr kann zudem auch von Bakterien ausgehen, die trotz einwandfreier mechanischer Bearbeitung des Wurzelkanalsystems im selbigen überleben können. Eine dichte Wurzelkanalfüllung soll die Penetration dieser Substanzen verhindern und die verbliebenen Bakterien gegen die Umgebung isolieren, so dass eine Substratzufuhr blockiert werden kann. Die Wurzelkanalfüllung sollte daher flüssigkeits- und bakte-

riendicht sein und bis zum Foramen physiologicum reichen. Eine Überfüllung des Wurzelkanals sollte jedoch vermieden werden, da das Eindringen von Wurzelkanalfüllmaterialien in das periapikale Gewebe eine Fremdkörperreaktion hervorrufen kann [52].

## 7.2 Diskussion des Studiendesigns

Da man in dieser Arbeit den Einfluss der Aufbereitungsgröße der verwendeten Instrumente untersuchen wollte, wurde als gemeinsame Grundlage eine Standardisierungsmethode gewählt.

Hierzu wurden Zähne ausgewählt, die sich bezüglich ihrer Größe und Wurzelkanalanatomie entsprachen und einen gängigen und geraden Wurzelkanal aufwiesen. Nach der Trepanation wurde der apikale Dentinpfropf entfernt und die Gängigkeit des Wurzelkanals mittels ISO 15 Räumern sichergestellt.

Das Instrument wurde hierzu um 1 mm über die apikale Konstriktion hinaus geschoben. Anschließend erfolgte die maschinelle Aufbereitung sowie die Spülung zur Entfernung der Schmierschicht bei allen Wurzelkanälen nach dem gleichen Prinzip.

Zur Füllung der Wurzelkanäle wurde die Single-cone-Technik eingesetzt. Diese stellt ein Verfahren dar, bei dem in jeden Wurzelkanal nach dem Einbringen des Sealers ein zentraler Guttapercha-Stift, der sogenannte "Master-Point" [7, 34, 49, 97] eingesetzt wird. Nur in der Kontrollgruppe wurde hiervon abgewichen. In dieser Gruppe wurden die Kanäle nach dem Prinzip der Lateralkondensation gefüllt, um eine weitere Wurzelfülltechnik als Vergleichsgruppe zu haben.

Bei der lateralen Kondensation wurde der zentrale Guttapercha-Stift durch das seitliche Einbringen von weiteren, kleineren Guttapercha-Stiften ergänzt.

Die Zentralstifttechnik stellt eine Wurzelfüllmethode dar, welche sehr einfach zu standardisieren ist. Bei der vertikalen oder lateralen Kondensation hingegen können eher Abweichungen auftreten, weil diese Methoden techniksensitiver und somit von der Erfahrung des Behandlers abhängig sind.

Nach erfolgter Wurzelfüllung wurden die Zähne koronal mit Glasionomer-Zement verschlossen, mit Nagellack seitlich versiegelt, standardisiert in Methylenblau zentrifugiert, eingebettet und anschließend gesägt. Danach erfolgte die Auswertung der Serienschritte.

Es wurden somit alle Variablen ausgeschlossen, die eine Wurzelkanalbehandlung beeinflussen können, um allein den Einfluss von Aufbereitungsgröße und Konizität

in Bezug auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen unter Verwendung zweier unterschiedlicher Sealer zu untersuchen.

### **7.2.1 Auswahl und Prüfen der Probenzähne**

Bei den für diese Studie verwendeten Probenzähne handelte es sich ausschließlich um menschliche Frontzähne. Um ein Verteilen der standardisierten Sealmenge auf mehrere Wurzelkanäle, und somit eine Beeinflussung der Untersuchungsergebnisse zu verhindern, wurde nach der Trepanation mittels Wurzelkanalinstrumenten das Vorhandensein eines zweiten Kanals überprüft. Zähne mit mehreren Kanälen wurden von dieser Studie ausgeschlossen. Außerdem war es innerhalb des praktischen Teils dieser Arbeit notwendig, die Wurzelkanäle der insgesamt 90 Probenzähne nach der Trepanation mittels eines Wurzelkanalinstruments auf apikale Gängigkeit zu überprüfen. Dies geschah unter Zuhilfenahme eines ISO 15-Räumers. Konnte der Räummer bei diesem Vorgang um mehr als 1 mm durch den Apex vorgeschoben werden, wurde dieser Zahn nicht zur Untersuchung herangezogen, da diese Situation ein Überpressen des eingebrachten Sealers begünstigen würde. Zudem wurde die Position des Räumers mikroskopisch kontrolliert.

### **7.2.2 Bestimmung der Arbeitslänge**

Eine Erfolgsvoraussetzung der Wurzelkanalfüllung hängt unmittelbar mit der Lage des apikalen Endpunktes des verwendeten Wurzelfüllmaterials zusammen. Eine zu kurze Wurzelkanalfüllung würde einen ungefüllten Restraum des Wurzelkanals aussparen und damit die unerwünschte Wechselwirkung zwischen dem insuffizient gefüllten Wurzelkanal und dem periapikalen Gewebe begünstigen. Somit ist die chronische oder akute periapikale Läsion durch den Verbleib von nekrotischem oder infiziertem Pulpagewebe provoziert. Die Erfolgsrate ist auch dann beeinträchtigt, wenn die Wurzelkanalfüllung zu lang ist und die chemischen Bestandteile der Wurzelkanalfüllung durch direkte Einwirkung auf das periapikale Gewebe übergreifen können. Zusätzlich geht diese Traumatisierung des periapikalen Gewebes mit einer Infektion einher, zumal das Überinstrumentieren pathologisches Pulpagewebe in die periapikale Region gepresst wird. Außerdem ist mit einer Übererweiterung des Foramen apikale, und daraus resultierendem Überfüllen des Wurzelkanals zu rechnen. Mit einem Abstand von 1 mm zwischen optimal bis in die Gegend der apikalen Konstriktion aufbereitetem Wurzelkanal und Apex wurde nach Untersuchungsergebnis-

sen die höchste endodontische Erfolgsrate erzielt [112].

### **7.2.3 Maschinelle Aufbereitung**

Die Aufbereitung der Probenzähne erfolgte maschinell bis 1 mm vor dem Apex, nachdem zuvor mittels eines ISO 15-Räumers die Arbeitslänge bestimmt wurde.

Zur Aufbereitung wurden FlexMaster-Instrumente eingesetzt [15, 34, 49, 97] eingesetzt. Bei der Aufbereitung der Größe .06/#45 wurden K3-Instrumente (Sybron, Orange, CA, USA) eingesetzt, da das FlexMaster-System diese Größe nicht beinhaltet. Nach der Aufbereitung wurde abschließend nochmals die apikale Gängigkeit überprüft, um eine Verbolzung des Apex durch einen Dentinpfropf auszuschließen. Dies würde ein Austreten des eingebrachten Sealers am Apex verhindern und die Untersuchungsergebnisse negativ beeinflussen.

Durch die maschinelle Aufbereitung der Wurzelkanäle wurden möglichst runde Kanalgeometrien erreicht. Dies stellt eine Grundvoraussetzung für den Einsatz der Einstifttechnik dar.

### **7.2.4 Schmierschicht und Spüllösungen**

Bei der Schmierschicht handelt es sich um ein Konglomerat aus Odontoblasten, Gewebsresten, nekrotischen Pulpazellen, Bakterien sowie Blutzellen auf der Wurzelkanaloberfläche [65,68]. Diese stellt für das Wurzelfüllmaterial eine Barriere dar, die es daran hindert, sowohl die Wurzelkanalwände zu erreichen und zu bedecken, als auch in die Dentintubuli einzudringen [51, 54, 65, 76, 78, 110, 117]. Somit könnten nach erfolgter Wurzelkanalfüllung Bakterien eindringen [9, 79, 118, 125]. Ein Entfernen der Schmierschicht ermöglicht eine wesentlich bessere Haftung des Sealers an der Wurzelkanalwand [17, 32, 110, 111, 117]. Dadurch wird eine höhere Dichtigkeit erreicht und das Eindringen von Bakterien verhindert [17, 23, 29, 51, 102].

Um die Schmierschicht zu entfernen, haben sich verschiedene Spüllösungen in unterschiedlichen Konzentrationen bewährt. Diese Lösungen sollten in der Lage sein, das Pulpagewebe und das Dentin aufzulösen, sowie Auflagerungen an der Kanalwand zu entfernen. Außerdem sollten Bakterien abgetötet werden, wodurch der Wurzelkanal desinfiziert wird.

In dieser Studie wurde zur Spülung der Kanäle eine Kombination aus 40%iger Zitronensäure, 5%igem Natriumhypochlorit sowie 70%igem Alkohol verwendet. Die verwendete Zitronensäure entfernt durch die Säurewirkung effektiv die vorhandene

Schmierschicht. Natriumhypochlorit gilt besonders in Verbindung mit Zitronensäure als eine sehr wirksame Spüllösung. Durch ihre gewebsauflösende Wirkung werden die im Kanal vorhandenen Gewebereste und das Kollagen effektiv entfernt. Alkohol als Spüllösung besitzt fettlösende und bakterizide Wirksamkeit. Durch dessen Einsatz als Abschluss der Spülung wird außerdem die Trocknung der Wurzelkanäle beschleunigt, da durch die Verdunstung des Alkohols Feuchtigkeit entzogen wird [8, 99, 102, 105, 117, 125].

### **7.2.5 Wurzelkanalfüllstifte**

Wurzelkanalfüllstifte werden bei zahlreichen Wurzelkanalfülltechniken als volumensstabiles Kernmaterial einer Wurzelkanalfüllung eingesetzt. Sie können in feste und halb feste Wurzelfüllstifte unterteilt werden und bestehen entweder aus Guttapercha oder aus Metall.

In dieser Studie wurden Guttapercha-Stifte zur Wurzelkanalfüllung verwendet, da sich das Material in der Summe seiner Eigenschaften als ideal erwiesen hat [15, 34, 49]. Diese mittlerweile in verschiedenen Konizitäten erhältlichen Stifte sind entsprechend der Größe von Wurzelkanalinstrumenten normiert. Die Bestandteile dieser Wurzelfüllstifte sind Guttapercha, Zinkoxid als Füllkörper, Wachse oder Harze als Weichmacher, Farbpigmente und einige Spurenelemente. Guttapercha wird seit über einem Jahrhundert in der Wurzelkanalbehandlung verwendet und ist seitdem das weltweit bekannteste und gebräuchlichste Wurzelfüllmaterial. Guttapercha ist einfach zu applizieren und bei Bedarf auch wieder zu entfernen. Zudem ist dieser Werkstoff gut kondensierbar, dauerhaft inert und radioopak. Daneben erhält man durch die vorhandene Thermoplastizität ab ca. 60°C im Gegensatz zu vielen anderen Werkstoffen die Möglichkeit einer guten Kondensation, unabhängig von der Kanalform [7, 15, 34, 49, 97].

### **7.2.6 Wurzelkanalfülltechniken**

#### **7.2.6.1 Kalte laterale Kondensation von Guttapercha**

Die kalte laterale Kondensation von Guttapercha ist die Standardtechnik der Wurzelkanalfüllung. Entwickelte und sich in der Entwicklung befindliche Füllungstechniken werden häufig mit dieser Methode verglichen [22, 36, 40, 69, 109]. Bei dieser Technik werden die nebeneinander in den Wurzelkanal eingeführten Guttapercha-Stifte

mit einem Spreader kondensiert. In der Literatur finden sich häufig Empfehlungen, wonach diese Methode, in Kombination mit einem Sealer, die zur Wurzelkanalfüllung am besten geeignete und gegenwärtig am meisten akzeptierte und angewandte Technik darstellt [39, 93, 98].

#### **7.2.6.2 Zentralstifttechnik (single cone technique)**

Hierbei handelt es sich um die Verwendung eines einzelnen Guttapercha-Stiftes, dem sogenannten Masterpoint, zur Wurzelkanalfüllung. Die ISO-Größe des eingesetzten Guttapercha-Stiftes wird in der Regel so gewählt, dass sie der Größe des zuletzt zur Aufbereitung verwendeten Instrumentes entspricht. Diese Methode ist gut zur Obturation von nahezu parallelwandigen Wurzelkanälen geeignet, wenn der Masterpoint gut im apikalen Kanalabschnitt passt (= tug fit) [66]. In Kombination mit einem unlöslichen Sealer wird diese Methode auch in der Literatur empfohlen [124]. Diese Technik zeigt die beste Benetzung der Kanaloberfläche mit dem eigentlich als Abdichtung fungierenden Sealer (percentage of sealer-coated canal perimeter, PSPC) [124]. Voraussetzung für die Verwendung der Zentralstifttechnik zur Obturation sind allerdings kreisrund aufbereitete Wurzelkanäle [3]. Nur hierdurch kann eine kongruente Passung zwischen Guttapercha-Stift und Kanalwand erreicht werden, die zur Erlangung einer dichten Wurzelfüllung unabdingbar ist [50]. Die Single-cone-Technik zeigt gegenüber der Lateralkondensation keine Unterschiede hinsichtlich der Abdichtungseigenschaften [3, 106] und ermöglicht teilweise sogar eine etwas bessere Abdichtung als die Lateralkondensation [124].

Wie bereits erwähnt wurde auch in dieser Studie, mit Ausnahme der Kontrollgruppe, bei der die Obturation durch laterale Kondensation erfolgte, die Zentralstifttechnik zur Füllung der Wurzelkanäle eingesetzt. Hierdurch konnte das Prinzip der Standardisierung aufrechterhalten werden. Da in jeden Kanal ein mit Sealer benetzter Zentralstift eingeführt wurde, konnte ausgeschlossen werden, dass Undichtigkeiten der Wurzelfüllung, sowie die apikal überpresste Sealermenge durch Füllungskomplikationen beeinflusst wurden.

#### **7.2.7 Farbstoffpenetrationstests**

In der Literatur sind verschiedene Methoden zur Beurteilung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung beschrieben. Der Grad apikaler Undichtigkeiten wurde anhand unterschiedlicher Techniken festgehalten wie:

- Spaltanalysen unter dem Rasterelektronenmikroskop
- Elektrochemische Verfahren
- Pressluft
- Bakterienpenetration
- Penetration radioaktiver Isotope
- Penetration von wässrigen Farbstofflösungen
- Glucosepenetration

Die oben genannten Verfahren zur Ermittlung der apikalen Dichtigkeitsgrade von Wurzelkanalfüllungen wurden in einer Studie überprüft. Diese kam zum Ergebnis, dass die sensitivste und am besten geeignete Methode zur Untersuchung der apikalen Dichtigkeit mit wässrigen Farbstofflösungen durchzuführen ist, da solche Lösungen am weitesten in den Wurzelkanal gelangen [67].

Farbstoffe wie Methylenblau, Eosin, Tusche (India Ink), Safran und Radioisotope wie Jod, Schwefel und Kalzium wurden für Dichtigkeitstests verwendet. Der Vergleich zwischen den Isotopen und den Farbstoffen bei der linearen Messung der Undichtigkeit der Wurzelfüllung ergab, dass die Verteilung der Farbstoffe in dem Freiraum der Undichtigkeiten gleichmäßig war. Im Gegensatz dazu wurde die höchste Konzentration der Isotope apikal und die niedrigste koronal gemessen. Außerdem vermochten Farbstoffe tiefer in den Wurzelkanal zu penetrieren als Isotope [67].

Für den Farbstoffpenetrationstest stehen, wie bereits erwähnt, Flüssigkeiten wie India Ink (= Tusche), Methylenblau, Fuchsin, Eosin, Safran und Silber als Farbstoff zur Verfügung. In dieser Studie wurde auf Methylenblau zurückgegriffen, da es gegenüber anderen Farbstoffen einige Vorteile besitzt. Methylenblau ist ein kleines Molekül mit einem relativ niedrigen Molekulargewicht. Aus diesem Grund kann es gut in Hohlräume eindringen und stellt somit eine präzise und leicht anwendbare Färbemethode dar [2, 6, 67]. In diesem Zusammenhang lässt sich die Frage nach der klinischen Relevanz dieser Eigenschaft stellen, ob der Einsatz eines Farbstoffes sinnvoll ist, der ein geringeres Molekulargewicht aufweist als das der Bakterien und somit für In-vivo-Bedingungen ungeeignet ist. Diese Überlegung ist irrelevant in Anbetracht der Tatsache, dass nicht nur Bakterien und deren Metaboliten, sondern auch kleinmolekulare Stoffe das pathologische Geschehen provozieren.

Wie bereits erwähnt wurde die Untersuchung der linearen Penetrationstiefen durch drei unabhängige Untersucher durchgeführt. Hierbei wurden weitestgehend sich de-

ckende Ergebnisse erreicht, weil die Blaufärbung unter dem Lichtmikroskop deutlich zu erkennen war. Auch diese Tatsache spricht für die Verwendung dieses Farbstoffs zur Untersuchung der Penetrationstiefe [2,67].

Ein Problem bei der Anwendung von Farbstoffpenetrationstests stellt der Einschluss von Luft im Wurzelkanal dar. Hierdurch kann die Penetration des Farbstoffs teilweise oder ganz verhindert und das Ergebnis der Untersuchung verfälscht werden [100, 119]. Da dies bei der Verwendung von Vakuum oder Überdruck nicht der Fall ist, sind diese Methoden besser geeignet [3, 100, 119]. In der vorliegenden Studie wurde bedingt durch den Vorgang der Zentrifugation unter Hochdruck untersucht.

### **7.2.8 Schnittmethoden**

Um das Dichtigkeitsverhalten der Wurzelfüllung nach Farbstoffpenetration zu untersuchen, stehen zwei unterschiedliche Methoden zur Verfügung. Von einigen Autoren wird die so genannte Längsschnittmethode empfohlen, da sie ihrer Meinung nach ein sehr genaues und exaktes Verfahren darstellt [3, 63]. Hierbei werden die zu untersuchenden Zähne durch Lösungen wie zum Beispiel  $\text{HNO}_3$  aufgelöst und die verbleibende Wurzelkanalfüllung auf Farbstoffpenetration hin untersucht. Ein weiteres Verfahren zur Untersuchung der Dichtigkeit der Wurzelfüllung stellt die Querschnittmethode („cross section analysis“) dar. Von einigen Autoren wird diese Technik im Vergleich zur Längsschnittmethode als die genauere bezeichnet, da sie eine signifikant höhere Farbstoffpenetration aufzeigen soll [101]. Zu erwähnen wäre sicherlich, dass die Längsschnittmethode ausschließlich in der Lage ist, die Farbstoffpenetration zwischen der Kanalwand und dem Sealer aufzuzeigen [64]. Dagegen gelingt es mit der Querschnittmethode auch die Farbstoffpenetration innerhalb der Wurzelfüllung darzustellen. Welche der beiden Methoden jedoch für eine Studie die bessere Technik darstellt, hängt mit Sicherheit vom Untersuchungsziel ab. Daher kann keine allgemein gültige Aussage getroffen werden, bei welcher Methode es sich um die bessere handelt [35, 87, 121]. Möglicherweise ist eine Kombination aus beiden Verfahren sinnvoll.

### **7.3 Diskussion der Ergebnisse**

Die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung ist neben der optimalen Reinigung des Wurzelkanals für den Erfolg der endodontischen Behandlung von entscheidender Bedeutung. Beide im Rahmen dieser Studie eingesetzten Sealer (AH Plus und



GuttaFlow) haben bereits gezeigt, dass sie ein hohes Abdichtungsvermögen, eine sehr geringe Löslichkeit sowie eine hohe Dimensionsstabilität aufweisen [4, 14, 19, 58, 59, 81, 82, 88, 89, 94, ]. Sowohl Silikone als auch Epoxide sind hinsichtlich dieser beiden Parameter gegenüber allen anderen Sealmaterialien überlegen und sind einander nahezu ebenbürtig [81]. So fallen materialimmanente Aspekte bei der Betrachtung nicht ins Gewicht und können vernachlässigt werden. Die Werte der untersuchten Parameter der einzelnen Gruppen repräsentieren daher in dieser Studie den Einfluss der Aufbereitungsgröße auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung.

Bei der Untersuchung der linearen Penetrationstiefen zeigten sich beim verwendeten Taper von .02 sowohl bei der ISO-Größe 30 als auch bei der ISO-Größe 45 annähernd gleich gute Ergebnisse für beide Sealer. Das beste Ergebnis wurde bei der Aufbereitung mit Instrumenten der Größe .02/#45 erzielt. Hierbei wurde bei beiden Sealern auf keinem der Serienschnitte eine Farbstoffpenetration erkannt. Es lag somit der Idealfall einer nahezu absolut dichten Wurzelfüllung vor. In den Gruppen mit einem eingesetzten Taper von .06 wurden annähernd gleiche Ergebnisse beim Farbstoffpenetrationstest erzielt. Eine Ausnahme stellte jedoch die Gruppe mit der Aufbereitungsgröße .06/#45 und dem verwendeten Sealer AH Plus dar. In dieser Gruppe wurden deutlich schlechtere Werte bei der Untersuchung ermittelt. Die möglichen Gründe hierfür werden weiter unten aufgeführt.

Einen weiteren Parameter für die Beurteilung der Qualität der Wurzelfüllung stellte die Untersuchung der Menge an apikal überpresstem Sealer dar. In allen Gruppen mit der verwendeten Konizität von .02 wurde apikal eine ähnlich geringe Menge an Sealer zwischen 1,8 und 2,3 mg überpresst und gemessen. Die Verwendung von Instrumenten mit einem zweiprozentigen Konus sorgt für eine annähernd parallelwandige Gestaltung der Wurzelkanäle. Es wurde daher angenommen, dass bei dieser Kanalform der eingebrachte Guttapercha-Stift wie ein Kolben wirkt und zu einer höheren Sealerüberpressung nach apikal führen würde.

Paradoxerweise wurde in dieser Studie jedoch in den Gruppen mit einem eingesetzten Taper von .06 im Vergleich zum Taper .02 eine etwa doppelt so große Menge an Sealer apikal überpresst. Die höchste überpresste Menge wurde hierbei in der Gruppe .06/#45 in Verbindung mit dem Sealer AH Plus und der Zentralstift-technik als Wurzelfüllmethode gemessen. In dieser Gruppe wurde deutlich mehr Sealer

überpresst als in den Vergleichsgruppen. Zu erwähnen sei hier jedoch, dass diese Gruppe auch im Vergleich zur Kontrollgruppe, bei der derselbe Sealer und die gleiche Aufbereitungsgröße in Verbindung mit der kalten Lateralkondensation von Guttapercha als Fülltechnik angewandt wurde, ebenfalls deutlich höhere Werte an überpresstem Sealer sowie eine geringere Dichtigkeit der Wurzelfüllung aufwies.

Angenommen wurde im Vorfeld jedoch, dass in der Kontrollgruppe durch die Platzierung von mehreren Guttapercha-Stiften und dem dadurch erzeugten Druck nach apikal mehr Sealer überpresst wird und der Einsatz von Spreadern bei der Lateralkondensation eventuell Hohlräume erzeugen könnte, in welche beim Farbstoffpenetrationstest der verwendete Farbstoff eindringen könnte. Warum es sich in dieser Studie anders verhielt, könnte möglicherweise an den verwendeten Zähnen oder an anderen äußeren Einflüssen gelegen haben. Die apikale Gängigkeit der Probenzähne wurde mit einer Feile der ISO-Größe 10 untersucht. Es wurde jedoch durch diesen Schritt nicht ausgeschlossen, dass durch vorhergehende Resorption der Apikalregion durch pathologische Prozesse eine bereits vergrößerte apikale Konstriktion vorlag. Um dies auszuschließen, hätten alle Zähne mit größeren Instrumenten überprüft werden müssen und bei einer apikalen Gängigkeit dieser Instrumente hätte der jeweilige Zahn nicht als Probenzahn im Rahmen der Studie verwendet werden dürfen. Dies bleibt sicherlich als Verbesserungsvorschlag für künftige Studien festzuhalten.

Bei der Beurteilung der beiden eingesetzten Sealer konnte beobachtet werden, dass GuttaFlow als Silikonsealer in den Gruppen mit einem verwendeten Taper von .02 sowohl in Bezug auf die überpresste Sealermenge, als auch in Bezug auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung gleich gute Ergebnisse erzielen konnte wie AH Plus. In den Gruppen mit einem 6-prozentigen Konus der Instrumente wurden mit GuttaFlow sowohl in Bezug auf die apikal überpresste Menge an Sealer, als auch im Hinblick auf die Farbstoffpenetration bessere Werte erzielt als mit AH Plus. Dies hängt anscheinend mit der materialbedingten Thixotropie von GuttaFlow zusammen.

Durch diese Eigenschaft wurden bei der Untersuchung geringere Mengen an apikal überpresstem Sealer gemessen, als bei dem klassischen, auf Epoxidharzbasis hergestellten Sealer AH Plus. AH Plus ist der Goldstandard unter den verwendeten Sealern und hat seine guten Eigenschaften bereits in zahlreichen Studien belegt [4, 19, 58, 59, 77, 81, 82, 107]. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass GuttaFlow als silikonbasierter Sealer bei allen Aufbereitungsgrößen dem AH Plus vergleichbare oder

bessere Ergebnisse erzielen konnte und bestätigen Ergebnisse aus vorherigen Studien [88, 89].

## 8 Literaturverzeichnis

- 1 **Adenubi JO, Rule DC:** Success rate for root fillings in young patients. Brit Dent J 141, 237-241 (1976).
- 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 **Antonopoulos KG, Attin T, Hellwig E:** Evaluation of the apical seal of root canal fillings with different methods. J Endod 24, 655-658 (1998).
- 4 **Azar NG, Heidari M, Bahrami ZS, Shokri F:** In vitro cytotoxicity of a new epoxy resin root-canal sealer. J Endod 26, 462-465 (2000).
- 5 **Barkins W, Montgomery S:** Evaluation of thermafil obturation of curved canals prepared by the Canal Master-U system J Endod 18/6, 285-289 (1992).
- 6 **Barthel CR, Moshonov J, Shuping G, Ørstavik D:** Bacterial leakage versus dye leakage in obturated root canals. Int Endod J 32, 370-375 (1999).
- 7 **Baumann MA, Diedrich P, Heidemann D, Horch HH, Koeck B:** Praxis der Zahnheilkunde, Endodontie 4. Auflage Urban & Fischer Verlag München; Jena 2001 Seiten 124-140.
- 8 **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).
- 9 **Behrend GD, Cutler CW, Gutmann JL:** An in-vitro study of smear layer removal and microbial leakage along root-canal fillings. Int Endod J 29, 99-107 (1996).
- 10 **Camps JJ, Pertot WJ:** Torsional and stiffness properties of nickel-titanium K files. Int Endod J 28/5, 239-243, (1995).
- 11 **Chailertvanitkul P, Saunders W P, MacKenzie D:** An assessment of microbial coronal leakage in teeth root filled with gutta-percha and three different sealers. Int Endod J 29, 387-392 (1996).
- 12 **Chailertvanitkul P, Saunders WP, MacKenzie D, Weetman DA:** An in vitro study of the coronal leakage of two root-canal sealers using an obligate anaerobe microbial marker. Int Endod J 29, 249-255 (1996).
- 13 **Chapman CH:** Microscopic study of the apical region of human anterior teeth. J Br Endod Soc 3/4, 52-58 (1969).

- 14 **Cobankara FK, Adanir N, Beli S, Pashley DH:** A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *Int Endod J* 35, 979-84 (2002).
- 15 **Cohen S, Burns R:** Pathways of the pulp 6. Auflage Mosby-Year Book, Inc., St. Louis 1994 Seiten 230-233.
- 16 **Coleman CL, Svec TA, Rieger MR, Suchina JA, Wang MM, Glickman GN:** Analysis of nickel-titanium versus stainless steel instruments by means of direct digital imaging. *J Endod* 22/11, 603-607 (1996).
- 17 **Czontkowsky M, Wilson EG, Holstein FA:** The smear layer in endodontics. *Dent Clin of North America* 34, 13-25 (1990).
- 18 **Davis SR, Brayton SM, Goldmann M:** The morphology of the prepared root canal: a study utilizing injectable silicone. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 34/4, 642-648 (1972).
- 19 **De Almeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LA:** Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. *Int Endod J* 33, 25-27 (2000).
- 20 **de Deus GA, Martins F, Lima AC, Gurgel-Filho ED, Maniglia CF, Coutinho-Filho T:** Analysis of the film thickness of a root-canal sealer following three obturation techniques. *Pesqui Odontol Bras* 17, 119-125 (2003).
- 21 **Dow PR, Ingle JI:** Isotope determination of root canal failure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 8, 1100-1104 (1995).
- 22 **Dummer PM, Lyle L, Rawle J, Kennedy JK:** A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. *Int Endod J* 27, 32-38 (1994).
- 23 **Economides N, Liolios E, Kolokuris I, Beltes P:** Long-term evaluation of the influence of smear layer removal on the sealing ability of different sealers. *J Endodont* 25, 123-125 (1999).
- 24 **Eldeniz AU, Erdemir A, Hadimli HH, Belli S, Erganis O:** Assesment of antibacterial activity of EndoRez using DCT and ADT. Abstract # 2855, IADR (2004).
- 25 **Fischer G:**Über die feinere Anatomie der Wurzelkanäle menschlicher Zähne. *Dtsch Monatsschr Zahnheilkd* 25, 544-552 (1907).
- 26 **Friedmann S, Lost C, Zarrabian M, Trope M:** Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *J Endod* 21, 384-390 (1995).

- 27 **Fromme HG, Guttzeit R, Riedel H:** Experimentelle Untersuchungen zur Frage der mechanischen und chemischen Wurzelkanalaufbereitung sowie zur Wandständigkeit von Wurzelfüllungsmaterialien. Dtsch Zahnärztl Z 25/9, 865-876 (1970).
- 28 **Gambill JM, Alder M, del Rio CE:** Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computer tomography. J Endod 22/7, 369-375 (1996).
- 29 **Garberoglio R, Becce C:** Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 78, 359-367 (1994).
- 30 **Gencoglu N, Türkmen C, Ahiskali R:** A new silicon-based root canal sealer (Roeko-Seal<sup>®</sup>-Automix). J Oral Rehabil 30, 753-755 (2003).
- 31 **Georgopoulou MK, Wu MK, Nikolaou A, Wesselink PR:** Effect of thickness on the sealing ability of some root-canal sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 80, 338-344 (1995).
- 32 **Gettleman BH, Messer HH, El Deeb ME:** Adhesion of sealer cements to dentin with and without smear layer. Endodontia 9, 83-91 (1991).
- 33 **Geurtsen W:** Die Wurzelkanalaufbereitung. Methoden im Überblick: Mechanische, chemische und schall- / ultraschallaktivierte Verfahren. Phillip J 7/1, 23-30 (1990).
- 34 **Geurtsen W, Heidemann D, Ketterl W, Einwag J, Herforth A:** Praxis der Zahnheilkunde, Zahnerhaltung II, 3. Auflage Urban & Schwarzenberg Verlag München; Wien; Baltimore 1993 Seiten 192-195.
- 35 **Gilbert S D, Witherspoon DE, Berry CW:** Coronal leakage following three obturation techniques. Int Endod J 34, 293-299 (2001).
- 36 **Gilhooly RM, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM:** Comparison of cold lateral condensation and a warm multiphase guttapercha technique for obturating curved root canals. Int Endod J 33, 415-420 (2000).
- 37 **Green D:** Stereomicroscopic study of 700 apices of maxillary and mandibular posterior teeth. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 9, 728-733 (1960).
- 38 **Gressmann G, Hülsmann M:** Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-NiTi-System. Endodontie 10/3, 227-241 (2001).
- 39 **Grossman L, Oliet S, del Rio C:** Endodontic practice. 11. Auflage, Lea & Febinger, Philadelphia, USA, 234-241 (1988).
- 40 **Gulabivala K, Holt R, Long B:** An in vitro comparison of thermoplasticized gutta-percha obturation techniques with cold lateral condensation. Endod Dent Traumatol 14, 262-269 (1998).

- 41 Guldener PHA, Langeland K:** In: Endodontologie 2.Auflage, Thieme, Stuttgart (1987).
- 42 Gutman JL, Dumsha TC, Lovdahl PE:** Problemlösungen in der Endodontie. Hanser, München – Wien (1991).
- 43 Hess W:**Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apikale. Schweiz Vierteljahrsschr Zahnheilkd 27, 1-52 (1917).
- 44 Heuer MA:** The biomechanics of endodontic therapy. Dent Clin North Am 7, 341-359 (1963).
- 45 Horning TG, Kesler JR:** A comparison of three different root canal sealers when used to obturate a moisture-contaminated root canal cements.J Endod 21, 345-347 (1995).
- 46 Huang FM, Tai KW, Chou MY, Chang YC:** Cytotoxicity of resin-, zinc oxide-eugenol-, and calcium hydroxide-based root-canal sealers on human periodontal ligament cells and permanent V79 cells. Int Endod J 35, 153-158 (2002).
- 47 Ingle JI:**A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials.Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14, 83-91 (1961).
- 48 Ingle JI, Beveridge E:** Endodontics. 2.Auflage, Lea & Febiger, Philadelphia, USA, 179-227 (1976).
- 49 Ingle JI, Bakland LK:** Endodontics 5. Auflage BC Decker Inc. Hamilton; London 2002 Seiten 579-583
- 50 Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO:** An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system. J Endodont 29, 658-661 (2003).
- 51 Kennedy WA, Walker WA 3<sup>rd</sup>, Gough RW:** Smear layer removal effects on apical leakage.J Endodont 12, 21-27 (1986).
- 52 Kerekes K, Tronstad L:** Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. J Endod 5, 83-90 (1979).
- 53 Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR:** Effect of sealer thickness on long-term sealing abilityInt Endod J 30, 307-312 (1997).
- 54 Kouvas V, Liolios E, Vassiliadis L, Parissis-Messimeris S, Boutsoukias A:** Influence of smear layer an depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study.Endod Dent Traumatol 14, 191-195 (1998).

- 55 **Kröncke A:** Möglichkeiten und Grenzen der Behandlung des Wurzelkanals bei Pulpanekrose und Parodontitis apicalis chronica. Schweiz Monatsschr Zahnmed 75/10, 1125-1135 (1965).
- 56 **Kröncke A:** Die Aufbereitung des Wurzelkanals als Voraussetzung für die Applikation des Füllmaterials. Dtsch Zahnärztl Z 36/4, 201-207 (1981).
- 57 **Kuttler Y:** Microscopic investigation of root canal apexes. J Am Dent Assoc 50, 544-552 (1955).
- 58 **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).
- 59 **Leyhausen G, Heil J, Reifferscheid G, Waldmann P, Geurtsen W:** Genotoxicity and cytotoxicity of the epoxy resin-based root-canal sealer AH Plus. J Endod 25, 109-113 (1999).
- 60 **Lim SS, Stock CJ:** The risk of perforation in the curved canal: anticurvature filling compared with the step-back technique. Int Endod J 20/1, 33-39 (1987).
- 61 **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).
- 62 **Limkangwalmongkol S, Burtscher P, Abbott PV, Sandler AB, Bishop BM:** A comparative study of the apical leakage of four root-canal sealers and laterally condensed gutta-percha. J Endod 17, 495-499 (1991).
- 63 **Lucena-Martín C, Ferre-Luque CM, Gonzalez-Rodriguez MP, Roble-Gijon V, Navajas-Rodriguez de Mondelo JM:** A comparative study of apical leakage of Endomethasone, Top Seal and Roeko Seal sealer cements. J Endod 28, 423-436 (2002).
- 64 **Lussi A, Imwinkelried S, Stich H:** Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology. Int Endod J 32, 17-32 (1999).
- 65 **Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD:** Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. J Endod 10, 477-483 (1984).
- 66 **Malone K, Donnelly J:** An in vitro evaluation of coronal microleakage in obturated root canals without coronal restorations. J Endod 23, 35-38 (1997).
- 67 **Matloff IR, Jensen JR, Singer L, Tabibi A:** A comparison of methods used in root canal sealability studies. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 53, 203-238 (1982).
- 68 **McComp D, Smith DC:** A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. J Endod 1, 238-242 (1975).



- 69 **McMurtrey LG, Krell KV, Wilcox LR:** A comparison between Thermafil and lateral condensation in highly curved canals. *J Endod* 18, 68-71 (1992).
- 70 **Meyer G, Hülsmann M:** Die Aufbereitung des Wurzelkanals. *Zahnärztl Mitt* 81/9, 864-870 (1991).
- 71 **Meyer W, Scheele E:** Die Anatomie der Wurzelkanäle. Eine vorläufige Mitteilung. *Dtsch Zahnärztl Z* 9, 497-500 (1954).
- 72 **Meyer W, Scheele E:** Die Anatomie der Wurzelkanäle der oberen Frontzähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 10, 1041-1045 (1955).
- 73 **Meyer W:** Die Anatomie der Wurzelkanäle, dargestellt an mikroskopischen Rekonstruktionsmodellen. *Dtsch Zahnärztl Z* 25, 1064-1077 (1970).
- 74 **Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F:** The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J* 34/5, 346-353 (2001).
- 75 **Molven O, Halse A:** Success rates for gutta-percha and Kloroperka N-Ø root fillings made by undergraduate students: radiographic findings after 10 – 17 years. *Int Endod J* 21, 243-250 (1988).
- 76 **Moodnik RM, Dorn SO, Feldman MJ, Levey M, Borden BG:** Efficacy of biomechanical instrumentation: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 2, 261-266 (1976).
- 77 **Newcome J, et al:** Microleakage Study Endodontic Resin Sealers in Vitro IADR/AADR/CADR (2002).
- 78 **Oksan T, Aktener BO, Sen BH, Tezel H:** The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. A scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 26, 301-305 (1993).
- 79 **Olgart L, Brannstrom M, Johnson G:** Invasion of bacteria into dentinal tubules. Experiments in vivo and in vitro. *Acta Odontol Scand* 32, 61-70 (1974).
- 80 **Oliver CM, Abbott PV:** An in vitro study of apical and coronal microleakage of laterally condense gutta percha with Ketac-Endo and AH 26. *Aust Dent J* 43, 262-268 (1998).
- 81 **Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE:** Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 17, 512-519 (2001).
- 82 **Oztan MD, Yilmaz S, Kalayci A, Zaimoglu L:** A comparison of the in vitro cytotoxicity of two root-canal sealers. *J Oral Rehabil* 30, 426-429 (2003).
- 83 **Perez F, Calas P, Falguerolles A de, Maurette A:** Migration of a streptococcus sanguis strain through the root dentinal tubules. *J Endod* 19/6, 297-301 (1993).

- 69 **McMurtrey LG, Krell KV, Wilcox LR:** A comparison between Thermafil and lateral condensation in highly curved canals. *J Endod* 18, 68-71 (1992).
- 70 **Meyer G, Hülsmann M:** Die Aufbereitung des Wurzelkanals. *Zahnärztl Mitt* 81/9, 864-870 (1991).
- 71 **Meyer W, Scheele E:** Die Anatomie der Wurzelkanäle. Eine vorläufige Mitteilung. *Dtsch Zahnärztl Z* 9, 497-500 (1954).
- 72 **Meyer W, Scheele E:** Die Anatomie der Wurzelkanäle der oberen Frontzähne. *Dtsch Zahnärztl Z* 10, 1041-1045 (1955).
- 73 **Meyer W:** Die Anatomie der Wurzelkanäle, dargestellt an mikroskopischen Rekonstruktionsmodellen. *Dtsch Zahnärztl Z* 25, 1064-1077 (1970).
- 74 **Mjör IA, Smith MR, Ferrari M, Mannocci F:** The structure of dentine in the apical region of human teeth. *Int Endod J* 34/5, 346-353 (2001).
- 75 **Molven O, Halse A:** Success rates for gutta-percha and Kloroperka N-Ø root fillings made by undergraduate students: radiographic findings after 10 – 17 years. *Int Endod J* 21, 243-250 (1988).
- 76 **Moodnik RM, Dorn SO, Feldman MJ, Levey M, Borden BG:** Efficacy of biomechanical instrumentation: a scanning electron microscopic study. *J Endod* 2, 261-266 (1976).
- 77 **Newcome J, et al:** Microleakage Study Endodontic Resin Sealers in Vitro IADR/AADR/CADR (2002).
- 78 **Oksan T, Aktener BO, Sen BH, Tezel H:** The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. A scanning electron microscopic study. *Int Endod J* 26, 301-305 (1993).
- 79 **Olgart L, Brannstrom M, Johnson G:** Invasion of bacteria into dentinal tubules. Experiments in vivo and in vitro. *Acta Odontol Scand* 32, 61-70 (1974).
- 80 **Oliver CM, Abbott PV:** An in vitro study of apical and coronal microleakage of laterally condense gutta percha with Ketac-Endo and AH 26. *Aust Dent J* 43, 262-268 (1998).
- 81 **Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE:** Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 17, 512-519 (2001).
- 82 **Oztan MD, Yilmaz S, Kalayci A, Zaimoglu L:** A comparison of the in vitro cytotoxicity of two root-canal sealers. *J Oral Rehabil* 30, 426-429 (2003).
- 83 **Perez F, Calas P, Falguerolles A de, Maurette A:** Migration of a streptococcus sanguis strain through the root dentinal tubules. *J Endod* 19/6, 297-301 (1993).

- 84 Peters LB:** Zur Frage der Infektion von Dentinkanälchen. Endodontie 2, 239-244 (1993).
- 85 Pineda F, Kuttler Y:** Mesiodistal and buccolingual roentgenographic investigation of 7,275 root canals. Oral Surg 33/1, 101-110 (1972).
- 86 Pommel L, About I, Pashley D, Camps J:** Apical leakage of four endodontic sealers. J Endod 29, 208-210 (2003).
- 87 Pommel L, Jacquot B, Camps J:** Lack of correlation among three methods for evaluation of the apical leakage. J Endod 27, 347-350 (2001).
- 88 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 (Spec Iss B) B-345 (2003).
- 89 Roggendorf MJ, Ebert J, Schulz C, Petschelt A:** Microleakage evaluation of polyvinyl-siloxane-based endodontic filling materials using various filling methods. Abstract # 971. The 32<sup>nd</sup> Annual Meeting of the AADR, March, 12-15, San Antonio, USA (2003).
- 90 Schäfer E, Tepel J, Hoppe W:** Experimentelle Untersuchungen zur Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit neuartigen Wurzelkanalinstrumenten. Dtsch Zahnärztl Z 49, 311-315 (1994a).
- 91 Schäfer E:** Auswirkungen verschiedener Sterilisationsverfahren auf die Schneidleistung von Wurzelkanalinstrumenten. Dtsch Zahnärztl Z 50, 150-153 (1995a).
- 92 Schäfer E:** Das Instrumentarium zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung . Teil 2 : Wurzelkanalinstrumente aus Titanlegierungen. Endodontie 4, 305 (1995c).
- 93 Schäfer E:** Wurzelkanalfüllmaterialien. Dtsch Zahnärztl Z 55, 15-25 (200).
- 94 Schäfer E, Zandbiglari T:** Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. Int Endod J 36, 660-669 (2003).
- 95 Schilder H:** Cleaning and shaping the root canal. Dent Clin of North America 18/2, 269-296 (1974).
- 96 Schmalz G:** Die Wurzelbehandlung – Klinische Erfolge. Dtsch Zahnärztl Z 54/5, 251-256 (1990).
- 97 Schmalz G, Wesselink P:** Textbook of Endodontology Blackwell Munksgard 2003 Seiten 261-271.
- 98 Schroeder A:** Endodontie. Quintessenz, Berlin (1981).
- 99 Smith JJ, Wayman BE:** An evaluation of the antimicrobial effectiveness of citric acid as a root canal irrigant. J Endod 12, 54-58 (1986).

- 100 Spangberg LS, Acierno TG, Yongbum Cha B:** Influence of entrapped air on the accuracy of leakage studies using dye penetration methods. *J Endod* 15, 548-551 (1989).
- 101 Tamse A, Katz A, Kablan F:** Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J* 31, 333-337 (1998).
- 102 Taylor JK, Jeansonne BG, Lemon RR:** Coronal leakage: effects of smear layer, obturation technique and sealer. *J Endod* 23, 508-512 (1997).
- 103 Taylor GN:** Advanced techniques for intracanal preparation and filling in routine endodontic therapy. *Dent Clin North Am* 28/4, 819-832 (1984).
- 104 Thoden Van Velzen SK, Duivenvoorden HJ, Schuurs AHB:** Probabilities of success and failure in endodontic treatment : a Bayesian approach. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 5, 85-90 (1981).
- 105 Tidmarsh BG:** Acid-cleansed and resin-sealed root canals. *J Endod* 4, 117-121 (1978).
- 106 Tidswell HE, Saunders EM, Saunders WP:** Assessment of coronal leakage in teeth root filled with gutta-percha and a glass of ionomer root canal sealer. *Int Endod J* 27, 208-212 (1994).
- 107 Timpawat S, Amornchat C, Trisuwan WR:** Bacterial coronal leakage after obturation with three root-canal sealer. *J Endod* 27, 36-39 (2001).
- 108 Tronstad L:** *Clinical endodontics* Thieme, Stuttgart – New York (1991).
- 109 Valli KS, Rafeek RN, Walzer RT:** Sealing capacity in vitro of thermoplasticized gutta-percha with a solid core endodontic filling technique. *Endod Dent Traumatol* 14, 68-71 (1998).
- 110 Vassiliadis L, Liolios E, Kouvas V, Economides N:** Effect of smear layer on coronal microleakage. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 82, 315-20 (1996).
- 111 von Fraunhofer JA, Fagundes DK, McDonald NJ, Dumsha TC:** The effect of root canal preparation on microleakage within endodontically treated teeth: an in vitro study. *Int Endod J* 33, 355-360 (2000).
- 112 Voorde HE van de, Bjorndal AM:** Estimating endodontic working length with parallelingradiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 27/1, 106-110 (1969).
- 113 Voß A:** Die Wurzelkanallängenbestimmung – Röntgenologisch und / oder endometrisch. In : APW (Hrsg.): *Endodontie*. Hanser, München, 40-53 (1993).
- 114 Walia H, Brantley WA, Gerstein H:** An initial investigation of bending and torsion properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 14/7, 346-351 (1988).

- 115 **Walker TL, del Rio CE:** Histological evaluation of ultrasonic and sonic instrumentation of curved root canals. *J Endod* 15/2, 49-59 (1989).
- 116 **Weine F:** Endodontic therapy. 3. Auflage, Mosby, St. Louis (1982).
- 117 **White RR, Goldman M, Lin PS:** The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials. *J Endod* 13, 369-374 (1987).
- 118 **Williams S, Goldman M:** Penetrability of the smeared layer by a strain of *Proteus vulgaris*. *J Endod* 11, 385-388 (1985).
- 119 **Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR:** Fluid transport and dye penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 27, 233-238 (1994).
- 120 **Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR:** Leakage of four root canal sealers at different thickness *Int Endod J* 27, 304-308 (1994).
- 121 **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).
- 122 **Wu MK, Wesselink PR, Boersma J:** A 1-year follow-up study on leakage of four root-canal sealers at different thicknesses *Int Endod J* 28, 185-189 (1995).
- 123 **Wu MK, Tigos E, Wesselink PR:** An 18-month longitudinal study on a new silicon-based sealer, RSA RoekoSeal: a leakage study in vitro *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 94, 499-502 (2002).
- 124 **Wu MK, van der Sluis LW, Ardila CN, Wesselink PR:** Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques. *Int Endod J* 36, 533-540 (2003).
- 125 **Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS:** A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions. *J Endod* 9, 137-142 (1983).

## 9 Anhang

### 9.1 Materialien

AH Plus <sup>®</sup>	De Trey, Dentsply Konstanz, Deutschland
70% Alkohol-Lösung	Apotheke der Universitätskliniken Erlangen, Deutschland
Alpha Die <sup>®</sup>	Schütz-Dental GmbH Rosbach, Deutschland
Diamantschleifer	Meisinger GmbH Düsseldorf, Deutschland
FlexMaster <sup>®</sup>	VDW/Dentsply München, Deutschland
GuttaFlow <sup>®</sup>	Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland
Ionofil molar <sup>®</sup>	Voco GmbH Cuxhaven, Deutschland
K3 <sup>®</sup>	Sybron, Orange CA., USA
5% Methylenblaulösung	Wissenschaftliches Labor der ZMK-Klinik Erlangen, Deutschland
6% Natriumhypochlorit-Lösung	Apotheke der Univesitätskliniken Erlangen, Deutschland

Rotes Winkelstück	Kaltenbach & Voigt Dental GmbH Biberach, Deutschland
SPSS win® 11.0	SPSS Co. Inc. Chicago, IL, USA
Stereo-Lichtmikroskop	Zeiss AG Jena, Deutschland
Trennscheibe diamantiert	Meisinger GmbH Düsseldorf, Deutschland
40% Zitronensäure-Lösung	Apotheke der Universitätskliniken Erlangen, Deutschland

## 9.2 Statistiken und Anlagen

### Gruppenzugehörigkeit = AH.02#30

#### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(c)

		linear penetration Pou	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	2,20	1,40	2,2900
	Standardabweichung	2,150	,966	1,80398
Extremste Differenzen	Absolut	,337	,461	,145
	Positiv	,337	,461	,145
	Negativ	-,288	-,339	-,102
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,066	1,456	,459
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,206	,029	,984

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

c Gruppenzugehörigkeit = AH.02#30

### Gruppenzugehörigkeit = GF.02#30

#### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(c)

		linear penetration Bi	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	3,00	1,80	1,8400
	Standardabweichung	2,749	2,530	1,66813
Extremste Differenzen	Absolut	,342	,524	,313
	Positiv	,342	,524	,313
	Negativ	-,233	-,376	-,154
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,081	1,657	,991
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,193	,008	,280

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

c Gruppenzugehörigkeit = GF.02#30



## Gruppenzugehörigkeit = AH.02#45

### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(d)

		linear penetration Bi	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	1,00	1,00	2,1400
	Standardabweichung	,000(c)	,000(c)	1,10775
Extremste Differenzen	Absolut			,150
	Positiv			,150
	Negativ			-,131
Kolmogorov-Smirnov-Z				,475
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)				,978

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

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

d Gruppenzugehörigkeit = AH.02#45

## Gruppenzugehörigkeit = GF.02#45

### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(d)

		linear penetration Bi	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	2,50	1,00	2,0900
	Standardabweichung	1,841	,000(c)	2,37788
Extremste Differenzen	Absolut	,307		,392
	Positiv	,307		,392
	Negativ	-,208		-,190
Kolmogorov-Smirnov-Z		,971		1,238
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,302		,093

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

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

d Gruppenzugehörigkeit = GF.02#45

## Gruppenzugehörigkeit = AH.06#30

### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(c)

		linear penetration Bi	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	1,80	1,50	5,3100
	Standardabweichung	1,874	1,581	4,72263
Extremste Differenzen	Absolut	,365	,524	,225
	Positiv	,365	,524	,225
	Negativ	-,335	-,376	-,157
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,155	1,657	,713
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,139	,008	,690

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

c Gruppenzugehörigkeit = AH.06#30

## Gruppenzugehörigkeit = GF.06#30

### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(c)

		linear penetration Bi	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	1,70	1,30	3,1600
	Standardabweichung	1,337	,949	2,60051
Extremste Differenzen	Absolut	,400	,524	,180
	Positiv	,400	,524	,180
	Negativ	-,300	-,376	-,145
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,264	1,657	,570
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,082	,008	,901

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

c Gruppenzugehörigkeit = GF.06#30

## Gruppenzugehörigkeit = AH.06#45

### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(c)

		linear penetration Bi	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	6,70	4,90	9,0100
	Standardabweichung	2,497	2,283	1,28707
Extremste Differenzen	Absolut	,199	,197	,179
	Positiv	,178	,197	,109
	Negativ	-,199	-,121	-,179
Kolmogorov-Smirnov-Z		,628	,624	,566
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,825	,831	,905

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

c Gruppenzugehörigkeit = AH.06#45

## Gruppenzugehörigkeit = GF.06#45

### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(d)

		linear penetration Bi	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	2,40	1,00	5,5400
	Standardabweichung	1,265	,000(c)	1,70698
Extremste Differenzen	Absolut	,524		,161
	Positiv	,524		,148
	Negativ	-,376		-,161
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,657		,508
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,008		,959

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

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

d Gruppenzugehörigkeit = GF.06#45

## Gruppenzugehörigkeit = AH.06#45Lat

### Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest(c)

		linear penetration Bi	linear penetration Rog	Sealer (mg)
N		10	10	10
Parameter der Normalverteilung(a,b)	Mittelwert	3,40	2,00	4,9000
	Standardabweichung	2,011	2,160	2,66917
Extremste Differenzen	Absolut	,202	,478	,173
	Positiv	,179	,478	,173
	Negativ	-,202	-,322	-,118
Kolmogorov-Smirnov-Z		,639	1,512	,549
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,809	,021	,924

a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b Aus den Daten berechnet.

c Gruppenzugehörigkeit = AH.06#45Lat

## Univariate Varianzanalyse

### Zwischensubjektfaktoren

		Wertelabel	N
Sealer	1	AHPlus	50
	2	Guttaflow	40
Taper	1	.02	40
	2	.06	50
Aufbereitungsgröße	1	#30	40
	2	#45	50
Fülltechnik	1	Einstift	80
	2	Lateralkond	10

### Tests der Zwischensubjekteffekte

Abhängige Variable: Sealer (mg)

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	453,921(a)	8	56,740	9,513	,000
Konstanter Term	862,114	1	862,114	144,545	,000
sealer	46,818	1	46,818	7,850	,006
taper	268,644	1	268,644	45,042	,000
size	47,741	1	47,741	8,004	,006
technique	84,460	1	84,460	14,161	,000
sealer * taper	32,768	1	32,768	5,494	,022
sealer * size	1,058	1	1,058	,177	,675
taper * size	44,701	1	44,701	7,495	,008
sealer * taper * size	3,698	1	3,698	,620	,433
sealer * technique	,000	0	.	.	.
taper * technique	,000	0	.	.	.
sealer * taper * technique	,000	0	.	.	.
size * technique	,000	0	.	.	.
sealer * size * technique	,000	0	.	.	.
taper * size * technique	,000	0	.	.	.
sealer * taper * size * technique	,000	0	.	.	.
Fehler	483,112	81	5,964		
Gesamt	2399,520	90			
Korrigierte Gesamtvariation	937,033	89			

a R-Quadrat = ,484 (korrigiertes R-Quadrat = ,434)

**Zwischensubjektfaktoren**

		Wertelabel	N
Sealer	1	AHPlus	50
	2	Guttaflow	40
Taper	1	.02	40
	2	.06	50
Aufbereitungsgröße	1	#30	40
	2	#45	50
Fülltechnik	1	Einstift	80
	2	Lateralkond	10

**Tests der Zwischensubjekteffekte**

Abhängige Variable: linear penetration Rog

Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Korrigiertes Modell	120,600(a)	8	15,075	6,583	,000
Konstanter Term	137,511	1	137,511	60,045	,000
sealer	17,113	1	17,113	7,472	,008
taper	15,312	1	15,312	6,686	,012
size	4,513	1	4,513	1,970	,164
technique	42,050	1	42,050	18,361	,000
sealer * taper	25,313	1	25,313	11,053	,001
sealer * size	21,013	1	21,013	9,175	,003
taper * size	23,113	1	23,113	10,092	,002
sealer * taper * size	13,613	1	13,613	5,944	,017
sealer * technique	,000	0	.	.	.
taper * technique	,000	0	.	.	.
sealer * taper * technique	,000	0	.	.	.
size * technique	,000	0	.	.	.
sealer * size * technique	,000	0	.	.	.
taper * size * technique	,000	0	.	.	.
sealer * taper * size * technique	,000	0	.	.	.
Fehler	185,500	81	2,290		
Gesamt	587,000	90			
Korrigierte Gesamtvariation	306,100	89			

a R-Quadrat = ,394 (korrigiertes R-Quadrat = ,334)

## Explorative Datenanalyse

### Gruppenzugehörigkeit

#### Verarbeitete Fälle

Gruppenzugehörigkeit		Fälle					
		Gültig		Fehlend		Gesamt	
		N	Prozent	N	Prozent	N	Prozent
Sealer (mg)	AH.02#30	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	GF.02#30	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	AH.02#45	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	GF.02#45	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	AH.06#30	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	GF.06#30	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	AH.06#45	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	GF.06#45	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%
	AH.06#45Lat	10	100,0%	0	,0%	10	100,0%

## **Danksagung**

Im Zusammenhang mit dieser Arbeit möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. A. Petschelt für die Möglichkeit bedanken, diese Dissertation an der Zahnklinik-1 durchzuführen.

Ganz besonders möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. R. Frankenberger, Herrn OA Dr. J. Ebert und Herrn Dr. M. Roggendorf für die hervorragende Betreuung meiner Arbeit bedanken. Für fachliche Erklärungen und für die Beantwortung unterschiedlichster Fragen haben sie sich stets Zeit genommen und mir dadurch eine ausgezeichnete Betreuung geboten.

Ebenso gilt mein Dank den Mitarbeitern des wissenschaftlichen Labors der Zahnklinik Erlangen.

Zuletzt möchte ich mich ganz herzlich bei meiner Familie und meiner Freundin bedanken, die mir mit viel Geduld und Zuspruch halfen, diese Dissertation durchzuführen.



## Lebenslauf

### Persönliche Daten

Name: Pourmaafi, Perham  
 Geburtsdatum: 11.08.1977  
 Geburtsort: Teheran  
 Nationalität: deutsch  
 Familienstand: ledig  
 Adresse: Alzenauerstr. 61  
 6376 Mömbris-Niedersteinbach  
 Telefon: 0163/6442569  
 E-Mail: parhamp@web.de

### Ausbildungsdaten

09.1983 - 06.1986 Grundschule in Teheran  
 02.1987 – 08.1987 Ossietzky-Grundschule, Nürnberg  
 09.1987 – 07.1988 Volksschule, Nürnberg  
 09.1988 – 06.1997 Pirckheimer-Gymnasium, Nürnberg  
 11.1999 Beginn des Studiums der Zahnheilkunde an  
 der Friedrich-Alexander-Universität Erl.-Nbg.  
 02.2001 Naturwissenschaftliche Vorprüfung  
 08.2002 Zahnärztliche Vorprüfung  
 12.2005 Zahnärztliche Prüfung

### Berufstätigkeit

07.2006 – 09.2007 Vorbereitungsassistent in der Zahnarztpraxis  
 Dr. L. Schönwälder, Weißenburg i. Bay.  
 05.2008 – 01.2009 Vorbereitungsassistent in der Zahnarztpraxis  
 T. Lange, Frankfurt am Main  
 Seit 02.2009 Angestellter Zahnarzt in der Zahnarztpraxis  
 T. Lange, Frankfurt am Main

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre eidesstattlich, dass mir über die Betreuung der Dissertation mit dem Titel

### **Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen und Sealereextrusion in verschiedenen konischen Wurzelkanälen unter Verwendung von AH Plus und GuttaFlow**

hinaus keine weitere Hilfe zuteil geworden ist, und ich bei der Erstellung der Arbeit keine anderen als die in dieser Dissertation angeführten Hilfsmittel verwendet habe. Ich versichere die Dissertation nicht vorher oder gleichzeitig an einer anderen Fakultät eingereicht zu haben. Ich habe bis dato an keiner anderen medizinischen Fakultät ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingelassen.

Mömbris, den 17.08.2009

Pourmaafi Perham