

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde

Abteilung für Zahnerhaltungskunde

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Titel der Dissertation:

**Einfluss verschiedener Obturationstechniken und
Sealer auf die koronale Dichtigkeit von
Wurzelkanalfüllungen ovaler Wurzelkanäle**

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

vorgelegt von

Stephanie Grobe
aus Chemnitz

Marburg, 2014

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 04.08.2014

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer
Referent: Prof. Dr. Roland Frankenberger
Korreferent: Prof. Dr. Klaus Pieper

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	1
1 Summary	3
2 Einleitung	5
3 Literaturübersicht	7
3.1 Besonderheiten der Anatomie ovaler Wurzelkanäle	7
3.2 Ziele der Wurzelkanalaufbereitung	7
3.3 Manuelle Wurzelkanalaufbereitung	8
3.4 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung	10
3.5 Smear layer	13
3.6 Spüllosungen	14
3.7 Wurzelkanalfüllung	16
3.8 Untersuchungsmethoden zur Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen	22
4 Ziel der Studie	24
5 Material und Methode	25
5.1 Auswahl und Vorbereitung der Probezähne	25
5.2 Materialübersicht der verwendeten Sealer	26
5.3 Wurzelkanalfüllung	28
5.4 Farbstoffpenetrationstest	32
5.5 Anfertigung der Serienschnitte und Analyse der linearen Penetrationstiefe	33
5.6 Statistische Auswertung	35
6 Ergebnisse	36
6.1 Ergebnisse der linearen Penetrationstiefe	37
7 Diskussion	41
7.1 Prinzipien der Standardisierung	41
7.2 Rolle der Ovalität	42
7.3 Wurzelkanalaufbereitung	43
7.4 Wurzelkanalspülung und Trocknung	44
7.5 Wurzelkanalfüllung	45
7.6 Dichtigkeitsuntersuchung	49
7.7 Schnittmethoden	50
7.8 Diskussion der Ergebnisse	51
7.9 Abschlussbewertung	55

8	Literaturverzeichnis	56
9	Anhang.....	68
9.1	Abkürzungen	68
9.2	Materialien.....	69
9.3	Statistik.....	73
10	Danksagung.....	80
11	Verzeichnis akademischer Lehrer	81

1. Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Ziele

Das Ziel einer jeden Wurzelkanalbehandlung liegt im bakteriendichten Abschluss der Wurzelkanalfüllung zu seinem umgebenden Milieu. Dadurch soll gewährleistet werden, dass es zu keiner Reinfektion des Wurzelkanals kommt. Von großer Bedeutung ist vor allem ein dichter Verschluss des koronalen Bereiches des Wurzelkanals. Aus diesem Grunde ist es Ziel der Arbeit, den Einfluss verschiedener Sealer und Obturationstechniken auf die koronale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen ovaler Wurzelkanäle anhand der linearen Penetrationstiefe zu untersuchen.

1.2 Methoden

Für diese Studie wurden 80 extrahierte humane einwurzelige Zähne mit einem Wurzelkanal und ovalem Querschnitt verwendet, welche von humanen extrahierten Unterkieferfrontzähnen sowie Prämolaren des Ober- und Unterkiefers stammten. Es erfolgte eine Einteilung der Zähne in 8 Gruppen (n=10). Untersucht wurden die 2 verschiedenen Sealer AH Plus™ (Dentsply) und Pulp Canal Sealer™ EWT (Symbion Endo Corporation) unter Verwendung der Single-Cone-Technik, der Lateralkondensation, der Non-Compaction-Technik und Thermafil™ (Dentsply). Nach initialer Kürzung der Zähne auf eine Gesamtlänge von 12 mm erfolgte die maschinelle Aufbereitung mit FlexMaster™ und ProFile™ Instrumenten bis Größe 45 Taper .04. Des Weiteren wurde der koronale Anteil des Wurzelkanals mit diamantierten SonicFlex endo™ Spitzen (KaVo) oval 2 mm nach oral und vestibulär erweitert und alle Bereiche im Kanal noch einmal manuell mit einer Hedström-Feile der Größe 45 Taper .02 bearbeitet. Nach einer Wechsspülung mit je 2 ml Natriumhypochlorit 5% und Zitronensäure 40% sowie einer Abschlusspülung mit 2 ml Alkohol 70% wurden die Wurzelkanäle mittels Papierspitzen getrocknet und anschließend mit den zu untersuchenden Sealern und Guttapercha unter Verwendung der jeweiligen Technik obturiert und bei 37 °C und 100% Luftfeuchtigkeit für 7 Tage gelagert. Es folgte die Isolierung der Zähne mit 2 Schichten Nagellack. Danach wurden die Zähne im Farbstoffpenetrationstest mit 5% Methylenblau in einer Zentrifuge bei 300 U/min für 3 min gefärbt und in Epoxidharzblöcken eingebettet. Nach Anfertigung von Serienschnitten wurden die einzelnen Ebenen unter dem Lichtmikroskop hinsichtlich

der Penetrationstiefe betrachtet und statistisch mit Hilfe des Softwareprogrammes SPSSwin 14.0 (SPSS Inc.) ausgewertet.

1.3 Ergebnisse und Beobachtungen

In Bezug auf koronale Dichtigkeit und die in der Studie ermittelte lineare Penetrationstiefe zeigten sich zwischen den verwendeten Sealern signifikante Unterschiede bei der Verwendung unterschiedlicher Obturationstechniken. Es zeigte sich, dass das bewährte AH Plus in dieser Studie in Kombination mit der Lateralkondensation (3,44 mm) und der Non-Compaction-Technik (3,35 mm) beste Ergebnisse erzielte, während die Warmfülltechnik Thermafil (6,57 mm) in Kombination mit AH Plus in dieser Gruppe deutlich schlechtere Ergebnisse lieferte. Von den in der Arbeit verwendeten Sealern schnitt Pulp Canal Sealer am schlechtesten ab. Einzig die Kombination mit Thermafil zeigte im Mittelwert eine verhältnismäßig akzeptable lineare Penetrationstiefe (7,28 mm).

1.4 Praktische Schlussfolgerung

Aus den Ergebnissen der Studie kann abgeleitet werden, dass die verwendete Obturationstechnik durchaus einen Einfluss auf das Dichtigkeitsverhalten eines Sealers nehmen kann und, dass dieser von Sealer zu Sealer auch unterschiedlich groß sein kann. Insgesamt hat sich gezeigt, dass AH Plus das dichteste Material darstellt und eine Obturation in Kombination mit der Lateralkondensation oder der Non-Compaction-Technik die Methode der Wahl darstellt.

1. Summary

1.1 Background and aims

The aim of any root canal treatment is a bacteria-tight seal of the root canal filling to its surrounding environment. This is to ensure that there is no reinfection of the root canal. Especially the coronal seal of a root canal filling is of great importance. For this reason, the aim of the work was to investigate the influence of different sealers and obturation techniques on the coronal leakage of root canal fillings of oval root canals using the linear penetration depth.

1.2 Methods

For this study, 80 extracted human single-rooted teeth with one root canal and an oval cross section were used, which originated from human extracted mandibular incisors and premolars of the upper and lower jaw. The teeth were divided into 8 groups (n=10). Two different sealers AH Plus™ (Dentsply) and Pulp Canal Sealer™ EWT (Symbion Endo Corporation) were examined using the single cone technique, the lateral condensation technique, the non-compaction technique and Thermafil™ (Dentsply). After an initial reduction to a total length of 12 mm, the teeth were mechanically processed with FlexMaster™ and ProFile™ instruments up to size 45 taper .04. Furthermore, the coronal region of the root canal was extended by 2 mm in oral and buccal direction with diamond SONICflex endo™ tips (KaVo). Also all areas in the canal were manually processed with a Hedstrom file size 45 taper .02. After an alternating irrigation with 2 ml 5% sodium hypochloride and 40% citric acid, and final rinsing with 2 ml 70% alcohol, the root canals were dried using paper points and then obturated with sealers and guttapercha to be examined using the according technique and stored at 37 °C and 100% humidity for 7 days. This was followed by the isolation of the teeth with 2 layers of nail polish. Afterwards, the teeth were dyed in a centrifuge at 300 rpm for 3 min with 5% methylene blue and embedded in epoxy resin. After the preparation of serial sections, the individual layers were examined in terms of penetration depth using the light microscope and then they were statistically analyzed using SPSSwin 14.0 (SPSS Inc.).

1.3 Results

In terms of coronal leakage and linear penetration depth determined in this study, significant differences in the use of different obturation techniques were found between the two sealers. In this study, it was found that the proven AH Plus achieved the best results in combination with the lateral condensation (3.44 mm) and the non-compaction technique (3.55 mm), while the warm condensation technique Thermafil (6.57 mm) yielded significantly worse results in combination with AH Plus in this group. From those sealers used in the study, Pulp Canal Sealer performed poorly; only in combination with Thermafil a fairly acceptable linear penetration depth was shown (7.28 mm).

1.4 Practical conclusion

Regarding the results of the study it can be concluded that the used obturation technique can indeed have an influence on the leakage behavior of a sealer and that this may also differ from sealer to sealer. The overall conclusion is that AH Plus is the densest material and that obturation combined with the lateral condensation or non-compaction technique is the method of choice.

2. Einleitung

„Die Endodontologie kann als derjenige Zweig der zahnärztlichen Praxis und Wissenschaft definiert werden, der sich mit Form, Funktion und Gesundheit der Pulpa und der periradikulären Gewebe befasst. Sie widmet sich ferner den Verletzungen und Erkrankungen beider Gewebe, deren Prävention und Behandlung.“

(Richtlinien der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie).

Die Endodontologie gilt als eine der wichtigsten Säulen der Zahnerhaltung. Mit immer moderneren Methoden gelingt es immer mehr, Zähne, die man früher aufgrund fehlender Möglichkeiten nur extrahieren konnte, erfolgreich zu therapieren und damit langfristig zu erhalten. Im Vordergrund einer endodontischen Behandlung steht die Reinigung, Formgebung, Desinfektion und die dreidimensionale Obturation des Wurzelkanalsystems [66]. Um eine Elimination von Mikroorganismen sicherzustellen, muss sowohl vitales als auch nekrotisches Pulpagewebe entfernt werden. Dieses Ziel kann zum einen durch chemo-mechanische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems unter Verwendung von antimikrobiell wirksamen Spüllösungen erreicht werden und ggf. auch von im Wurzelkanal wirksamen Medikamenten unterstützt werden [84]. Um zu gewährleisten, dass es nach erfolgreicher endodontischer Behandlung nicht zu einer Reinfektion des Wurzelkanals kommt, ist es sehr wichtig, dass ein Wurzelfüllmaterial besonders im koronalen Bereich für einen bakteriendichten Abschluss sorgt. Die Kombination aus einem Guttaperchastift und einem pastösen Material, dem sogenannten Sealer, hat sich als Mittel der Wahl für eine erfolversprechende Wurzelkanalfüllung erwiesen. Auf dem Markt stehen heute diverse Präparate auf Basis von Zinkoxid-Eugenol, Kunstharz, Glasionomermaterial, Calciumsalicylat oder Silikon zur Verfügung. Die Sealer unterscheiden sich vor allem sehr in ihrer Zusammensetzung, jedoch müssen sie alle dieselben Kriterien hinsichtlich des klinischen Gebrauches erfüllen. Von besonderer Bedeutung ist die Biokompatibilität eines Sealers, weil er für eine lange Zeit im direkten Kontakt mit dem umgebenden apikalen Gewebe steht und somit teilweise eine entzündliche Veränderung dieses Gewebes auslösen kann, welches folglich zur Verzögerung der periapikalen Heilung beiträgt [23]. Eine der wichtigsten Kriterien für den Behandlungserfolg ist die Dichtigkeit eines Wurzelfüllmaterials. Zu klären gilt hierbei, ob die Obturationstechnik darauf einen Einfluss nimmt. Während bei Kaltfülltechniken der Sealer die entscheidende Komponente für die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung darzustellen scheint, kommt bei Warmfülltechniken der Art und

Weise der Durchführung der Obturation eine entscheidende Bedeutung zu [78]. Ziel der Arbeit war es, zu untersuchen, inwiefern die koronale Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung bei ovalen Wurzelkanälen von der Verwendung einer speziellen Obturationstechnik in Kombination mit verschiedenen Sealern abhängt. Zwei Sealer wurden im Rahmen dieser Studie nach einem standardisierten Verfahren geprüft.

3. Literaturübersicht

3.1 Besonderheiten der Anatomie ovaler Wurzelkanäle

Die genaue Kenntnis über die Anatomie des Wurzelkanalsystems ist eine der wichtigsten Voraussetzungen für die erfolgreiche Durchführung von Wurzelkanalbehandlungen [39]. In zahlreichen historischen Studien wurde die Komplexität dieses Systems untersucht und dargestellt. Ein daraus ableitbares Problem klinischer Relevanz ist, dass es sich nicht nur um einen Wurzelkanal handelt, sondern um ein höchst komplexes, dreidimensionales Kanalgeflecht, das untereinander mit zahlreichen Haupt- und Nebenkanälen kommuniziert [41]. Aus historischen und aktuellen Untersuchungen geht hervor, dass das Wurzelkanalsystem über zahlreiche anatomische Strukturen mit Desmodont und dem periapikalen System in Verbindung stehen und somit Mikroorganismen auch in umgebende Strukturen eindringen können. Eine vollständige Eliminierung von Bakterien scheint aufgrund der anatomischen Variabilität von Wurzelkanälen mit ausschließlich mechanischer Reinigung unmöglich, da fast immer unbearbeitete Areale zurückbleiben. Eine besondere Schwierigkeit besteht im Bearbeiten der Kanalwand von Wurzelkanälen mit ovalem Querschnitt. Zahlreiche Untersuchungen konnten zeigen, dass mit rein mechanischer Instrumentierung keine vollständige Bearbeitung aller Bereiche der Kanalwand möglich ist. Paqué et al. legten in ihrer Arbeit dar, dass im gesamten ovalen Wurzelkanal bis zu 79,9% Dentin unbearbeitet blieb, im apikalen Bereich waren es bis zu 74,7%. Um mit mechanischer Reinigung akzeptable Ergebnisse in ovalen Wurzelkanälen zu erzielen, scheint der Einsatz von Instrumenten mit größeren Tapern sinnvoll, jedoch immer auf Kosten der verbleibenden Dentinrestwandstärke [29, 69, 104]. Damit sichergestellt ist, dass durch die Aufbereitung auch Gewebereste und Bakterien, die in den Dentinkanälchen, Seitenkanälen oder anderen unzugänglichen Bereichen zurückgeblieben sind, beseitigt werden, muss eine unterstützende Spülung mit geeigneten Lösungen erfolgen. Natriumhypochlorit (NaOCl) ist aufgrund seiner gewebeauflösenden Eigenschaften und der antibakteriellen Wirkung zum Mittel der Wahl in der Endodontie geworden [39].

3.2 Ziele der Wurzelkanalaufbereitung

Die wichtigsten Ziele der Wurzelkanalaufbereitung sind sowohl die Reinigung und Desinfektion des endodontischen Hohlraumsystems, als auch die Formgebung, d.h. die

Präparation einer intraradikulären Kavität, die zur Aufnahme einer dichten, wandständigen und dauerhaften Wurzelkanalfüllung geeignet ist [37]. Diese Aufgaben erfüllen zum einen manuelle und zum anderen maschinelle Instrumente in Kombination mit geeigneten Spüllösungen und ggf. auch mit medikamentösen Einlagen.

3.3 Manuelle Wurzelkanalaufbereitung

Alle heute verwendeten Instrumente sind nach DIN EN ISO-Norm 3630-1 international standardisiert [27]. Bereits 1955 gelang es Ingle, die Notwendigkeit zur Standardisierung der endodontologischen Instrumente zum Ausdruck zu bringen und 1961 eine standardisierte Technik zur Wurzelkanalbehandlung zu beschreiben [47, 48]. In der heute gültigen DIN ISO-Norm sind Symbole, Farbe, Form, Durchmesser und Konus sowie die maximale Belastung durch Torsion, Deflektion und Biegemoment genau festgelegt. Jedes Handinstrument besteht aus einem Griff, Schaft und Arbeitsteil. Das Arbeitsteil ist 16 mm lang.

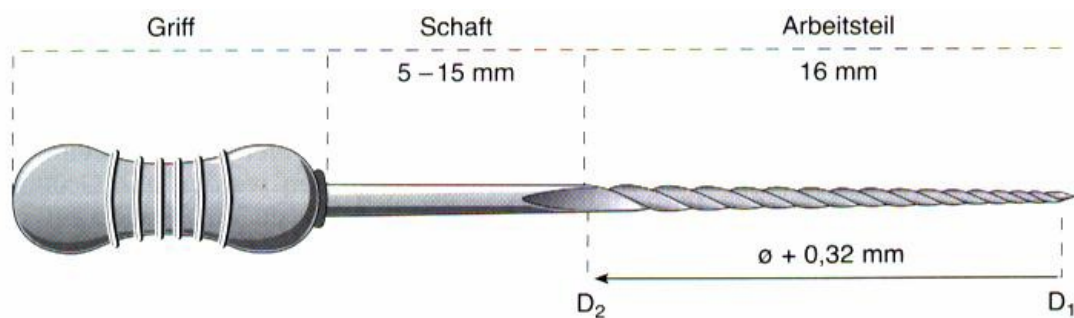


Abb. 1: Maße für Wurzelkanalinstrumente entsprechend nach ISO- Norm [39]

Die ISO Größe entspricht dem Durchmesser in Hundertstel Millimeter in 1 mm Abstand von der Instrumentenspitze (D_1 -Wert), wobei eine Toleranz von $\pm 0,02 \text{ mm}$ zulässig ist. Die Konizität der Instrumente nach ISO-Norm beträgt immer 2%. Somit nimmt der Durchmesser des Arbeitsteils pro 1 mm um 0,02 mm, bis zum Ende des Arbeitsteils (D_2) um 0,32 mm zu. Obwohl die standardisierte Konizität nach ISO-Norm 2% beträgt, werden heute auch neu entwickelte Instrumente mit Konizitäten von 4%, 6%, 12% und 20% sowie mit progressiver Konizität innerhalb des Instrumentes angeboten [39]. Die Länge des Schaftes kann zwischen 5 und 15 mm variieren, sodass sich daraus Instrumentenlängen von 21, 25, 28 und 31 mm ergeben. Viele Instrumente sind auf ihren Griffen mit einer Symbolmarkierung gekennzeichnet. Ein Dreieck steht für einen

Reamer, ein Quadrat für eine K-Feile und ein Kreis für eine Hedström-Feile. Außerdem sind die Handgriffe farbcodiert. Die kleineren Instrumentengrößen 06, 08 und 10 sind jeweils rosa, grau und violett markiert. Ab Größe 15 werden die Farben weiß, gelb, rot, blau, grün und schwarz bis zur Größe 140 dreimal wiederholt, wobei ab Größe 60 der Zuwachs des Instrumentendurchmessers an der Spitze jeweils 0,10 mm beträgt. Die Grundtypen der manuellen Wurzelkanalinstrumente unterscheiden sich deutlich voneinander. Während Reamer und K-Feilen aus Rohlingen mit dreieckigem oder viereckigem Querschnitt durch Verwinden hergestellt werden, müssen Hedström-Feilen aus runden Rohlingen durch Herausfräsen gefertigt werden. Reamer und K-Feile unterscheiden sich hauptsächlich durch die Anzahl der Windungen pro Längeneinheit und somit auch durch den Schneidekantenwinkel. Ein Reamer besitzt mit einer halben bis einer ganzen Verwindung pro Millimeter des Arbeitsteils weniger Windungen pro Längeneinheit als die K-Feilen. Folglich beträgt deren Schneidekantenwinkel nur etwa 10 bis 30°, wohingegen dieser für K-Feilen bei 25 bis 40° liegt. Der Schneidekantenwinkel für Hedström-Feilen beträgt etwa 60-65°. Anhand dieser Werte lässt sich auf die unterschiedlichen Funktionsweisen der Instrumente schließen. Während Reamer in einer rotierenden Bewegung nach apikal in den Wurzelkanal eingebracht werden und schneidend arbeiten, eignen sich Hedström-Feilen aufgrund ihres großen Schneidekantenwinkels für Zugbewegungen. Wegen der größeren Anzahl der Windungen, können K-Feilen sowohl drehende als auch feilende Bewegungen ausführen [80].

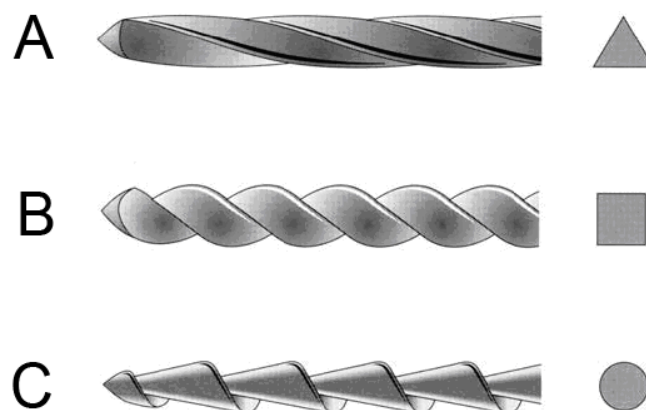


Abb. 2: Grundformen der Handinstrumente zur Aufbereitung des Wurzelkanals [39]
Reamer (A), K-Feile (B), Hedström-Feile (C)

3.4 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

In den letzten Jahren sind die maschinellen Aufbereitungsmethoden fester Bestandteil der endodontischen Behandlung geworden. Diese führen bei Wurzelkanalaufbereitungen zu einer Erleichterung und Zeitersparnis. Die Entwicklung maschineller Hilfsmittel zur Wurzelkanalaufbereitung begann bereits vor mehr als 100 Jahren. Bei der maschinellen Aufbereitung werden heute voll rotierende Systeme mit Nickel-Titan-Instrumenten anstelle von konventionellen Stahlfeilen verwendet. Die Instrumente werden überwiegend in der Crown-down und neuerdings auch in einer sogenannten Single-length-Technik eingesetzt [89].

Vollrotierende Nickel-Titan-Systeme

Nickel-Titan-Legierungen (NiTi) wurden erstmalig 1958 in der amerikanischen U-Boot-Forschung entwickelt, bevor 1988 das erste Wurzelkanalaufbereitungsinstrument aus Nickel-Titan durch *Walia* et al. vorgestellt wurde. Nickel-Titan-Feilen (ca. 55% Nickel, 45% Titan) besitzen ein pseudoelastisches Verhalten, d.h. in einem gekrümmten Wurzelkanal werden sie nicht irreversibel verbogen, sondern nehmen nach der Verformung wieder ihre Ausgangsposition an (memory effect). Daraus resultiert, dass Ni-Ti-Instrumente im Vergleich zu konventionellen Stahlinstrumenten nicht vorgebogen werden können. Aufgrund einer reduzierten Schärfe und Härte (303-362 Vickers-Härte), verglichen mit Edelstahlfeilen (522-542 Vickers-Härte), ergibt sich eine bis zu ca. 40% geringere Schneideeffizienz für Feilen aus Nickel-Titan. Um die Pseudoelastizität zu gewährleisten, wird jedes Instrument aus einem Stück gefräst und nicht durch Drehung aus einem Dreikant oder Vierkant hergestellt wie es bei Feilen aus Edelstahl üblich ist [87, 102]. Klinische Untersuchungen zeigen eine deutliche Überlegenheit rotierender Ni-Ti-Feilen besonders in stark gekrümmten Wurzelkanälen, eine geringere Aufbereitungszeit, bessere Kanalzentrierung sowie ein geringeres Ausmaß an Dentinverlust. Kritisch zu betrachten, ist die hohe Frakturanfälligkeit der Nickel-Titan-Instrumente. Hersteller empfehlen daher eine genaue Dokumentation der Einsatzhäufigkeit sowie die Verwendung drehmomentgesteuerter Motoren. Die derzeit auf dem Markt angebotene Nickel-Titan-Systeme zahlreicher Hersteller variieren insbesondere hinsichtlich des Instrumentendesigns und der Konizitäten [26, 30, 31, 33, 86].

Tab. 1: Vollrotierende Nickel-Titan-Systeme [38]

Winkelstück	Hersteller	Funktionsweise
LightSpeed	Max-Dental	360° Rotation
ProFile .04/.06	Maillefer	360° Rotation
Mity-Roto-Files	Loser	360° Rotation
FlexMaster	VDW	360° Rotation
RaCe	FKG	360° Rotation
ProTaper	Maillefer	360° Rotation
System GT	Maillefer	360°-Rotation
K3	Kerr	360° Rotation
Quantec	Tycom	360° Rotation
NiTee	Loser	360° Rotation
HERO 642	Micro-Méga	360° Rotation
EndoFlash	KaVo	Drehmomentbegrenzte Rotation

Die ausgewählten Zähne wurden maschinell mit FlexMaster und ProFile .04 aufbereitet. Damit kann eine nahezu gleichbleibende Konizität für alle Zähne garantiert werden. Darüber hinaus ist der Zeitvorteil durch die schnellere maschinelle Aufbereitung nicht zu vernachlässigen. Als drehmomentbegrenzter Motor wurde in dieser Arbeit der EndoStepper (S.E.T., Olching) verwendet. Somit kann gewährleistet werden, dass jedes Instrument mit dem optimalen Drehmoment arbeitet.

3.4.1 FlexMaster

Im FlexMaster-System (VDW, München 2000) stehen zur Wurzelkanalbearbeitung verschiedene Instrumentengrößen (ISO 15-70) und Konizitäten (2%, 4% und 6%) zur Verfügung. Bei der Aufbereitung sollte die Crown-down-Technik zum Einsatz kommen. Wie bei allen anderen NiTi-Systemen muss auf die Anwendung eines drehmomentbegrenzten Winkelstückes oder Motors mit einer empfohlenen Drehzahl von 150-300 U/min geachtet werden. In Abhängigkeit von der Größe des Wurzelkanals (weit, mittel, eng) empfiehlt der Hersteller die Verwendung einer bestimmten Instrumentensequenz, die jeweils farblich gekennzeichnet ist (blau, rot, gelb).

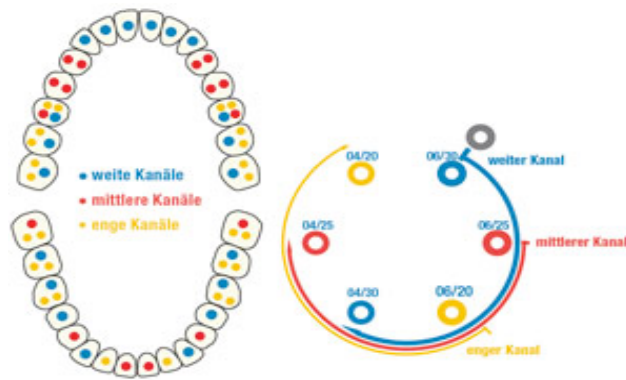


Abb. 3: Farbcodierung FlexMaster-System [43]

Charakteristika einer FlexMaster-Feile:

- konvexer Dreikant-Querschnitt zur Stabilisierung des Instrumentenkerns
- drei umlaufende, scharfe Schneidekanten (K-Typ)
- selbstzentrierende führende Instrumentenspitze (Batt-Spitze)
- verschiedene Konizitäten (.02, .04, .06)



Abb. 4: REM-Bilder der FlexMaster Feilengeometrie [43]

In diversen Untersuchungen wurden FlexMaster mit Handinstrumenten und anderen rotierenden NiTi-Instrumenten verglichen. Bei der Aufbereitung von gekrümmten Kanälen zeigt sich eine deutliche Überlegenheit des FlexMaster-Systems gegenüber der Handaufbereitung. Neben einer geringeren Kanalbegradigung und weniger Transportationen, spricht vor allem die verkürzte Arbeitszeit für den klinischen Einsatz von FlexMaster [13, 84, 103]. In Bezug auf die Reinigung von Wurzelkanalwänden zeigten Hülsmann et al. in einer Studie, dass Smear layer und Debris durch FlexMaster nicht zufriedenstellend entfernt werden konnten [45]. Hingegen legten Chanteaux et al.

dar, dass, verglichen mit Handinstrumenten unter Anwendung des FlexMaster-Systems, glatte Kanalwände mit geringen Restmengen an Debris und Smear layer resultierten [21]. Die aktuell verfügbaren wissenschaftlichen Studien weisen FlexMaster gegenüber anderen NiTi-Feilen als ebenbürtig und teilweise überlegen aus [13, 21, 34, 45, 84, 103].

3.4.2 ProFile

NiTi-Feilen des ProFile-Systems (Maillefer, 1996) haben einen U-förmigen Querschnitt, eine nicht schneidende Battspitze und breite seitliche Führungsflächen (radial lands). Die drei U-förmigen Aussparungen sollen den Abtransport von Dentinspäne ermöglichen. Es werden drei Instrumententypen unterschieden: ProFile O.S. (Orifice shaper, Konizität 5-8%), ProFile.06 (Konizität 6%) und ProFile.04 (Konizität 4%). Auch bei diesem System wird die Anwendung der Crown-down-pressureless-Technik unter Einhaltung einer Arbeitsgeschwindigkeit von 150-350 U/min empfohlen. Kritisiert wird in der Literatur vorwiegend die Frakturanfälligkeit sowie die nicht zufriedenstellende Entfernung von Smear layer und Debris [9, 75].

3.5 Smear layer

In Folge der direkten Einwirkung der Instrumente an der Wurzelkanalwand, verbleibt auf deren Oberfläche eine sogenannte Schmierschicht („Smear layer“). Diese Schicht setzt sich neben zermahlenem Dentin aus Prädentin sowie Resten des Pulpagewebes und der Odontoblastenfortsätze zusammen. Bei einem Zahn mit infizierter Pulpa enthält sie außerdem bakterielle Komponenten [54, 60]. Die Dicke des Smear layers beträgt in etwa 1-2 μm . Während der mechanischen Bearbeitung der Kanalwand werden Teile der Schmierschicht ca. 5-40 μm tief in die Dentintubuli hineingepresst [71]. Bis heute wird in der Literatur kontrovers diskutiert, welchen Einfluss die von Mc Comb und Smith 1974 erstmals beschriebene Schmierschicht auf die Qualität einer Wurzelkanalfüllung ausübt [64]. Kröncke war der Auffassung, dass die Schmierschicht eine wichtige Voraussetzung für eine wanddichte Wurzelkanalfüllung darstellt. Seiner Meinung nach kommt es durch die Verbolzung der Dentintubuli zu einer gewissen Oberflächenversiegelung der Wurzelkanalwand, die weiteren Feuchtigkeitsaustritt aus den Dentinkanälchen verhindert [55]. Die Mehrheit der Autoren vertritt jedoch die Ansicht, dass die Entfernung der Schmierschicht einen erheblichen Einfluss auf den

Erfolg der Wurzelkanalfüllung nimmt. Zahlreiche Studien ergaben, dass der Smear layer die Haftung der Füllmaterialien auf der Dentinoberfläche des Wurzelkanals reduziert, das Eindringen des Sealers in die Dentintubuli erschwert und zu einer geringeren Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung führt [32, 52, 73]. Andere Untersuchungen hingegen zeigten jedoch, dass das Vorhandensein bzw. Fehlen der Schmierschicht weniger Einfluss auf die apikale Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung nimmt, als die Kombination aus Schmierschicht und der jeweils verwendeten Fülltechnik [101].

Aus der Tatsache heraus, dass es während der mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanals zur Bildung der Schmierschicht kommt, ergibt sich die Notwendigkeit einer zusätzlichen chemischen Aufbereitung des Wurzelkanalsystems. Wirksame Spüllösungen zur Entfernung des Smear layers stellen EDTA (Ethyldiamintetraessigsäure) und Zitronensäure dar [115].

3.6 Spüllösungen

Die Spülung des Wurzelkanals während der Wurzelkanalaufbereitung stellt einen wesentlichen Schritt bei der Wurzelkanalbehandlung dar, da Gewebereste und Bakterien, die in den Dentinkanälchen, Seitenkanälen und anderen unzugänglichen Bereichen zurückgeblieben sind, beseitigt werden müssen.

Die Ziele der Wurzelkanalspülung können wie folgt zusammengefasst werden [8]:

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

Folgende Anforderungen werden an eine Spüllösung gestellt:

- Desinfektionswirkung
- Biologische Verträglichkeit
- Gewebeauflösende Wirkung
- Einfache Applizierbarkeit

Derzeit stehen zahlreiche Wurzelkanalspülungen verschiedenster Art und Konzentration zur Verfügung. Zu den gebräuchlichsten Spüllösungen zählen NaOCl, EDTA, H₂O₂, Chlorhexidindigluconat und Zitronensäure. Für alle Spüllösungen gilt, dass bei der Spülung des Wurzelkanals die Arbeitslänge für die Kanalaufbereitung bestimmt und strikt eingehalten werden muss. Empfohlen werden 0,3-0,4 mm dicke Kanülen, die mindestens 4-5 mm vor den Apex vordringen. Um das Überpressen von Spülflüssigkeiten zu vermeiden, sollte darauf geachtet werden, dass es nicht zum Verkleben der Kanüle kommt, und dass nicht mit zu viel Druck gespült wird. Ein Flüssigkeitsaustausch erfolgt etwa 1-1,5 mm über die Spitze der Kanüle. Darüber hinaus hängt die Effektivität einer Spüllösung von Einwirkzeit, Konzentration, Temperatur und Applikationsart ab. Eine Aktivierung der Spülung mit Ultraschall ist ebenfalls von Vorteil [2, 8, 15].

Die in dieser Arbeit verwendeten Spüllösungen werden im Folgenden näher beschrieben.

Natriumhypochlorit

Das am häufigsten verwendete Spülagens in der Endodontie ist Natriumhypochlorit (NaOCl), welches in Konzentration von 0,5-5% verwendet wird. Aufgrund seiner gewebeauflösenden Eigenschaft, ist NaOCl das einzige Spülmittel, das effizient Pulpagewebe entfernt [7]. Die antimikrobielle Wirkung von NaOCl ist allerdings nur mäßig. Nach einer NaOCl-Spülung sind nur ca. 50% der Wurzelkanäle frei von Bakterien [92]. NaOCl ist außerdem in der Lage Lipopolysaccharide (Bestandteil in der äußeren Membran gramnegativer Bakterien) aufzulösen. Studien zeigten, dass durch eine Spülung mit NaOCl Lipopolysaccharide um etwa 60% verringert werden [20, 62]. Um eine ausreichende gewebeauflösende Wirkung zu erzielen, ist eine relativ lange Kontaktzeit nötig. Diese Wirkung kann durch Erwärmung und durch Aktivierung mit Ultraschall deutlich gesteigert werden. Zur Entfernung der Schmierschicht eignet sich NaOCl als alleiniges Spülmittel jedoch nicht [11].

Zitronensäure

Zitronensäure ist ein mild wirkender, leicht antibakterieller, biokompatibler Chelatbildner, welcher mit den Calciumionen des Dentins einen stabilen Chelatkomplex bildet. Dadurch wird eine an der Kanalwand vorhandene Schmierschicht entfernt und

die Wandständigkeit von Sealern verbessert [11, 115]. In höheren Konzentrationen (bis zu 30%) wird jedoch nicht nur die Schmierschicht entfernt, sondern auch Teile des peritubulären Dentins aufgelöst [8].

Alkohol

Als Abschlusspülung wird die Verwendung von Alkohol in einer Konzentration von 70-95% empfohlen. Trotz ungenügender antimikrobieller Eigenschaften wirkt Alkohol fettlösend und mild desinfizierend. Aufgrund seiner niedrigen Oberflächenspannung, kann Alkohol auch in enge Kanalabschnitte diffundieren. Durch Verdunstung wird dem Wurzelkanal dentin Feuchtigkeit entzogen und somit eine Trocknung erzielt. Infolgedessen wird eine bessere Diffusion von Sealmaterialien in die Dentintubuli und Seitenkanälen begünstigt und Mikroundichtigkeiten reduziert [76, 95].

3.7 Wurzelkanalfüllung

Nachdem der Wurzelkanal aufbereitet, gereinigt und desinfiziert wurde, erfolgt zum Abschluss der Wurzelkanalbehandlung die Abfüllung (Obturation), welche einen entscheidenden Einfluss auf den Therapieerfolg nimmt. Um ein Eindringen von Mikroorganismen und Flüssigkeiten zu verhindern, muss eine Wurzelkanalfüllung das gesamte Kanalsystem auf Dauer hermetisch verschließen. Neben dem apikalen und koronalen Bereich des Wurzelkanals müssen auch Seitenkanäle, akzessorische Kanäle und offen liegende Dentintubuli verschlossen werden. Weil nicht ausgeschlossen werden kann, dass Wurzelkanalmaterialien im periapikalen Gewebe eine Fremdkörperreaktion auslösen, ist eine Überfüllung des Wurzelkanals über die apikale Konstriktion hinaus zu vermeiden.

Ein ideales Wurzelfüllmaterial sollte folgende Eigenschaften aufweisen [39]:

Biologische Anforderungen

- biokompatibel
- bakteriostatisch oder bakterizid
- nicht resorbierbar

Physikalische Anforderungen

- dimensionsstabil
- porenfrei

- unlöslich in Gewebeflüssigkeiten
- undurchlässig für Flüssigkeiten
- Haftung an der Zahnhartsubstanz

Praktische Anforderungen

- ausreichende Verarbeitungszeit
- leicht applizierbar
- leicht entfernbar
- radioopak
- keine Verfärbung der Zahnhartsubstanz

Bis heute ist kein Wurzelkanalfüllmaterial allein in der Lage diesen Anforderungen gerecht zu werden. Um einen dichten, dreidimensionalen Verschluss des Kanals zu gewährleisten, sollte eine Kombination aus einem Stift und einem cremigen, erhärtenden Material (Sealer) zum Einsatz kommen.

3.7.1 Wurzelkanalfüllmaterialien

Stifte

Wurzelfüllstifte dienen der Kondensation von Wurzelkanalfüllpasten und bestehen entweder aus Guttapercha, Kunststoff oder Metall [82]. Seit ihrer Einführung durch Bowman im Jahr 1867, gilt Guttapercha als Material der Wahl für Wurzelkanalfüllstifte [65]. Guttapercha ist ein kautschukähnliches, aus Isopren aufgebautes Produkt, das durch Eintrocknen des Milchsaftes von Guttapercha-Baumarten gewonnen wird. Guttaperchastifte, die zu den halbfesten Stiften zählen, enthalten neben der Matrix aus Guttapercha (ca. 20%) Zinkoxid als Füllstoff, Bariumsulfat als Röntgenkontrastmittel, Wachse, Farbstoffe und Spurenelemente [39]. Hinsichtlich Gewebeverträglichkeit, Abdichtungsverhalten, Handhabung und Entfernbarkeit erfüllen Guttaperchastifte die nötigen Anforderungen in hohem Maße [82]. Silberstifte sind zur Wurzelfüllung kontraindiziert, da bei Kontakt mit Gewebeflüssigkeit oder Speichel Korrosionserscheinungen auftreten. Die durch diesen Prozess entstandenen Korrosionsprodukte (Silbersulfide, Silberchloride und Silbersulfate) sind zytotoxisch und können die Ursache für akute und/oder chronische apikale Entzündungsreaktionen sein [16, 68, 91]. Empfohlen wird die Anwendung von Guttaperchastiften stets in

Kombination mit einer Wurzelfüllpaste, auch wenn thermoplastische Guttapercha zum Einsatz kommt [93].

Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)

Weichbleibende Wurzelfüllpasten sind weder alleine noch in Kombination mit einem Stift zum definitiven Verschluss des Wurzelkanals geeignet, da diese Pasten löslich sind, vom vitalen Gewebe resorbiert werden und somit eine Reinfektion resultieren kann [105]. Ausschließlich erhärtende Wurzelfüllpasten sollen den Zwischenraum zwischen einem Stift und der Wurzelkanalwand füllen. Als alleiniges Füllmaterial eignen sich erhärtende Pasten nicht, da fast alle Sealer, insbesondere bei größerem Volumen, kontrahieren und somit eine ungenügende Wanddichtigkeit resultiert [109].

Folgende Aufgaben muss ein Sealer erfüllen [39]:

- Ausgleich kleiner Unebenheiten entlang der Kanalwand
- Verschluss lateraler, akzessorischer Kanäle und offen liegender Dentintubuli
- Herstellung einer dichten Verbindung zwischen Stift und Kanalwand

Sealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis

Bei Präparaten dieser Gruppe (z.B. Pulp Canal Sealer, Tubli Seal) entsteht nach Vermischen von Pulver und Flüssigkeit ein wenig widerstandsfähiges, poröses Zinkeugenolat. Selbst bei sachgerechter Anmischung liegt freies Eugenol gebunden an Zinkoxid und Eugenolat vor und trägt somit zur Schwächung des Zinkeugenolat-Komplexes bei. Auch bei dem in dieser Arbeit untersuchten Füllmaterial Pulp Canal Sealer EWT (EWT= extended work time), handelt es sich um einen Sealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis. Dieser weist aufgrund der Löslichkeit von Eugenolat in Gewebsflüssigkeit ein Gewichtsverlust von bis zu 10% Prozent auf und besitzt selbst im ausgehärteten Zustand eine körnige und spröde Konsistenz. Der Sealer besteht aus einem Pulver und einer Flüssigkeit, die zur Anwendung im Verhältnis von 1:1 angemischt werden und laut Hersteller eine Verarbeitungszeit von mehr als 6 Stunden aufweist [96]. Forschungen fanden heraus, dass zinkoxideugenolhaltige Pasten nahezu keine Haftung am Dentin aufweisen. Auch aufgrund der hohen Schrumpfung während des Erhärtens von etwa 0,3-1% und der zytotoxischen Wirkung von Eugenol wird heute von der Verwendung dieser Sealer eher abgeraten [17, 97].

Sealer auf Epoxidharz-Basis

Zu den bekanntesten Präparaten auf Kunstharz-Basis zählen AH 26 bzw. das Folgeprodukt Diaket und AH Plus. AH 26 ist ein Epoxidharz, das nach dem Mischen mit einem Aktivator sehr langsam erhärtet. Kritisch bewertet wurde der Inhaltsstoff Hexamethylentetraamin, dem eine Freisetzung von Formaldehyd unmittelbar nach dem Anmischen zugesprochen wird. Im Nachfolgepräparat AH Plus ist dieser Inhaltsstoff nicht mehr enthalten. AH Plus ist einer der meist untersuchtesten Wurzelfüllmaterialien und gilt als Goldstandard in der Endodontie. Der Zwei-Komponenten-Sealer ist nicht nur in Tuben erhältlich, sondern auch als AH Plus Jet. Hierbei handelt es sich um eine Doppelkammer-Spritze, welche die Vermischung der beiden Pasten in der Mischkanüle im idealen Anmischverhältnis gewährleistet. Im Zuge einer Polyadditionsreaktion reagieren Diepoxide und Mono-/Diamine zu Epoxidaminpolymeren. Diese Polymere sind für die wesentlichen Eigenschaften von AH Plus verantwortlich: dauerhafte Dichtigkeit, hervorragende Dimensionstabilität und Selbsthaftung. Bei Zimmertemperatur garantiert der Hersteller eine Verarbeitungszeit von ca. 4 Stunden, während die Aushärtezeit mindestens 8 Stunden bei 37 °C beträgt. Aufgrund seiner herausragenden Eigenschaften wie z.B. dem gutem Abdichtungsvermögen, der hohen Volumenbeständigkeit und der einfachen klinisch Handhabung, wird AH Plus in vielen Studien als Referenzmaterial ausgewählt [14, 58, 59, 81]. Wurzelkanalfüllpasten auf Epoxidharz-Basis sind hinsichtlich Viskosität, Gewebslöslichkeit und Radioopazität als gut bis sehr gut einzustufen.

Sealer auf Kalziumsalicylat-Basis

Apexit und Sealapex zählen zu den bekanntesten Präparaten auf der Basis von polymerem Methylsalicylat und Kalziumhydroxid. Bezüglich der Dichtigkeit, Volumenbeständigkeit und Biokompatibilität sind diese Sealer als gut zu bewerten. Es steht indes noch der Nachweis aus, dass eine längerfristige direkte Exposition gegenüber Gewebeflüssigkeiten zu Auflösungserscheinungen und Desintegration führt [39, 82].

Sealer auf Guttapercha-Basis

Wurzelfüllpasten auf Guttapercha-Basis bestehen aus einer Guttaperchalösung in einem organischen Lösungsmittel wie z.B. Chloropercha (Chloroform) und Euchapercha (Eukalyptusöl). Infolge des Verdampfens des Lösungsmittels ist stets mit einer

erheblichen Schrumpfung zu rechnen. Mit Blick auf ihre Dichtigkeit und Volumenbeständigkeit sind sie anderen Sealern deutlich unterlegen [108]. Auch aufgrund des begründeten Verdachts auf Kanzerogenität von Chloroform, ist von der Verwendung dieser Materialien abzuraten [82].

3.7.2 Wurzelkanalfülltechniken

Nachfolgend sollen die in der Studie angewandten Obturationstechniken beschrieben werden, welche in Kalt- und Warmtechniken unterschieden werden können.

Tab. 2: Obturationstechniken

Kalttechniken	<ul style="list-style-type: none"> • Zentralstift-Technik • Laterale Kondensation • Non-Compaction-Technik
Warmtechniken	<ul style="list-style-type: none"> • Thermafil

Zentralstift-Technik

Bei der Zentralstift-Technik (Single-cone Technik) wird der Wurzelkanal mit nur einem genormten Guttaperchastift in Kombination mit einer Wurzelkanalfüllpaste gefüllt. Idealerweise entspricht die Form des aufbereiteten Wurzelkanals dem des zuletzt verwendeten Aufbereitungsinstruments und stimmt in Größe und Konizität mit dem Guttaperchastift überein. Bereiche des Kanals, bei denen der Stift nicht randständig ist, sollen vom Sealer aufgefüllt werden. Eindeutige Vorteile bei der Anwendung dieser Obturationstechnik liegen in der Zeit- und Materialersparnis. Außerdem ist diese Methode gering techniksensitiv. Da es sich bei den wenigsten Wurzelkanalquerschnittformen um runde Querschnitte handelt, kann diese Technik für die meisten Wurzelkanäle nicht empfohlen werden, weil in ovalen Wurzelkanälen der Sealeranteil an der Füllung unverhältnismäßig groß wird und besonders im mittleren und koronalen Kanaldrittel zu Porositäten und mangelnder Randständigkeit des Sealers führt [39, 72, 116].

Laterale Kondensation

Die laterale Kondensation gilt in der Endodontie als Goldstandard unter den Fülltechniken und zeigt in der langjährigen klinischen Anwendung hervorragende

Ergebnisse [36, 56, 57]. Das Prinzip der lateralen Kondensation besteht in der Füllung des Wurzelkanals mit einem Hauptstift (Masterpoint) und mehreren Zusatzstiften, die durch lateralen Druck mittels Spreizinstrument (Spreader) komprimiert werden. Dadurch wird wiederum Platz für nachfolgende akzessorische Stifte geschaffen. Ziel dabei ist es, den Wurzelkanal mit möglichst viel Guttapercha und möglichst wenig Sealer dicht zu füllen. Die Qualität der Wurzelfüllung wird hier nicht mehr so bedeutend vom Sealer bestimmt [5]. Oft diskutiert wird jedoch die Häufigkeit von vertikalen Wurzelfrakturen, die in Folge eines zu starken Kondensationsdruckes als eine Komplikation dieser Wurzelkanalfülltechnik auftreten kann [42, 74].

Non-Compaction-Technik

Bei der Non-Compaction-Technik handelt es sich um eine Modifikation der lateralen Kondensation. Dabei wird auf den Einsatz von Spreadern verzichtet und somit akzessorische Guttaperchastifte ohne vorherige Komprimierung neben den Masterpoint eingeführt. Studien zeigen gute Ergebnisse hinsichtlich der apikalen Dichtigkeit [40].

Thermafil

1978 beschrieb W.B. Johnson erstmals Thermafil als ein neues Verfahren zur Wurzelkanalfüllung mit thermoplastischer Guttapercha [49]. Thermafil-Stifte bestehen aus einem Kunststoffträger, der von α -Guttapercha ummantelt wird. Nach Erwärmung in einem speziellen Ofen und Überführung der Guttapercha in einen zähplastischen Zustand, wird der Träger in den mit Sealer beschickten Wurzelkanal eingebracht und verbleibt dort als ein Bestandteil des Füllungsmaterials im Wurzelkanal. Als Weiterentwicklung wurden die Thermafil-Stifte auf die neuen NiTi-Instrumente mit größeren Konizitäten abgestimmt. Untersuchungen bestätigen, dass Thermafil besser in der Lage ist auch laterale und akzessorische Kanäle zu füllen als mit der lateralen Kondensation [22, 57]. Die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit dem Thermafil-System und der lateralen Kondensation werden als gleichwertig beschrieben. Kritisch ist die Häufigkeit von Überpressungen von Sealer über den Apex bei Anwendung von Thermafil zu werten [1, 85].

3.8 Untersuchungsmethoden zur Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen

In den letzten Jahren nahm die Zahl der veröffentlichten Studien zur Untersuchung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen deutlich zu. Diese Tatsache beruht vor allem auf dem Wissen, dass zur Vermeidung des endodontischen Misserfolges die bakteriendichte Obturation des Wurzelkanals unerlässlich ist. Eine Wurzelfüllung ist als dicht zu bezeichnen, wenn weder Flüssigkeiten noch Bakterien oder Luft in das gefüllte Wurzelkanalsystem penetrieren können [88]. Als eine der am häufigsten angewandten in-vitro-Methoden zur Überprüfung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung gilt die semi-quantitative Penetrationstestung. Als Maß für die Dichtigkeit wird bei dieser Methode die Passage von verschiedenen Indikatoren entlang der Wurzelkanalfüllung beurteilt. Als Penetrationsindikatoren können Farbstoffe, Flüssigkeiten, Bakterien, aber auch radioaktive Marker verwendet werden. Ein Penetrationstest mit radiomarkierten Isotopen, wie z.B. Kalzium oder Jod, benötigt vielmals einen komplizierten Versuchsaufbau. In diesem Zusammenhang zeigte eine Studie von Matloff et al., dass Methylenblau im Vergleich zu diversen radioaktivmarkierten Molekülen tiefer in den Wurzelkanal penetrieren kann [63]. Mit Bakterienpenetrationstests lassen sich ebenfalls nur bedingt Aussagen über die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung treffen. Aufgrund ihrer Größe von ca. 1-5 µm und der Tatsache, dass Bakterien in der Regel wesentlich größer als ihre Metaboliten sind, eignet sich dieser Test nur eingeschränkt zur Beurteilung der apikalen Dichtigkeit. Bei undichten Wurzelfüllungen können auch andere Moleküle, z.B. Nährstoffe der Bakterien, in den Wurzelkanal penetrieren und dort als Nahrungsgrundlage für persistierende Bakterien fungieren. Infolgedessen resultiert oft ein klinischer Misserfolg [110]. Ein negatives Ergebnis beim Bakterienpenetrationstest bedeutet demnach nicht zwingend, dass eine Wurzelfüllung auch wirklich dicht ist. Um verlässliche Aussagen über die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung treffen zu können, haben sich in der Praxis die Farbstoffpenetrationstests durchgesetzt. Neben Fuchsinrot, Eosinrot, schwarzer und blauer Tusche, stellt Methylenblau den am häufigsten verwendeten Indikator beim Farbstoffpenetrationstest dar. In der vorliegenden Studie wurde 5%-iges Methylenblau verwendet um die koronale Dichtigkeit der Wurzelfüllungen zu testen. Aufgrund seines geringen Molekulargewichtes kann Methylenblau wesentlich tiefer in den Wurzelkanal eindringen als z.B. schwarze Tusche, wie Ahlberg et al. in einer Untersuchung zeigten [4]. Kersten et al. vergleichen das Penetrationsvermögen von Methylenblau sogar mit

dem von Butansäure, welche als metabolisches Bakterienprodukt gilt [53]. Dichtigkeitsuntersuchungen mittels Farbstoffpenetrationstest scheinen verlässliche Aussagen über das Versiegelungsverhalten von Wurzelkanalfüllmaterialien und -techniken zuzulassen. Bei den meisten dieser Untersuchungen dient die Lateralkondensation als Vergleichsgruppe. Neben den semi-quantitativen Untersuchungsmethoden können auch noch quantitative Verfahren zur Beurteilung von Wurzelkanalfüllungen in Betracht gezogen werden. Hierbei wird z.B. das Volumen des penetrierten Markers quantitativ bestimmt. Aufgrund des oftmals wesentlich komplizierteren Versuchsaufbaus, hat sich dieses Verfahren gegenüber dem klassischen Farbstoffpenetrationstest als Standardverfahren zur Beurteilung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung nicht durchgesetzt [114].

4. Ziel der Studie

Ziel dieser in-vitro-Studie ist es, den Einfluss verschiedener Obturationstechniken auf die koronale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen in ovalen Wurzelkanälen zu evaluieren. Unter Anwendung von vier verschiedenen Fülltechniken wurden die Sealer AH Plus und Pulp Canal Sealer hinsichtlich ihres Dichtigkeitsverhaltens untersucht. Nach erfolgter Aufbereitung und Wurzelkanalfüllung wurde ein Farbstoffpenetrationstest zur Analyse der koronalen Dichtigkeit durchgeführt. Es sollte die Frage beantwortet werden, welcher Sealer in Kombination mit welcher Obturationstechnik die beste koronale Dichtigkeit in ovalen Wurzelkanälen erzielt.

5. Material und Methode

5.1 Auswahl und Vorbereitung der Probezähne

Für diese Studie wurden 80 gerade Wurzeln mit einem Wurzelkanal von ovalem Querschnitt verwendet, welche von humanen extrahierten Unterkieferfrontzähnen sowie Prämolaren des Ober- und Unterkiefers stammten. Weitere Auswahlkriterien waren ein abgeschlossenes Wurzelwachstum, Kariesfreiheit und keine endodontische Vorbehandlung. Die Zähne wurden sofort nach Extraktion in einer 0,5%-igen Chloramin-T-Lösung bei Zimmertemperatur gelagert. Anhand von Röntgenbildern wurden alle Zähne hinsichtlich der Anzahl und Durchgängigkeit der Wurzelkanäle beurteilt.

Nachdem die Zähne oberflächlich mit Scalern und Küretten (HuFriedy) von Auflagerungen wie Konkrementen, Zahnstein und Anteilen des bindegewebigen Faserapparates gereinigt waren, wurden die Kronen der Zähne abgetrimmt, so dass noch eine Restwurzellänge von etwa 12 mm erhalten blieb. Die anschließende Entfernung der Pulpa erfolgte mit einer Exstirpationsnadel. Um die Durchgängigkeit des Wurzelkanals bis zum Foramen apicale zu überprüfen, wurden C-Feilen der ISO-Größen 08 und 10 verwendet. Die Durchgängigkeitsprüfung des Kanals erfolgte unter visueller Kontrolle. Die Feile wurde im Wurzelkanal solange vorgeschoben, bis die Instrumentenspitze aus dem Foramen apikale herausragte. Die Bestimmung der Arbeitslänge erfolgte ebenso nach dieser Methode.

Die Aufbereitung der Wurzelkanäle erfolgte mit dem rotierenden Nickel-Titansystem von FlexMaster (VDW) bis Größe 40 Taper .04 unter Verwendung des EndoSteppers (S.E.T.). Nach jeder Instrumentengröße wurde der Wurzelkanal mit 5% Natriumhypochlorit und 40% Zitronensäure gespült. Der letzte Aufbereitungsschritt wurde mit einer Feile des ProFile-Systems (Dentsply) der Größe 45 Taper .04 durchgeführt.

Zur Unterstreichung der Ovalität der Wurzelkanäle, wurde der koronale Anteil des Wurzelkanals mithilfe einer diamantierten SonicFlex endo Spitze (KaVo) oval 2 mm nach oral und vestibulär erweitert. Um eventuell entstandene Stufen zu entfernen

wurden alle Bereiche im Kanal noch einmal manuell mit einer Hedström-Feile der Größe 45 Taper .02 bearbeitet.

Nach Abschluss der Wurzelkanalaufbereitung wurden die Kanäle zusätzlich zur fortlaufenden Spülung gemäß des Spülprotokolls sorgfältig mit jeweils 2 ml Zitronensäure (40 %), Natriumhypochlorit (5 %) und Ethanol (70 %) gespült, um das gelöste Wurzelentin und die Schmierschicht, die während der Aufbereitung im Kanallumen entstanden waren, zu entfernen. Abschließend erfolgte die Trocknung der Kanäle mit passenden Papierspitzen der Größe 45 Taper .04 und die randomisierte Einteilung der Zähne in 8 Gruppen (n=10).

Tab. 3: Einteilung der Gruppen

Gruppe 1	Sealer	Fülltechnik
1a	AH Plus	Single-Cone-Technik
1b	AH Plus	Lateralkondensation
1c	AH Plus	Non-Compaction-Technik
1d	AH Plus	Thermafil-Technik

Gruppe 2	Sealer	Fülltechnik
2a	Pulp Canal Sealer	Single-Cone-Technik
2b	Pulp Canal Sealer	Lateralkondensation
2c	Pulp Canal Sealer	Non-Compaction-Technik
2d	Pulp Canal Sealer	Thermafil-Technik

5.2 Materialübersicht der verwendeten Sealer

Für die Wurzelkanalfüllung wurden die Sealer AH-Plus Jet (Dentsply) und Pulp Canal Sealer EWT (Symbion Endo Corporation) verwendet.

5.2.1 AH-Plus Jet

Bei dem Wurzelkanalfüllmaterial AH-Plus Jet handelt es sich um ein Zwei-Komponenten-System auf Epoxid-Amin-Harz-Basis.



Abb. 5: AH Plus Jet

Beim Herausdrücken beider Pasten aus der Doppelkammer-Spritze kommt es zur Vermischung der beiden Komponenten in der Mischkanüle, sodass stets das ideale Anmischverhältnis gewährleistet ist. Im Zuge einer Polyadditionsreaktion reagieren Diepoxide und Mono-/Diamine zu Epoxidaminpolymeren. Diese Polymere sollen laut Hersteller für die wesentlichen Eigenschaften von AH Plus verantwortlich sein: dauerhafte Dichtigkeit, hervorragende Dimensionstabilität und Selbsthaftung. Bei Zimmertemperatur garantiert der Hersteller eine Verarbeitungszeit von ca. 4 Stunden, während die Aushärtezeit mindestens 8 Stunden bei 37 °C beträgt. Die Zusammensetzung von AH Plus Jet ist mit der von AH Plus identisch [3].

Tab. 4: Zusammensetzung von AH Plus Jet

AH Plus Paste A	AH Plus Paste B
• Bisphenol-A Epoxidharz	• Dibenzyl-Diamin
• Bisphenol-F Epoxidharz	• Aminoadamantan
• Calciumwolframat	• Tricyclodecan-Diamin
• Zirkoniumoxid	• Calciumwolframat
• Hochdisperses Siliciumdioxid	• Zirkoniumoxid
• Eisenoxid	• Hochdisperses Siliciumdioxid
	• Silikonöl

5.2.2 Pulp Canal Sealer EWT

Pulp Canal Sealer EWT (EWT = extended work time) ist ein Wurzelkanalfüllmaterial auf Zinkoxid-Eugenol-Basis. Der Sealer besteht aus einem Pulver und einer Flüssigkeit, die zur Anwendung im Verhältnis von 1:1 angemischt werden müssen. Dadurch entsteht ein Zinkeugenolat, welches laut Hersteller eine Verarbeitungszeit von mehr als 6 Stunden aufweist [96].

Tab. 5: Zusammensetzung von Pulp Canal Sealer EWT

Pulp Canal Sealer Pulver	Pulp Canal Sealer Flüssigkeit
<ul style="list-style-type: none"> • Silberpulver 	<ul style="list-style-type: none"> • Wasser
<ul style="list-style-type: none"> • Zinkoxid 	<ul style="list-style-type: none"> • Kanada-Balsamharz
	<ul style="list-style-type: none"> • 4-Allyl-2-Methoxyphenyl (Eugenol)



Abb. 6: Pulp Canal Sealer EWT

5.3 Wurzelkanalfüllung

Nachdem alle Probenzähne sorgfältig mit Papierspitzen der Größe 45 Taper .04 getrocknet wurden, wurde die Obturation mit den zu untersuchenden Sealern und der jeweiligen Technik durchgeführt.

5.3.1 Gruppe 1a: AH Plus Jet/ Single-Cone Technik

Die Anmischung des Sealers erfolgte im Mischkanülenansatz der Doppelkammerspritze von AH Plus Jet, sodass der Sealer sofort im optimalen Verhältnis auf einem Mischblock verteilt werden konnte. Mithilfe einer Papierspitze wurde die Kanalwand mit Sealer beschickt. Anschließend wurde ein Guttaperchastift der Größe 40 Taper .04 mit Sealer benetzt und in den Wurzelkanal eingeführt. Der überschüssige Anteil des Guttaperchastiftes wurde mit einem heißen Heidemannspatel direkt am Kanaleingang abgetrennt und versäubert.

5.3.2 Gruppe 1b: AH Plus Jet/ Lateralkondensation

Auch in dieser Gruppe wurde der bereits fertig angemischte Sealer auf einen Anmischblock appliziert. Eine mit Sealer beschickte Papierspitze der Größe 40 Taper .04 benetzte die Kanalwand. Der bei dieser Obturationstechnik verwendete Guttapercha-Masterpoint der Größe 40 Taper .04 wurde in Sealer eingetaucht und in den Kanal eingebracht. Als nächstes erfolgte die Lateralkondensation mit einem Spreader der ISO-Größe 20 gegen die Kanalwand, sodass Platz für weitere Guttaperchastifte der Größe 20 geschaffen wurde. Dieser Vorgang wurde solange wiederholt, bis sich kein Guttaperchastift der Größe 20 mehr in den Kanal einbringen ließ. Mit einem heißen Instrument wurde überschüssiges Guttapercha am Kanaleingang abgeschmolzen.

5.3.3 Gruppe 1c: AH Plus Jet/ Non-Compaction-Technik

Das Sealermaterial AH Plus wurde zunächst durch die Anmischkartusche im korrekten Verhältnis verarbeitet. Anschließend erfolgte die gleichmäßige Verteilung des Sealers an der Kanalwand mittels Papierspitze. Der nachfolgend mit Sealer beschickte Guttaperchastift der ISO-Größe 40 wurde nun in den Wurzelkanal eingeführt. Im Gegensatz zur Lateralkondensation wurde hier auf die Anwendung eines Spreaders verzichtet und akzessorische Guttaperchstifte der Größe 20 ohne vorherige Komprimierung des Masterpoints direkt neben diesen eingebracht. Zuletzt wurden alle Guttaperchastifte mit einem über der Flamme erwärmten Heidemannspatel am Kanaleingang abgetrennt.

5.3.4 Gruppe 1d: AH Plus Jet/ Thermafil

Mithilfe eines Verifiers wurde zunächst die richtige Größe des Thermafil Obturators bestimmt. Während ein Thermafil-Carrier der Größe 40 Taper .04 im ThermaPrep Ofen erhitzt wurde, erfolgte die Beschickung des Wurzelkanals mit AH Plus durch eine Papierspitze der ISO-Größe 40. Im nächsten Schritt wurde der erwärmte Obturator mit einer langsamen, stetigen, apikal gerichteten Bewegung in den Wurzelkanal eingeführt und der damit verbundene Druck für ca. 30 Sekunden aufrechterhalten. Abschließend wurde der Kunststoffträger mit einem heißen Heidemannspatel abgetrennt.

5.3.5 Gruppe 2a: Pulp Canal Sealer EWT/ Single-Cone Technik

Der Pulp Canal Sealer EWT wurde zunächst auf einem Anmischblock nach Herstellerangaben im Verhältnis von 1:1 aus Pulver und Flüssigkeit per Hand mit einem Metallspatel homogen angemischt. Danach folgte mithilfe einer Papierspitze die Benetzung der Kanalwand mit einer dünnen Sealerschicht. Anschließend wurde ein Guttaperchastift der Größe 40 Taper .04 mit Sealer beschichtet und in den Kanal eingeführt. Die Abtrennung des überschüssigen Guttapercha-Stiftes erfolgte wie bei den Gruppen zuvor mit einem heißen Instrument in Höhe des Kanaleinganges.

5.3.6 Gruppe 2b: Pulp Canal Sealer EWT/ Lateralkondensation

In dieser Gruppe erfolgte ebenfalls die manuelle Vermengung von Pulver und Flüssigkeit im Verhältnis von 1:1 zum gebrauchsfertigen Sealer und die anschließende Beschickung des Wurzelkanals mithilfe einer Papierspitze. Ein Guttapercha-Masterpoint der Größe 40 Taper .04 wurde mit Wurzelfüllmaterial benetzt und bis auf Arbeitslänge in den Kanal eingebracht. Mit einem Spreader der ISO Größe 20 wurde Platz für weitere sekundäre Guttaperchastifte geschaffen, indem der Masterpoint gegen die Kanalwand gepresst wurde. Die Auffüllung des dadurch entstandenen Freiraumes erfolgte solange mit einem lateralen Stift der ISO Größe 20, bis sich kein weiterer Stift mehr einführen ließ. Zuletzt wurden alle Guttaperchastifte mit einem heißen Spatel am Kanaleingang abgetrennt.

5.3.7 Gruppe 2c: Pulp Canal Sealer EWT/ Non-Compaction-Technik

Der Pulp Canal Sealer EWT wurde in einem Mischverhältnis von einem Messlöffel Pulver zu einem Tropfen Flüssigkeit nach Anleitung per Hand mit einem Spatel homogen angemischt. Mittels Papierspitzen wurde die Wurzelkanalwand mit Sealer benetzt. Anschließend wurde ein Guttaperchastift der Größe 40 Taper .04 mit Sealer beschichtet und in den Kanal eingeführt. Ohne die Verwendung eines Spreaders wurden nun weitere akzessorische Stifte der ISO Größe 20 neben den Masterpoint eingebracht. Im letzten Arbeitsschritt erfolgte die Abtrennung aller Stifte mittels eines heißen Spatels auf Höhe des Kanaleinganges.

5.3.8 Gruppe 2d: Pulp Canal Sealer EWT/ Thermafil

Wie bereits in Gruppe 1d wurde unter Verwendung eines Verifiers die Größe des passenden Obturators bestimmt. Während der Erwärmung des Thermafil-Carriers der Größe 40 Taper .04 erfolgte die Applikation des Füllmaterials durch eine Papierspitze in den Kanal. Danach wurde sofort die erwärmte Guttapercha mit einer langsamen, festen und stetig apikalwärts gerichteten Bewegung in den Wurzelkanal eingebracht. Nach Erreichen des Apex wurde der Druck für ca. 30 Sekunden aufrecht erhalten. Abschließend erfolgte die Kürzung des Kunststoffträgers am Kanaleingang mit einem erwärmten Instrument.

Nach durchgeführter Obturation wurden die Zähne für sieben Tage bei 37 °C und bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 95% in einem Thermoschrank (Memmert INE 600) gelagert, damit die Sealer aushärten konnten. Anschließend erfolgte die Vorbereitung auf den Farbstoffpenetrationstest. Die Zähne wurden mit zwei Schichten farbigen Nagellack lackiert. Da in dieser Studie ausschließlich die koronale Dichtigkeit der Wurzelfüllung untersucht werden sollte, wurden alle Anteile der Wurzel bis auf den Bereich des koronalen Kanaleinganges mit Nagellack isoliert, um sicherzustellen, dass keine Farbstoff von apikal oder lateral penetrieren kann.



Abb. 7: Versiegelung eines Probenzahnes mit Nagellack

5.4 Farbstoffpenetrationstest

Für den Farbstoffpenetrationstest wurden zunächst 80 Zentrifugengläser vorbereitet. Nachdem je ein Probenzahn in ein Zentrifugenglas gegeben wurde, erfolgte die Befüllung des Glases mit 5%-igem Methylenblau bis zu einer Füllhöhe von 3 cm mithilfe einer Pipette. Anschließend wurden die Proben für 3 Minuten mit 30 g (400 U/min) mit der Varifuge K (Heraeus Christ) zentrifugiert. Nach Ablauf der Zeit wurden die Zähne aus den Probengläsern entnommen, unter fließendem Wasser abgespült und getrocknet.



Abb. 8: Zentrifuge des werkstoffwissenschaftlichen Labors

5.5 Anfertigung der Serienschritte und Analyse der linearen Penetrationstiefe

Im weiteren Arbeitsverlauf folgte die Herstellung der Sägeblöcke. Dazu wurden die zu einer Gruppe gehörenden 10 Probenzähne mit Heliobond (Ivoclar Vivadent) auf einer Glasplatte fixiert und in einer Silikonform mit dem Epoxidharz Biresin (Sika BV) eingebettet.



Abb. 9: Epoxidharzblock mit eingebetteten Zähnen

Mithilfe einer Innenlochsäge wurden aus den Blöcken im Abstand von 1mm Serienschritte angefertigt, wobei der Schnitt jeweils senkrecht zur Zahnachse vorgenommen wurde. Es entstanden jeweils 0,75 mm dicke Schnittebenen, weil sich aufgrund der Sägeblattstärke ein Schnittverlust von 0,25 mm ergab.

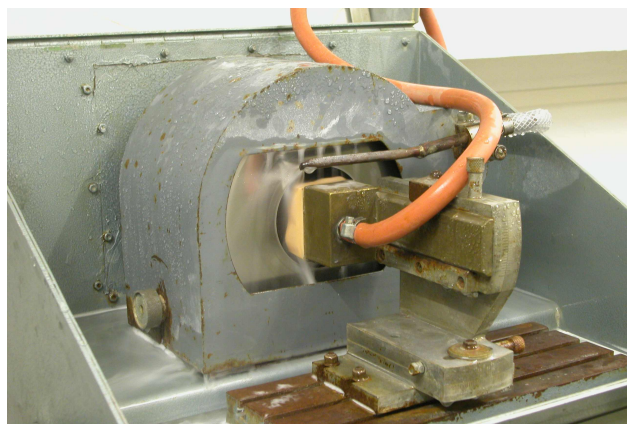


Abb. 10: Innenlochsäge

Nachdem die Serienschritte angefertigt waren, folgte die Auswertung der Schnitte unter einem Lichtmikroskop bei 40facher Vergrößerung durch drei unabhängige Untersucher.

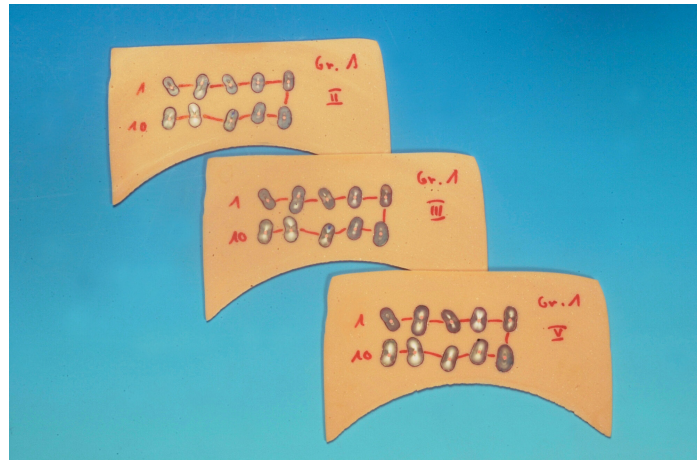


Abb. 11: Serienschritte

Die Bestimmung der Farbstoffpenetrationstiefe fand über einen vorgegebenen Auswertungsbogen und einer einfachen Ja/Nein-Entscheidung statt. Ein „Ja“ bedeutet, dass in der jeweiligen Schnittebene eine deutliche Farbstoffpenetration, d.h. Blaufärbung, zu erkennen war und wurde im Auswertungsbogen mit einem „+“ versehen. „Nein“ hingegen wurde mit einem „-“ im Bogen gekennzeichnet und charakterisierte, dass es in dieser Ebene zu keiner Farbstoffpenetration gekommen ist.

Auswertungsbogen

Projekt:

Schnitt	Gruppe									
	Zahn									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										

+ Farbstoffpenetration
- keine Farbpenetration

Datum :
Untersucher:

Abb. 12: Auswertungsbogen zur Bestimmung der Farbstoffpenetrationstiefe

5.6 Statistische Auswertung

Zur statistischen Auswertung der Ergebnisse diente das Statistikprogramm SPSS win[®] 14.0 (SPSS Inc.). Die koronalen Undichtigkeiten wurden anhand folgender statistischer Tests beurteilt:

- Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest
- Univariate Varianzanalyse
- ANOVA
- Post-Hoc Test
- Student-Newman-Keuls-Test

Der allgemeine Signifikanzwert wurde auf $p < 0,05$ festgelegt. Somit liegt die maximal zulässige Irrtumswahrscheinlichkeit bei 5%. Signifikanzen liegen im nachfolgenden Abschnitt immer dann vor, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich dem Signifikanzniveau ist.

6. Ergebnisse

Die durch das Statistikprogramm SPSS ausgewerteten Ergebnisse der linearen Penetrationstiefe wurden in Säulendiagrammen und Boxplotdiagrammen graphisch dargestellt. Das Säulendiagramm ist eine höhenproportionale Darstellungsform der Undichtigkeitsverteilung, wobei eine Säule optisch alle Werte vom Ursprung bis zum Endwert einschließt. Ein Boxplotdiagramm hingegen fasst robuste Streuungs- und Lagemaße in einer Darstellung zusammen. Die Häufigkeitsverteilung wird durch eine Fünf-Punkte-Zusammenfassung aus Median, den zwei Quartilen und den beiden Extremwerten abgebildet. Die Box entspricht dabei dem Bereich, in dem die mittleren 50% der Daten liegen. Begrenzt wird die Box durch das obere und untere Quartil, deren Differenz den Interquartilabstand (IQR) ergibt und ein Maß für die Streuung der Daten ist. Der Median teilt das Diagramm in zwei Hälften, in welchen jeweils 50% der Daten liegen. Durch den oberen und unteren Whisker werden größter und kleinster Wert eines Datensatzes festgelegt. Allerdings darf die Länge der jeweiligen Whisker das 1,5-fache des Interquartilabstandes (IQR) nicht überschreiten. Werte, die oberhalb oder unterhalb dieser Grenzen liegen, werden separat als „Ausreißer“ gekennzeichnet. Dabei wird wiederum unterschieden zwischen den „milden“ Ausreißern, deren Werte zwischen dem 1,5-fachen und dem 3-fachen IQR liegen und den „extremen“ Ausreißern, deren Werte eine Größe von über dem 3-fachen IQR erreichen.

6.1 Ergebnisse der linearen Penetrationstiefe

Um die Ergebnisse der einzelnen Gruppen besser miteinander vergleichen zu können, wurden die Einzelergebnisse zu einem Mittelwert zusammengefasst.

Tab. 6: Mittelwerte der linearen Penetrationstiefe in Abhängigkeit von der Obturationstechnik (in mm)

AH Plus		Pulp Canal Sealer	
Technik	Lineare Penetrationstiefe	Technik	Lineare Penetrationstiefe
Single-Cone	4,390	Single Cone	10
Lateralkondensation	3,440	Lateralkondensation	10
Non-Compaction	3,350	Non Compaction	9,920
Thermafil	6,570	Thermafil	7,280

Ohne die Unterscheidung nach Obturationstechnik ergeben sich für die zu untersuchende lineare Penetrationstiefe der Sealer folgende Ergebnisse:

Tab. 7: Darstellung der linearen Penetrationstiefe ohne Unterscheidung der Obturationstechnik (in mm)

AH Plus		Pulp Canal Sealer	
Mittelwert	Standardabweichung	Mittelwert	Standardabweichung
4,438	3,1575	9,300	1,4331

Das folgende Säulendiagramm veranschaulicht nochmals die Ergebnisse der Mittelwerte. Während auf der X-Achse die zu untersuchenden Sealer dargestellt sind, gibt die Y-Achse den Mittelwert der linearen Penetrationstiefe an. Zur Differenzierung der unterschiedlichen Obturationstechniken sind die Säulen farbig markiert.

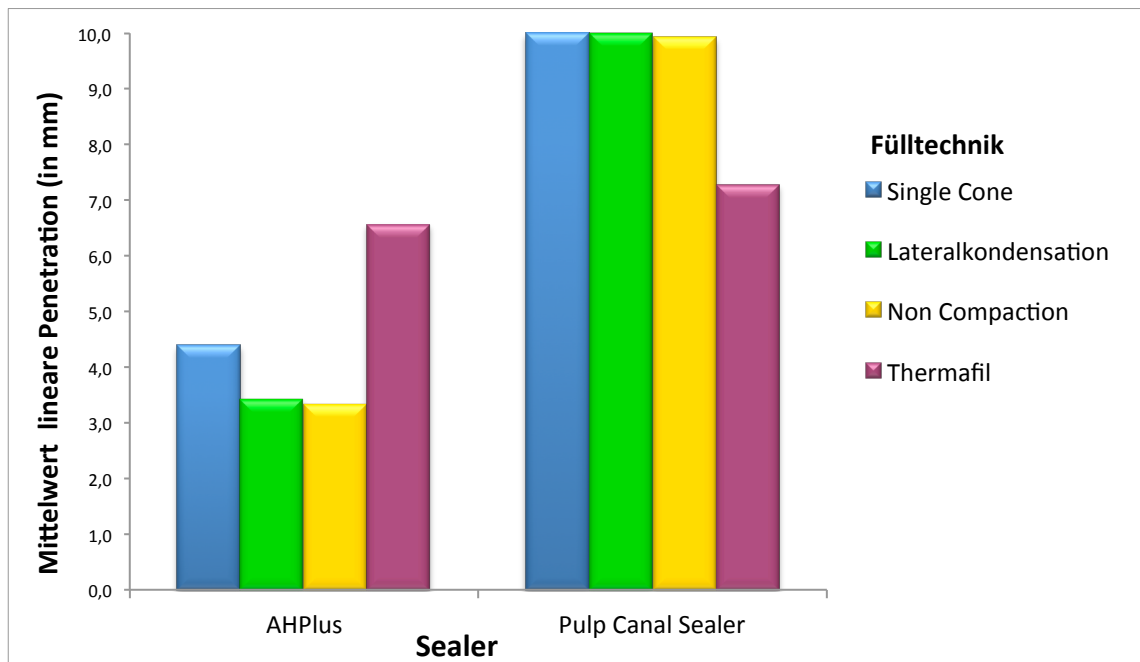


Abb. 13: Säulendiagramm zur Darstellung der Mittelwerte der linearen Penetrationstiefe

Beim Betrachten der einzelnen Untergruppen fällt auf, dass Pulp Canal Sealer generell die höchsten Undichtigkeitswerte erreicht. Innerhalb dieser Gruppe zeigen sich kaum signifikante Unterschiede in den Penetrationstiefen. Lediglich die Kombination mit Thermafil lässt eine deutlich geringere Farbstoffpenetration zu. Die besten Ergebnisse wurden jedoch innerhalb der AH Plus Gruppe erzielt. Die höchsten Dichtigkeitswerte konnten hier durch die Non-Compaction-Technik und die Lateralkondensation nachgewiesen werden. Es ist festzustellen, dass in unserer Untersuchung die Thermafil-Technik unabhängig vom Sealer nahezu ähnlich hohe Farbstoffpenetrationstiefen zuließ.

Die nachfolgenden Boxplot-Diagramme zeigen die Verteilung der einzelnen Dichtigkeitswerte innerhalb der verschiedenen Gruppen. In der Gruppe 1b (AH Plus/ Lateralkondensation) traten starke Schwankungen auf, während die größte Streuung der Ergebnisse in Gruppe 1d (AH Plus/ Thermafil) zu verzeichnen ist. In der AH Plus Gruppe erreichen Lateralkondensation und Thermafil Penetrationstiefen von der ersten bis zur zehnten Schnittebene. Die besten Ergebnisse in dieser Gruppe erlang eindeutig die Gruppe 1c (AH Plus/ Non-Compaction), da hier die maximale Penetrationstiefe, abgesehen von 2 Ausreißern, in der vierten Schnittebene liegt.

Innerhalb der Gruppe 2 (Pulp Canal Sealer) treten nur geringe Unterschiede in den Penetrationstiefen auf. Die Gruppen 2a (Pulp Canal Sealer/ Single-Cone), 2b (Pulp Canal Sealer/ Lateralkondensation) und 2c (Pulp Canal Sealer/ Non-Compaction) weisen lediglich einen Median auf. Einzig bei der Thermafil-Technik ist eine Streuung der Farbstoffpenetration bis in die fünfte Schnittebene zu erkennen.

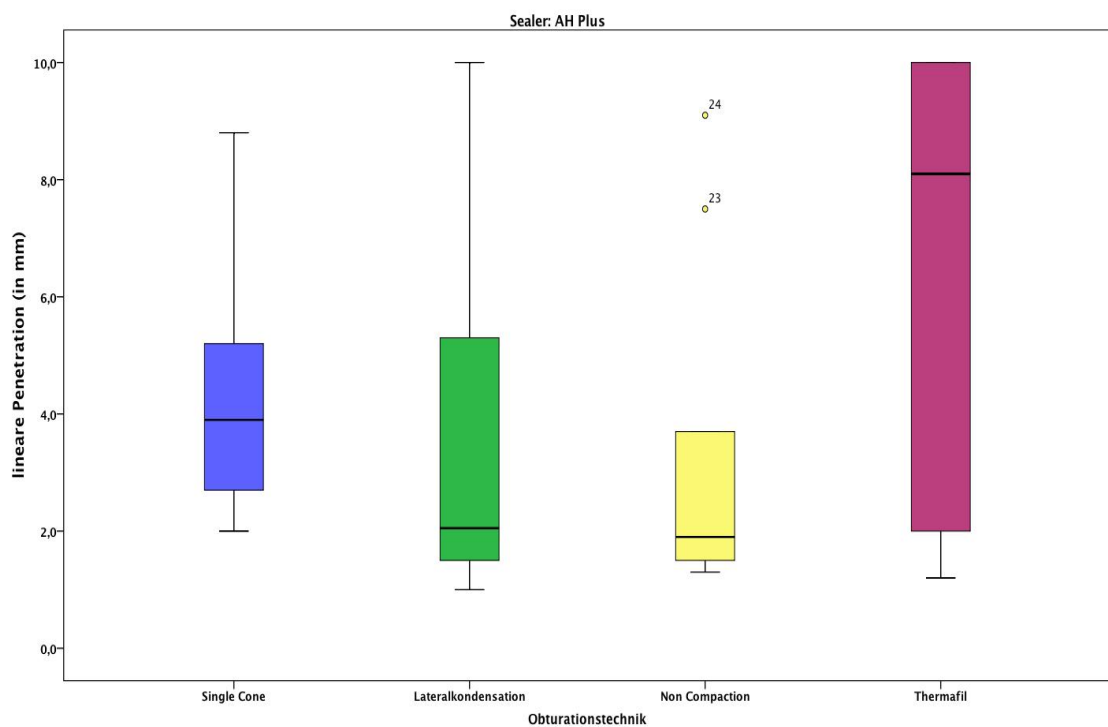


Abb. 14: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der ermittelten linearen Penetrationstiefe des Sealers AH Plus

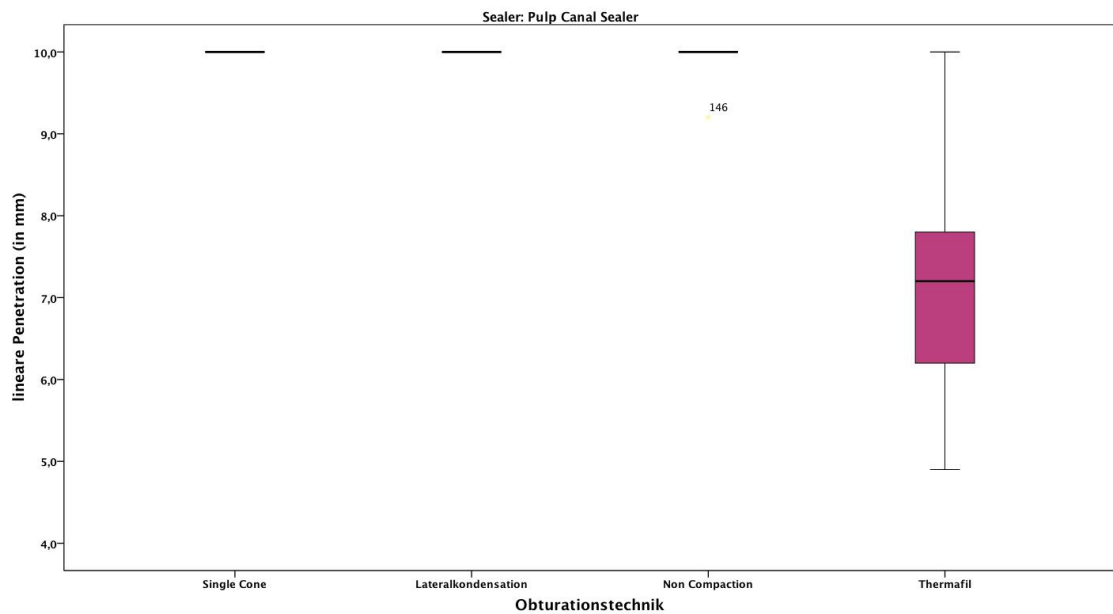


Abb. 15: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der ermittelten linearen Penetrationstiefe des Sealers Pulp Canal Sealer

Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigt in fast allen Gruppen eine Normalverteilung der Ergebnisse an. Die Univariate ANOVA macht signifikante Unterschiede der Ergebnisse zwischen den Gruppen in Abhängigkeit der Faktoren Sealer bzw. der Kombination Sealer/Obturationstechnik ($p=0,000$) deutlich. Keine Signifikanz ergab sich beim Faktor Obturationstechnik ($p=0,402$).

7. Diskussion

Das Ziel dieser vorliegenden In-Vitro-Studie war es, die koronale Dichtigkeit ovaler Wurzelkanäle bei Verwendung der Sealer AH Plus und Pulp Canal Sealer in Kombination mit vier verschiedenen Obturationstechniken zu untersuchen. Somit konnte sowohl eine Aussage über die Dichtigkeit in Bezug auf das Füllmaterial als auch auf die Fülltechnik getroffen werden.

7.1 Prinzipien der Standardisierung

Um die Ergebnisse der Dichtigkeitsuntersuchung hinsichtlich den verwendeten Füllmaterialien und Obturationstechniken vergleichen zu können, mussten für alle Arbeitsschritte gleiche Bedingungen geschaffen werden. Nur durch eine Standardisierung der Arbeitsabläufe ist es möglich, diese Studie mit anderen, analog durchgeführten Studien zu vergleichen und zu bewerten. Da es aufgrund der Komplexität der Wurzelmorphologie zu verschiedenen Variationen an Kanalanzahl, -form, -größe und -verlauf kommt, ist es unerlässlich, bereits bei der Auswahl der Zähne auf ähnliche anatomische Merkmale zu achten. Wie für die meisten Studien dieser Art wurden auch in dieser Arbeit nur humane Zähne mit einem geraden Wurzelkanal, vorwiegend von Frontzähnen des Unterkiefers und Prämolaren des Ober- und Unterkiefers, verwendet [18, 78, 112]. Um eine annähernd ähnliche Kanalmorphologie zu gewährleisten wurden außerdem Röntgenkontrollen durchgeführt. Künstliche Wurzelkanäle aus Methacrylat bieten zwar wesentlich standardisiertere Bedingungen hinsichtlich der Kanalkonfiguration, jedoch werden entscheidende Faktoren (z.B. Smear layer), die die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung beeinflussen, vernachlässigt [99, 107, 108].

Nachdem die klinische Krone abgetrimmt wurde, betrug die Größe der Kanalöffnung zwischen 2,11 und 2,88 mm. Zur Randomisierung wurden alle Probenzähne nummeriert und anschließend nach Sealer und Fülltechnik aufgeteilt (Tab. 3). Die Durchgängigkeit aller Kanäle wurde mit C-Feilen der ISO-Größen 8 und 10 überprüft und anschließend die Arbeitslänge bestimmt. Die Aufbereitung aller Zähne mit derselben Instrumentensequenz des FlexMaster-Systems soll eine weitestgehende Formkongruenz der Kanäle schaffen, die mit manueller Instrumentierung in diesem Maße wohl nicht zu erreichen wäre. Auch die Anwendung eines drehmomentkontrollierten Schrittmotors

(EndoStepper, S.E.T.) für die Endodontie gewährleistete eine identische Drehzahl und gleiches Drehmoment für jedes einzelne Instrument. Die notwendigen Spüllösungen wurden in gleicher Menge und nach vorgegebenem Spülprotokoll verwendet. Die Wurzelkanalfüllung erfolgte durch vier unterschiedliche Obturationstechniken. Während die Single-Cone-Technik und die Thermafil-Methode leicht zu standardisieren sind, müssen die Mehrstifttechniken aufgrund ihrer höheren Techniksensivität kritischer betrachtet werden. Die Untersuchung setzte fort mit der einheitlichen Farbstoffpenetration, der Einbettung der Probenzähne in Kunstharz, der Schnittherstellung und schloss ab mit der Auswertung aller Zähne unterm Lichtmikroskop. Sämtliche in dieser Studie durchgeführten Techniken wurden an vergleichbaren Zähnen erprobt, um zum einen Fehler durch mangelnde Erfahrung bei der maschinellen Aufbereitung zu vermeiden und zum anderen die Techniksensivität der Füllmethoden zu beherrschen.

Bei allen Arbeitsschritten wurde das Hauptaugenmerk auf die Standardisierung gelegt, damit die Streuung so gering wie möglich blieb. Nur so lassen sich verlässliche Aussagen über das Dichtigkeitsverhalten der untersuchten Sealer treffen und sinnvolle Vergleiche mit anderen Studien anstellen.

7.2 Rolle der Ovalität

Voraussetzung für diese Studie war es, dass Zähne verwendet werden, die einen ovalen Querschnitt aufweisen. Zur Unterstreichung der Ovalität der Wurzelkanäle wurde der koronale Anteil des Wurzelkanals mithilfe einer diamantierten SonicFlex endo™ Spitze (KaVo) oval 2 mm nach oral und vestibulär erweitert. Um eventuell entstandene Stufen zu entfernen wurden alle Bereiche im Kanal noch einmal manuell mit einer Hedström-Feile der Größe 45 Taper .02 nachbearbeitet. Durch dieses Verfahren konnte eine Standardisierung der Probenzähne hinsichtlich ihres ovalen Querschnittes gewährleistet werden. Zahlreiche Besonderheiten gilt es in der Aufbereitung und Reinigung ovaler Wurzelkanäle zu beachten. Ein gleichmäßiger zirkumferenter Dentinabtrag bei der Aufbereitung von Wurzelkanälen mit ovalem Querschnitt ist kaum möglich, sodass ein hoher Anteil an unbearbeiteten Kanalwandabschnitten verbleibt [69, 98]. Die feilenden Bewegungen der Stahlinstrumente reichen nicht aus, um die Kanalwand vollständig zu behandeln. Selbst rotierende NiTi-Instrumente sind nicht immer in der Lage eine

vollständige Aufbereitung ovaler Wurzelkanäle sicherzustellen. Um mit mechanischer Reinigung akzeptable Ergebnisse in ovalen Wurzelkanälen zu erzielen, scheint der Einsatz von Instrumenten mit größeren Tapern sinnvoll, jedoch geschieht dies immer auf Kosten der verbleibenden Dentinrestwandstärke [29, 104]. Zmener et al. untersuchten die Effektivität von manueller vs. maschineller Instrumentierung bei Revisionen und zeigten, dass den Handinstrumenten eindeutig der Vorzug gegeben werden muss [117]. Des Weiteren sind die Reinigung und die damit verbundene Bakterienreduktion in ovalen Wurzelkanälen als bedenklich einzustufen [6]. Wu et al. wiesen nach, dass zahlreiche aufbereitungsbedingte Nischen in der Kanalwand die Obturation mit Kaltfülltechniken negativ beeinflussen [113].

In der vorliegenden Studie wurde zur Aufbereitung ein vollrotierendes Nickel-Titan-System (Flexmaster, VDW) verwendet. Aufgrund der Schwierigkeiten, die sowohl die Präparation als auch die Obturation ovaler Wurzelkanäle mit sich bringt, müssen die Ergebnisse sicherlich kritisch betrachtet werden.

7.3 Wurzelkanalaufbereitung

Damit eine Standardisierung der Kanalform gewährleistet werden kann, hat sich besonders in geraden Wurzelkanälen die Aufbereitung mit maschinellen Ni-Ti-Instrumenten bewährt [90]. Alle Zähne in dieser Studie wurden mit dem FlexMaster-System bis ISO 40 Taper .04 und anschließend mit einem Instrument des ProFile-Systems der Größe 45 Taper .04 bis 1 mm vor Apex aufbereitet. Grundlegende Unterschiede finden sich in der Instrumentengeometrie. Während eine FlexMaster-Feile einen konvexen dreieckigen Querschnitt und schneidende Kanten aufweist, besitzt das ProFile-System einen U-förmigen Querschnitt mit breiten seitlichen Führungsflächen, den sogenannten radial lands. Beiden Instrumenten gemeinsam ist die nicht-schneidende Batt-Spitze. Allerdings gilt ProFile aufgrund des grazileren Instrumentenkernes als wesentlich frakturanfälliger [9, 35, 44]. Beide Systeme erlauben eine effiziente Aufbereitung in kürzester Zeit [94]. Zahlreiche Studien weisen FlexMaster gegenüber anderen NiTi-Feilen als ebenbürtig oder teilweise überlegen aus [13, 21, 34, 45, 84, 103]. Guelzow et al. zeigten in einer Untersuchung, dass unter Verwendung von FlexMaster der Kanalverlauf weitestgehend eingehalten wurde und im Vergleich zur manuellen Aufbereitung eine enorme Zeitersparnis sowie eine wesentlich geringere Frakturnrate der Instrumente zu verzeichnen ist [90]. Verglichen zur

Aufbereitung mit Handinstrumenten ermöglicht die maschinelle Instrumentierung eine höhere Standardisierung. Alle Zähne wurden einheitlich bis Größe 45 Taper .04 aufbereitet und somit gleiche Voraussetzungen für die Wurzelkanalfüllung geschaffen. Das Frakturrisiko der Feilen wurde sowohl durch einen drehmomentgesteuerten Motor als auch durch regelmäßigen Instrumentenwechsel minimiert.

7.4 Wurzelkanalspülung und Trocknung

Schon während der mechanischen Aufbereitung des Wurzelkanales kommt es zur größtmöglichen Eliminierung von Bakterien, indem infiziertes Dentin und Pulparestgewebe entfernt werden. Dennoch können in unaufbereitbaren Bereichen des Wurzelkanals und in den Dentintubuli pathogene Mikroorganismen verbleiben, die es zu entfernen gilt. Zudem entsteht durch direkte Einwirkung der Instrumente an der Wurzelkanalwand die bereits erläuterte Schmierschicht („Smear layer“), deren Bedeutung in der Literatur kontrovers diskutiert wird. Die Mehrzahl der Autoren sieht die Entfernung der Schmierschicht als grundlegende Bedingung für den Erfolg einer Wurzelfüllung [32, 52, 73]. Aufgrund der Komplexität des Wurzelkanalsystems sollte eine mechanische Reinigung immer mit chemischen Spüllösungen unterstützt werden [8]. Aus diesem Grund wurden auch in dieser Studie die Zähne während der Aufbereitung abwechselnd mit 2 ml 5%-iges Natriumhypochlorit und 2 ml 40%-iger Zitronensäure gespült. Die Spülung erfolgte nach jedem Instrumentenwechsel und diente neben der Reinigung und Befeuchtung des Kanals auch als Gleitmittel für Aufbereitungsinstrumente. Natriumhypochlorit ist wegen seiner gewebeauflösenden Eigenschaft das einzige Spülmittel, welches effizient Pulpagewebe beseitigt [7]. Zur Entfernung der Schmierschicht eignet sich NaOCl als alleiniges Spülagens jedoch nicht [11]. Als wirksamste Kombination zur Reinigung des Kanalsystems gilt deshalb die Wechselspülung mit Zitronensäure, welche als Chelatbildner die Schmierschicht entfernt und somit die Wandständigkeit von Sealern verbessert [11, 115]. Abschließend wurden alle Proben einheitlich mit 2 ml 70%-igem Ethanol zur leichteren Trocknung gespült. Eine zusätzliche Trocknung der Kanäle erfolgte mit ISO-codierten Papierspitzen der Größe 45 Taper .04. Unter Einhaltung dieser Standardisierung herrschen auch weiterhin für alle Proben die gleichen Voraussetzungen.

7.5 Wurzelkanalfüllung

Nachdem alle 80 Zähne einheitlich und unter den beschriebenen standardisierten Bedingungen maschinell aufbereitet, gespült und getrocknet wurden, erfolgte die Wurzelkanalfüllung mit den beiden zu untersuchenden Sealern (AH Plus und Pulp Canal Sealer) in Kombination mit vier verschiedenen Obturationstechniken. Für diese Studie wurden die Single-Cone-Technik, die Lateralkondensation, die Non-Compaction-Technik und Thermafil ausgewählt. Pro Gruppe (Sealer in Kombination mit Fülltechnik) wurden 10 Zähne verwendet.

7.5.1 Sealerapplikation

Um die koronale Dichtigkeit von AH Plus und dem Pulp Canal Sealer EWT untersuchen und miteinander vergleichen zu können, wurde in beiden Gruppen dieselbe Sealer-Placement-Technik angewandt. Isocodierte Papierspitzen der Größe 45 Taper .04 wurden mit dem jeweiligen Sealer benetzt und die Kanalwände mittels pumpenden Auf- und Abbewegungen beschickt, bis ein „schmatzendes“ Geräusch zu hören war. Zusätzlich wurde bei jeder Fülltechnik, bis auf Thermafil, der Mastercone (Guttaperchastift) mit Sealer benetzt und in den Wurzelkanal eingebracht. AH Plus Jet wird vom Hersteller in einer Anmischkartusche geliefert, die eine gleichmäßige Vermischung der einzelnen Komponenten ermöglicht und mittels dünner Anmischkanüle eine direkte Applikation des Sealers in den Wurzelkanal gestattet. Alternativ kann der Sealer, wie in dieser Arbeit, mittels Papierspitze eingebracht werden. Pulp Canal Sealer dagegen muss vor Applikation erst gebrauchsfertig angemischt werden. Somit ist eine Beschickung des Kanals nur mittels Lentulo oder Papierspitze möglich. Der Einfluss der Sealer-Placement-Technik auf die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung wurde vielfach in Untersuchungen bestätigt. Während Said et al. in ihrer Studie nachwies, dass die höchsten Dichtigkeitswerte bei Applikation mittels Papierspitze erreicht wurden [79], schnitten Papierspitze und K-Feile in einer Untersuchung von Kahn et al. am schlechtesten ab [51]. Unabhängig von der Sealer-Placement-Technik sind oftmals Unterschiede in der Benetzung der Kanalwand innerhalb des Kanals festzustellen. Während eine annähernd gleiche Benetzung im koronalen und mittleren Drittel der Kanalwand stattfindet, ergeben sich gravierende Unterschiede vor allem im apikalen Drittel [106]. Um auch in diesem Arbeitsschritt

einer Standardisierung gerecht zu werden, wurden alle Sealer mit nur einer einzigen Placement-Technik eingebracht. Jeder Sealer wurde nach entsprechenden Herstellerangaben angemischt und verarbeitet, sodass sowohl die Viskosität des Füllmaterials als auch die Benetzung der Kanalwände mittels Papierspitzen in der jeweiligen Gruppe identisch waren. Auf diese Art und Weise wurde die Qualität der Wurzelfüllung nicht wesentlich beeinflusst.

7.5.2 Single-Cone-Technik

Bei der Zentralstifttechnik wird der Wurzelkanal mit nur einem genormten Guttaperchastift, dem Mastercone, in Kombination mit einem Sealer gefüllt. Dabei sollte der Mastercone möglichst komplett der Form des zuletzt verwendeten Aufbereitungsinstruments und folglich auch der Form des Wurzelkanals entsprechen. Diese Voraussetzung wird fast nur von Wurzelkanälen mit rundem Querschnitt erfüllt. Die Single-Cone-Technik ist insbesondere behandlerunabhängig, schnell durchzuführen und erfordert im Gegensatz zur Lateralkondensation nur wenig Erfahrung [111]. Entspricht ein Kanal nicht der Form des genormten Guttaperchastiftes, z.B. in ovalen Wurzelkanälen, wird der Anteil des Sealers an der Wurzelfüllung unverhältnismäßig groß. Besonders im mittleren und koronalen Kanaldrittel führt dies zu großen Porositäten im Sealer und zu mangelnder Randständigkeit durch Schrumpfung des Sealers beim Abbinden [39]. In einer Studie von Inan et al. wurde die Dichtigkeit von AH Plus in Verbindung mit drei verschiedenen Obturationstechniken (Single-Cone-Technik, Lateralkondensation, Thermafil) an Unterkieferprämolaren untersucht. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass mit der Single-Cone-Technik ähnlich vergleichbare Dichtigkeitswerte erzielt wurden wie mit der Lateralkondensation und der Thermafil-Technik [46]. In einer ähnlichen Untersuchung von Ozawa et al. wurden diese Obturationstechniken bei ovalen Wurzelkanälen verglichen. Obwohl hier die Thermafil-Technik die besten Ergebnisse hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelfüllung lieferte, war die Single-Cone-Technik mit denen der Lateralkondensation vergleichbar [67]. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Zentralstifttechnik in Bezug auf die Standardisierung gut geeignet ist, um eine verlässliche Aussage über das Dichtigkeitsverhalten von Sealern zu treffen. Verglichen zu anderen Fülltechniken, ist die Schichtstärke des Sealers bei dieser Methode im Verhältnis zur Guttapercha relativ groß [61], sodass sich Sealereigenschaften unabhängig von der Technik deutlich besser

untersuchen lassen.

7.5.3 Lateralkondensation

Die laterale Kondensation gilt in der Endodontie als Goldstandard unter den Fülltechniken und wird an vielen Hochschulen gelehrt. In der langjährigen klinischen Anwendung führt diese Fülltechnik zu guten Ergebnissen [36, 56, 57]. Aufgrund des hohen Guttaperchaanteiles an der Wurzelfüllung ist es möglich, den Wurzelkanal mit verhältnismäßig wenig Sealer dicht zu füllen. Die Qualität der Wurzelfüllung wird in dem Fall also nicht mehr so stark vom Sealer bestimmt [5]. Kritisch zu bewerten ist jedoch die Häufigkeit von vertikalen Wurzelfrakturen, die in Folge eines zu starken Kondensationsdruckes als eine Komplikation dieser Wurzelkanalfülltechnik auftreten können [42, 74]. Beim Einsatz von Spreadern während der Obturation wurde besonders darauf geachtet, dass es nicht zu Frakturen der Zähne kommt, um mögliche Fehlerquellen bei der Farbstoffpenetration von Beginn an auszuschließen. Eine zusätzliche Isolierung der Wurzeloberfläche mit zwei Schichten Nagellack minimierte außerdem das Risiko von Eindringen des Farbstoffes durch unbemerkte Frakturspalten. Eine Studie aus den USA von Baumgardner et al. zeigte eine deutliche Überlegenheit der Lateralkondensation gegenüber anderen Obturationsmethoden hinsichtlich der Kanalwandadaptation und der koronalen Dichtigkeit [10]. Die Vorgehensweise bei dieser Fülltechnik lässt schlussfolgern, dass es sich um eine techniksensitive Methode handelt, die sowohl Erfahrung als auch Geschick des Behandlers erfordert. Darüber hinaus wurde darauf geachtet, dass annähernd die gleiche Menge an Guttapercha sowie Sealer verwendet wurde, um den Anforderungen der Standardisierung gerecht zu werden.

7.5.4 Non-Compaction-Technik

Die Non-Compaction-Technik stellt eine Modifikation der lateralen Kondensation dar. Bei dieser Methode werden keine Spreader eingesetzt, sondern akzessorische Guttaperchastifte ohne vorherige Komprimierung neben den Masterpoint eingeführt. Vorteile gegenüber der lateralen Kondensation sind die geringere Frakturrate aufgrund des Verzichtes von Spreadern sowie die Vermeidung von versehentlichem Herausziehen der Guttaperchastifte. Im Sinne der Standardisierung wurde in dieser Studie neben dem Hauptstift auf eine gleichbleibende Anzahl von Nebenstiften der ISO-Größe 20 pro

Zahn geachtet. Mögliche Fehlerquellen durch eine unterschiedliche Menge an Nebenstiften konnten somit vermieden werden. Wissenschaftliche Studien belegen sehr gute Ergebnisse hinsichtlich der apikalen Dichtigkeit [40]. Im Vergleich zur Einstifttechnik ist diese Obturationsmethode enorm techniksensitiv, weshalb sie vor Beginn der Studie an Probenzähnen ausreichend trainiert wurde.

7.5.5 Thermafil

Als vierte Obturationsmethode und einzige Warmfülltechnik wurde Thermafil in dieser Arbeit untersucht. Gemäß den Herstellerangaben wurden die Thermafil-Stifte im ThermaPrep Plus-Ofen für zwei Zyklen erwärmt und anschließend in den mit Sealer beschickten Kanal eingebracht. Unter leichtem Druck wurden die Stifte für 30 Sekunden gehalten, bevor der Kunststoffträger mit einem heißen Instrument abgetrennt werden konnte. Da ein Thermafil-Stift einen Taper von .04 aufweist, wird von allen Probenzähnen ein Mindestkonus von Taper .04 verlangt. Aufgrund der standardisierten maschinellen Aufbereitung aller Zähne bis 45 Taper .04, erfüllten alle Proben diese Anforderung. Im Vergleich zu der Lateralkondensation handelt es sich bei der Thermafil-Technik um eine weniger techniksensitive und mehr zeitsparende Obturationsmethode. Zudem ist das Frakturrisiko deutlich vermindert. Von entscheidendem Vorteil ist die Verwendung nur eines Guttaperchastiftes, der auch nur einmalig mit Sealer beschickt werden muss. Untersuchungen bestätigen, dass Thermafil besser in der Lage ist, auch laterale und akzessorische Kanäle zu füllen [22, 57]. Abarca et al. stellten in ihrer Studie fest, dass die apikale Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit dem Thermafil-System vergleichbar mit denen der lateralen Kondensation ist [1]. Kritisch ist jedoch die Häufigkeit von Überpressungen von Sealer über den Apex bei Anwendung von Thermafil zu werten, die aufgrund des hohen Einbringdruckes resultieren [85]. Zudem findet sich in der apikalen Region des Wurzelkanals oft nur noch der Kunststoffträger ohne Guttapercha-Ummantelung [50]. Eine Studie aus den USA von Behnia et al. ging der interessanten Frage nach, ob es durch die Erhitzung während der Füllungsphase zu einer Irritation bzw. Verletzung des periradikulären Gewebes kommt. Trotz einer durchschnittlichen Erwärmung der Wurzeloberfläche um 4 °C konnten keine nachweisbaren irreparablen Schäden am Parodont bei Verwendung des Thermafil-Systems belegt werden [12]. Die Eignung des Thermafil-Systems für die Obturation ovaler Wurzelkanäle wurde in diversen Untersuchungen geprüft. Obwohl

Thermafil fast immer gute Dichtigkeitsergebnisse erzielt, scheint die Obturationsmethode keinen wesentlichen Einfluss auf die Wurzelfüllung im apikalen Drittel zu haben. Im mittleren und koronalen Drittel resultierte jedoch eine viel bessere Adaption der Guttapercha an die Kanalwand und somit eine höhere koronale Dichtigkeit [24, 25, 67].

7.6 Dichtigkeitsuntersuchung

Als eine der am häufigsten angewandten in-vitro-Methoden zur Überprüfung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung gilt die Farbstoffpenetrationstestung. In der vorliegenden Studie wurde 5%-iges Methylenblau verwendet um die koronale Dichtigkeit der Wurzelfüllungen zu testen. Aufgrund seines geringen Molekulargewichtes kann Methylenblau wesentlich tiefer in den Wurzelkanal eindringen als z.B. schwarze Tusche, wie Ahlberg et al. in einer Untersuchung zeigten [4]. Ein Problem in der Wurzelfüllung stellen eingeschlossene Luftbläschen dar, da diese die Penetration des Farbstoffes verhindern und somit die Ergebnisse verfälschen können. Daher wurde in dieser Arbeit mit aktiver Penetration mittels Zentrifugalkraft gearbeitet. Mit 30 g und 400 U/min wurden alle Proben dieser Studie für 3 Minuten einheitlich zentrifugiert, um ein Vordringen des Farbstoffes bis hin in Spalträume zu ermöglichen. Einheitliche Untersuchungsbedingungen (gleicher Füllstand des Farbstoffes, gleiche Zentrifugationszeit, gleiche Umdrehungszahl) gewährleisteten die Vergleichbarkeit der Ergebnisse untereinander. Dem Farbstoffpenetrationstest vorausgegangen, war eine gründliche Isolierung der Proben mittels zweifacher Nagellackbeschichtung. Ausschließlich die koronale Öffnung der Wurzelfüllung wurde belassen, um dort eine Penetration des Farbstoffes zu zulassen. Da es sich bei der vorliegenden Arbeit um eine in-vitro-Studie handelt, sollte bei der Beurteilung der Ergebnisse bedacht werden, dass klinische Faktoren, die die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung ebenfalls beeinflussen, völlig unberücksichtigt bleiben. Parameter wie Mundhöhlenflora, Kaukräfte und Speichel können in den Versuchen nicht simuliert werden. Ferner scheint das Alter der Zähne bei Farbstoffpenetrationsuntersuchungen einen nicht unerheblichen Einfluss zu nehmen [100]. Bei Extraktionen entstandene Mikrorisse in Schmelz und/oder Dentin könnten ebenso auf die Ergebnisse einwirken. Außerdem muss erwähnt werden, dass die Forschung bis heute nicht eindeutig klären konnte, ob eine positive Farbstoffpenetration im Zusammenhang mit dem klinischen

Misserfolg einer Wurzelfüllung steht. Überlegenswert wäre die Durchführung von anderen Dichtigkeitsuntersuchungen sowie die Bestätigung der Ergebnisse unter in-vivo Bedingungen.

7.7 Schnittmethoden

Um die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung anhand der Farbstoffpenetration analysieren und beurteilen zu können, müssen die Zähne für die Auswertung vorbereitet werden. Dabei wird zwischen der sogenannten Quer- und Längsschnitttechnik sowie der Clearing-Technik unterschieden. Bei der Längsschnitttechnik werden die Zähne entlang ihrer Längsachse geschnitten und die Farbstoffpenetrationstiefe bestimmt. Nachteil dieser Methode ist, dass keine genaue Aussage über die Lokalisation des Farbstoffes innerhalb der Wurzelfüllung getroffen werden kann. Möchte man die Farbstoffpenetration zwischen Wurzelkanalwand und Sealer bewerten, eignet sich am besten das Clearing-Verfahren. Hierbei werden die Probenzähne durch Methylsalicylat oder HNO_3 (Salpetersäure) aufgelöst und somit durchsichtig gemacht. Als Vorteil dieser Methode ist der computergestützte Nachweis des Indikators zu nennen [19]. Um sowohl Penetrationstiefe, Penetrationsfläche als auch Sealerverteilung exakter zu ermitteln, erweist sich die Querschnitttechnik (Cross-section-Analyse) wesentlich geeigneter als die Clearing-Technik [59]. Vor allem ist die Gefahr der Farbstoffeliminierung durch Auflösen des Zahnes bei der Querschnitttechnik gering. In der vorliegenden Studie wurde diese Technik angewandt, da sich mit ihr die Penetrationstiefe einfach und exakt bestimmen lässt. Zuvor wurden die Proben in einem definierten Abstand mit Präzisionssägen in kleine Scheiben gesägt und anschließend je nach Schnitthöhe nach positiver bzw. negativer Penetration bewertet. Die Penetration des Farbstoffes lässt sich zudem sowohl innerhalb des Sealers als auch am Grenzbereich zwischen Sealer und Guttapercha gut beurteilen. Dies spielt speziell bei der Lateralkondensation und Non-Compaction-Technik eine wichtige Rolle. Nachteilig wirkt sich bei der Querschnitttechnik ein Materialverlust aufgrund der Sägeblattstärke aus, sodass Ungenauigkeiten in den Ergebnissen einkalkuliert werden müssen. Welche der genannten Methoden für die Beurteilung der Ergebnisse in Frage kommt, sollte im Vorfeld anhand der Zielsetzung der Studie abgewogen werden, da jede Technik gewisse Vor- und Nachteile mit sich bringt.

7.8 Diskussion der Ergebnisse

In der vorliegenden Arbeit wurden die Sealer AH Plus und Pulp Canal Sealer in Kombination mit vier verschiedenen Wurzelfülltechniken in ovalen Wurzelkanälen auf ihre koronale Dichtigkeit hin untersucht. Für diese Studie wurden ausschließlich praxisrelevante Obturationsmethoden wie die Single-Cone-Technik, die Lateralkondensation, die Non-Compaction-Technik und die Thermafil-Technik angewandt. In zahlreichen Dichtigkeitsuntersuchungen wurden bereits die Kombinationen aus den genannten Fülltechniken und beiden Sealern analysiert, jedoch gibt es bislang nur wenige Studien, die sich mit ovalen Wurzelkanälen beschäftigen.

AH Plus, ein Sealer auf Epoxidharz-Basis, ist einer der meist untersuchtesten Wurzelfüllmaterialien und gilt als Goldstandard in der Endodontie. Aufgrund seiner herausragenden Eigenschaften wie z.B. dem gutem Abdichtungsvermögen, der hohen Volumenbeständigkeit und der einfachen klinisch Handhabung, wird AH Plus in vielen Studien als Referenzmaterial ausgewählt [14, 58, 59, 81]. Ein weiteres Produkt auf Kunstharz-Basis ist AH 26, der Vorgänger von AH Plus. AH 26 beinhaltet Hexamethylentetraamin, dem eine Freisetzung von Formaldehyd unmittelbar nach dem Anmischen zugesprochen wird, und aus diesem Grund sehr kritisch zu bewertet ist. Im Nachfolgepräparat AH Plus ist dieser Inhaltsstoff nicht mehr enthalten. Die Auswertung der Serienschritte kann die guten Eigenschaften dieses Wurzelkanalsealers bestätigen. Im Vergleich zu dem anderen zu untersuchenden Sealer, Pulp Canal Sealer EWT, führte AH Plus zu signifikant besseren Ergebnissen hinsichtlich des Dichtigkeitsverhalten. Bei Anwendung verschiedenster Obturationstechniken erfolgte eine Farbstoffpenetration maximal bis in die vierte Schnittebene. Anhand der linearen Penetrationstiefe zeigte sich, dass AH Plus in Kombination mit der Non-Compaction-Technik bzw. der Lateralkondensation die besten Dichtigkeitswerte erzielt. Lediglich die Kombination von AH Plus mit der Thermafil-Technik schnitt im Vergleich deutlich schlechter ab. Hierbei konnte ein Eindringen des Farbstoffes bis in die sechste Schnittebene nicht verhindert werden.

Grundsätzliche sollten Studien, die die apikale Dichtigkeit untersuchen, von denen unterschieden werden, die sich mit dem koronalen Dichtigkeitsverhalten beschäftigen. Für apikale Dichtigkeitsuntersuchungen ergeben sich geringere Penetrationstiefen als für koronale Untersuchungen. Ursache hierfür kann die größere Farbangriffsfläche sein,

die aufgrund der Wurzelkanalanatomie koronal deutlich vergrößert ist.

Bei dem anderen untersuchten Füllmaterial **Pulp Canal Sealer EWT**, handelt es sich um einen Sealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis. Diese Sealer zeigen eine hohe Löslichkeit mit einem Gewichtsverlust von bis zu 10% Prozent und besitzen selbst im ausgehärteten Zustand eine körnige und spröde Konsistenz. Forschungen fanden heraus, dass zinkoxideugenolhaltige Pasten nahezu keine Haftung am Dentin aufweisen [17, 97]. Die Ergebnisse der hier durchgeführten Untersuchung bestätigen dies deutlich. Einzig die Kombination mit der Thermafil-Technik zeigt eine einigermaßen akzeptable Penetrationstiefe bis in die siebte Schnittebene. Bei allen anderen Obturationstechniken erfolgte die Farbstoffpenetration fast komplett in der gesamten Wurzelfüllung bis apikal. Dies ist klinisch absolut inakzeptabel. Schlussfolgernd sollte Pulp Canal Sealer nur in Verbindung mit einer Warmfülltechnik angewandt werden. Ursächlich für die schlechte Bewertung dieses Sealers scheint die geringe Haftkraft am Dentin sowie die Porosität des ausgehärteten Materials, welche zu Microleakage zwischen Sealer und Kanalwand bzw. zwischen Sealer und Guttaperchastift führt. Bakterien könnten leicht in die Wurzelfüllung eindringen und dort eine Reinfektion verursachen. Es ist anzunehmen, dass Sealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis für den klinischen Gebrauch nicht mehr empfehlenswert sind, da auch mit ähnlichen Produkten dieser Gruppe in vergleichbaren Studien schlechte Dichtigkeitswerte erreicht wurden [28, 58]. Verglichen mit Pulp Canal Sealer EWT bewies AH Plus in dieser Studie eindeutig das bessere Dichtigkeitsverhalten für die Verwendung in ovalen Wurzelkanälen.

7.8.1 Single-Cone-Technik

Die einfach durchzuführende Einstifttechnik zeigte in Kombination mit der Verwendung von AH Plus sehr gute Dichtigkeitswerte. Die durchschnittliche lineare Penetrationstiefe lag hier bei 4,39 mm. Lediglich bei Anwendung mit Pulp Canal Sealer EWT erfolgte die durchschnittliche Penetration bis zur letzten Schnittebene. Problematisch bei dieser Technik ist, dass der Mastercone möglichst dem letzten Aufbereitungsinstrument und somit auch der Form des Wurzelkanals entsprechen sollte, um eine dichte Wurzelfüllung zu erreichen. Weil in ovalen Wurzelkanälen selten ein genormter Guttaperchastift der Form des Kanals entspricht, wird der Anteil des Sealers an der Wurzelfüllung hierbei unverhältnismäßig groß. Besonders im mittleren und

koronalen Kanaldrittel führt dies zu großen Porositäten im Sealer und zu mangelnder Randständigkeit durch Schrumpfung des Sealers beim Abbinden [39]. Aufgrund der Tatsache, dass bei dieser Fülltechnik dem Sealer die tragende Rolle zukommt, lassen sich die schlechten Ergebnisse vom Pulp Canal Sealer EWT erklären. Die angesprochene Porosität des Materials trägt hauptsächlich dazu bei, dass eine Farbstoffpenetration entlang der Wurzelfüllung kaum aufgehalten werden kann. In einer Studie aus Japan wurden verschiedene Obturationstechniken bei ovalen Wurzelkanälen verglichen. Hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelfüllung erbrachte die Single-Cone-Technik gute Ergebnisse, welche mit denen der Lateralkondensation vergleichbar sind [67]. Ähnliches lässt sich in dieser Arbeit für beide Sealer bestätigen, auch wenn die Ergebnisse von unterschiedlicher Qualität des Sealers zeugen.

7.8.2 Lateralkondensation

Die durch langjährigen klinischen Einsatz bewiesenen hervorragenden Ergebnisse dieser Fülltechnik [36, 56, 57] können in dieser Arbeit nur für den Sealer AH Plus positiv belegt werden. Es konnte eine durchschnittliche lineare Penetrationstiefe von 3,44 mm festgestellt werden. In Kombination mit Pulp Canal Sealer EWT lag dieser Wert bei 10 mm. Die Farbstoffpenetration erfolgte also durch die gesamte Wurzelfüllung. Diese Resultate zeigen, dass AH Plus ein besseres Abdichtungsverhalten besitzt und in Kombination mit der Lateralkondensation zu klinisch einwandfreien Ergebnissen führt. Eine Anwendung bei ovalen Wurzelkanälen kann mit dieser Konstellation empfohlen werden. Die durch Pulp Canal Sealer EWT auftretenden Undichtigkeiten bestätigen erneut die hohe Löslichkeit, die unzureichende Haftkraft und das spröde Verhalten dieses Materials. Generell entstehen die Undichtigkeiten bei Anwendung dieser Fülltechnik dadurch, dass Spreader die bereits eingebrachten Guttaperchastifte verformen und häufig auch Riefen auf selbigen hinterlassen. Es bilden sich Hohlräume, die sich nur schwer durch nachfolgende Stifte ausgleichen lassen. Des Weiteren stellt die große Anzahl an einzelnen Guttaperchastiften eine Schwachstelle innerhalb der Wurzelfüllung dar, da das Interface zwischen Sealer und Guttapercha entscheidend vergrößert wird. Insgesamt ist festzustellen, dass es sich bei dieser Obturationstechnik um eine äußerst techniksensitive Methode handelt und diese nur von erfahrenen Behandlern angewendet werden sollte.

7.8.3 Non-Compaction-Technik

Hinsichtlich der Farbstoffpenetration schnitt diese Füllmethode für beide Sealer durchschnittlich am besten ab. Während AH Plus mit dieser Technik die höchste Dichtigkeit erzielte (LPT=3,35 mm), schnitt Pulp Canal Sealer EWT erneut sehr schlecht ab (LPT=9,92 mm). Beide Werte liegen sogar knapp über denen, welche mit der Lateralkondensation ermittelt wurden. Da bei dieser Fülltechnik kein Spreader zum Einsatz kommt, ist anzunehmen, dass auch weniger Hohlräume innerhalb der Wurzelfüllung entstehen und somit ein homogener Verbund resultiert. Die einfachere Handhabung und verkürzte Arbeitszeit, stellt im Vergleich mit der Lateralkondensation einen beachtlichen Vorteil dar. Eine Studie von Herbert et al. bestätigt die hervorragenden Dichtigkeitswerte, die bei Anwendung dieser Obturationsmethode erzielt werden können [40]. In dieser Arbeit handelt es sich um die dichteste Kaltfülltechnik.

7.8.4 Thermafil

Bei Anwendung der Thermafil-Technik sind die unterschiedlichsten Ergebnisse zu beobachten. Während in der Pulp Canal Sealer EWT Gruppe mit Thermafil die besten Dichtigkeitswerte zu verzeichnen sind (LPT = 7,28 mm), schnitt Thermafil in der AH Plus Gruppe mit einer durchschnittlichen linearen Penetrationstiefe von 6,57 mm am schlechtesten ab. Vergleicht man alle untersuchten Sealer dieser gesamten Arbeit (Vgl. Dissertation Ulrike Decker: auch Apexit Plus und GuttaFlow wiesen ähnlich schlechte Dichtigkeitswerte auf), liefert die einzige Warmfülltechnik Thermafil die höchsten Undichtigkeitswerte. Problematisch stellt sich bei dieser Methode die Kontraktion der Guttapercha beim Abkühlen dar. Dies soll durch eine vom Hersteller vorgegebene druckverstärkte Haltezeit von ca. 30 Sekunden kompensiert werden. Wird dieser Vorgang allerdings unzureichend durchgeführt, kommt es zu Undichtigkeiten zwischen Kanalwand und Sealer bzw. Guttapercha. Andere Fehlerquellen, die diese Ergebnisse erklären könnten, sind zum einen ungenügende Erwärmung des Obturators im Ofen und zum anderen mangelnde Erfahrung in der Anwendung der Warmfülltechniken.

7.9 Abschlussbewertung

Die vorliegende Arbeit beweist, dass die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung von der Technik, dem Sealer und der Kombination aus beidem abhängig ist. Nicht jedes Füllmaterial erbringt mit verschiedenen Techniken gleich gute Ergebnisse. Auch umgekehrt zeigen sich bei gleicher Obturationsmethode unterschiedliche Resultate hinsichtlich des Sealers. Beispielhaft dafür ist die Thermafil-Technik. Während sie in Verbindung mit Pulp Canal Sealer EWT die besten Ergebnisse innerhalb dieser Gruppe erzielt, liefert AH Plus mit dieser Methode die schlechtesten Dichtigkeitswerte in der Gruppe ab. Dieses Ergebnis lässt sich vor allem auf die unterschiedlichen Zusammensetzungen und die damit verbundenen Viskositäten und Fließeigenschaften der Sealer zurückführen. Deshalb sollte vor Anwendung eines neuen Materials dieses bereits ausgiebig erprobt worden sein. Gleiches gilt für den Einsatz neuer Techniken. Anhand der Daten dieser Studie kann der Sealer AH Plus für die Füllung ovaler Wurzelkanäle empfohlen werden. Am geeignetsten ist eine Kombination mit der Non-Compaction-Technik, wobei auch alle anderen Kaltfülltechniken dieser Arbeit klinisch akzeptable Ergebnisse erzielten. Pulp Canal Sealer EWT schnitt allgemein sehr schlecht ab und sollte deshalb nicht als Füllmaterial verwendet werden. Da in dieser in-vitro-Studie lediglich zwei Sealer untersucht wurden, wäre eine ähnliche Arbeit mit mehreren Sealern unterschiedlichster Zusammensetzung zu empfehlen, um eine weiterführende Aussage über das koronale Dichtigkeitsverhalten der jeweiligen Obturationstechniken treffen zu können. Des Weiteren sollten auch weitere Dichtigkeitsanalyseverfahren wie z.B. Glucose- oder Bakterienpenetrationstests zum Einsatz kommen, um testspezifische Ungenauigkeiten zu eliminieren.

8. Literaturverzeichnis

1. Abarca AM, Bustos A, Navia M (2001) A comparison of apical sealing and extrusion between Thermafil and lateral condensation techniques. *J Endod* 27, 670-672
2. Abou-Rass M, Piccinino MV (1982) The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 54, 323-328
3. AH Plus Jet Dentsply Konstanz Deutschland Gebrauchsanweisung, URL: www.dentsply.de (14.09.2010)
4. Ahlberg KM, Assavanop P, Tay WM (1995) A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth. *Int Endod J* 28, 30-34
5. Al-Khatat N, Kunzelmann K-H, Hickel R (1999) Dichtigkeit und Wandständigkeit verschiedener endodontischer Sealer in schmierschichtfreien Wurzelkanälen. *Dtsch Zahnärztl Z* 54, 479-483
6. Alves FR, Almeida BM, Neves MA, Moreno JO, Rôças IN, Siqueira JF Jr. (2011) Disinfecting oval-shaped root canals: effectiveness of different supplementary approaches. *J Endod* 37, 496-501
7. Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM (1992) In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. *Endod Dent Traumatol* 8, 104-108
8. Barthel C, Flachsenberg S, Georgi M, Petschelt A, Schäfer E, Neuber T, Kockapan C, Weiger R, Hülsmann M (2006) Wurzelkanalspülung. Stellungnahme der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 10

9. Barthel CR, Gruber S, Roulet JF (1999) A new method to assess the results of instrumentation techniques in the root canal. *J Endod* 25, 535-538
10. Baumgardner KR, Taylor J, Walton R (1995) Canal adaptation and coronal leakage: lateral condensation compared to Thermafil. *J Am Dent Assoc* 126, 351-356
11. Baumgartner JC, Cuenin PR (1992) Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod* 18, 605-612
12. Behnia A, McDonald NJ (2001) In vitro infrared thermographic assessment of root surface temperatures generated by the thermafil plus system. *J Endod* 27, 203-205
13. Bergman L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P (2001) Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: Rationale, performance and safety. *Am J Dent* 14, 324-333
14. Bouillaguet S, Shaw L, Barthelemy J, Krejci I, Wataha JC (2008) Long-term sealing ability of Pulp Canal Sealer, AH-Plus, GuttaFlow and Epiphany. *Int Endod J* 41, 219-226
15. Boutsoukis C, Lambrianidis T, Kastrinakis E (2009) Irrigant flow within a prepared root canal using various flow rates: a Computational Fluid Dynamics study. *Int Endod J* 42, 144-155
16. Brady JM, del Rio CE (1975) Corrosion of endodontic silver cones in humans: a scanning electron microscopic and X-ray microprobe study. *J Endod* 1, 205-210
17. Briseno BM, Willershausen B (1990) Root canal sealer cytotoxicity on human gingival fibroblasts. 1. Zinc oxide-eugenol-based sealers. *J Endod* 16, 383-386
18. Brown RC, Jackson CR, Skidmore AE (1994) An evaluation of apical leakage of a glass ionomer root canal sealer. *J Endod* 20, 288-291

19. Buchalla W, Attin T, Brücklmeier R, Hellwig E (1999) Computergestützte Methode zur quantitativen Bestimmung der apikalen Undichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 54, 244-248
20. Buttler TK, Crawford JJ (1982) The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxins. *J Endod* 8, 59-66
21. Chanteaux M, Baumann-Giedziella UA, Hellmich M, Baumann MA (2002) Cleaning and shaping efficiency of FlexMaster evaluated by SEM. *Int Endod J* 35, 99
22. Clark DS, ElDeeb ME (1993) Apical sealing ability of metal versus plastic carrier Thermafil obturators. *J Endod* 19, 4-9
23. Da Silva PT, Pappen FG, Souza EM, Dias JE, Bonetti Filho I, Carlos IZ, Leonardo RT (2008) Cytotoxicity evaluation of four endodontic sealers. *Braz Dent J* 19, 228-231
24. De-Deus G, Murad C, Paciornik S, Reis CM, Coutinho-Filho T (2008) The effect of the canal-filled area on the bacterial leakage of oval-shaped canals. *Int Endod J* 41, 183-190
25. De-Deus G, Reis C, Beznos D, de Abranches AM, Coutinho-Filho T, Paciornik S (2008) Limited ability of three commonly used thermoplasticized gutta-percha techniques in filling oval-shaped canals. *J Endod* 34, 1401-1405
26. Dietz DB, Di Fiore PM, Bahcall JK, Lautenschlager EP (2000) Effect of rotational speed on the breakage of nickel titanium rotary files. *J Endod* 26, 68-71
27. DIN EN ISO 3630-1 (1994) Zahnärztliche Wurzelkanalinstrumente. Beuth Berlin

28. Dutra F, Barroso JM, Carrasco LD, Capelli A, Guerisoli DM, Pécora JD (2006) Evaluation of apical microleakage of teeth sealed with four different root canal sealers. *J Appl Oral Sci* 14, 341-345
29. Elayouti A, Chu AL, Kimionis I, Klein C, Weiger R, Löst C (2008) Efficacy of rotary instruments with greater taper in preparing oval root canals. *Int Endod J* 41, 1088-1092
30. Esposito PT, Cunningham CJ (1995) A comparison of canal preparation with nickel titanium and stainless steel instruments. *J Endod* 21, 173-176
31. Gambill JM, Alder M, del Rio CE (1996) Comparison of nickel titanium and stainless steel hand-files instrumentation using computed tomography. *J Endod* 22, 369-375
32. Gettleman BH, Messer HH, ElDeeb ME (1991) Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 17, 15-20
33. Glosson CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE (1995) A comparison of root canal preparations using Ni-Ti engine driven and K-Flex endodontic instruments. *J Endod* 21, 146-151
34. Gressmann G, Hülsmann M (2001) Automated root canal preparation using the FlexMaster-NiTi-System. *Endodontie* 10, 227
35. Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM (2005) Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. *Int Endod J* 38, 743-752
36. Heidemann D (1989) Die Wurzelfüllung- manuell – maschinell. *Dtsch Zahnärztl Z* 44, 414-416

37. Heidemann D (2001) Endodontie. Urban & Fischer München , 4.Auflage, 1-24, 79-122
38. Heidemann D, Hülsmann M, Petschelt A, Raab WMH, Schäfer E, Weiger R (2005) Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung. Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ. Dtsch Zahnärztl Z 60, 1-10
39. Hellwig E, Klimek J, Attin T (2007) Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Fischer München, 4. Auflage, 295-341
40. Herbert J, Bruder M, Braunsteiner J, Altenburger MJ, Wrbas KT (2009) Apical quality and adaptation of Resilon, EndoREZ, and Guttaflow root canal fillings in combination with a noncompaction technique. J Endod 35, 261-264
41. Hess W (1917) Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apicale. Schweiz Vierteljahresschr Zahnheilk 27, 1–53
42. Holcomb JQ, Pitts DL, Nicholls JI (1987) Further investigation of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. J Endod 13, 277-284
43. <http://www.vdw-dental.com/produkte/flexmaster.html> (14.09.2010)
44. Hübscher W, Barbakow F, Peters OA (2003) Root canal preparation with FlexMaster: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. Int Endod J 36, 883-890
45. Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F (2003) A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments. Int Endod J 36, 358-366

-
46. Inan U, Aydin C, Tunca YM, Basak F (2009) In vitro evaluation of matched-taper single-cone obturation with a fluid filtration method. *J Can Dent Assoc* 75, 123
 47. Ingle JI (1955) The need for endodontic instrument standardization. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 8, 1211-1213
 48. Ingle JI (1961) A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments and filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 14, 83-91
 49. Johnson WB (1978) A new gutta-percha technique. *J Endod* 4, 184-188
 50. Juhlin JJ, Walton RE, Dovgan JS (1993) Adaptation of thermafil components to canal walls. *J Endod* 19, 130-135
 51. Kahn FH, Rosenberg PA, Schertzer L, Korthals G, Nguyen PN (1997) An in-vitro evaluation of sealer placement methods. *Int Endod J* 30, 181-186
 52. Kennedy WA, Walker WA, Gough RW (1987) Smear layer removal effects on apical leakage. *J Endod* 12, 21-27
 53. Kersten HW, Moorer WR (1989) Particles and molecules in endodontic leakage. *Int Endod J* 22, 118-124
 54. Kockapan C (1995) Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung - Eine Übersicht. *Endodontie* 4, 33-48
 55. Kröncke A (1981) Die Aufbereitung des Wurzelkanals als Voraussetzung für die Applikation des Füllmaterials. *Dtsch Zahnärztl Z* 36, 201-207
 56. Kuttler Y. (1979) Analysis and comparison of root canal filling techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 48, 153-159
 57. Lares C, ElDeeb ME (1990) The sealing ability of the Thermafil obturation technique. *J Endod* 16, 474-479

-
58. Lussi A, Imwinkelried S, Hotz P, Grosrey J. (2000) Long-term obturation quality using noninstrumentation technology. *J Endod* 26, 491-493
 59. Lussi A, Imwinkelried S, Stich H (1999) Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology. *Int Endod J* 32, 17-23
 60. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD (1984) Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod* 10, 477-483
 61. Marciano MA, Ordinola-Zapata R, Cunha TV, Duarte MA, Cavenago BC, Garcia RB, Bramante CM, Bernardineli N, Moraes IG (2011) Analysis of four gutta-percha techniques used to fill mesial root canals of mandibular molars. *Int Endod J* 44, 321-329
 62. Martinho FC, Gomes BP (2008) Quantification of endotoxins and cultivable bacteria in root canal infection before and after chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite. *J Endod* 34, 268-272
 63. Matloff IR, Jensen JR, Singer L, Tabibi A (1982) A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Pathol* 53, 203-208
 64. Mc Comb D, Smith DC (1975) A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod* 1, 238-242
 65. Michanowicz AE, Czonstkowsky M, Piesco NP (1986) Low-temperature (70 degrees C) injection Gutta-percha: a scanning electron microscopic investigation. *J Endod* 12, 64-67
 66. Oddoni PG, Mello I, Coil JM, Antoniazzi JH (2008) Coronal and apical leakage analysis of two different root canal obturation systems. *Braz Oral Res* 22, 211-215
 67. Ozawa T, Taha N, Messer HH (2009) A comparison of techniques for obturating oval-shaped root canals. *Dent Mater J* 28, 290-294

68. Palmer GR, Weine FS, Palmer MJ, Healey HJ (1979) A study of the tissue reaction to silver cones and Ti-6Al-4V in the Rhesus monkey. *J Endod* 5, 116-120
69. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA (2010) Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *J Endod* 36, 703-707
70. Paqué F, Peters OA (2011) Micro-computed tomography evaluation of the preparation of long oval root canals in mandibular molars with the self-adjusting file. *J Endod* 37, 517-521
71. Petschelt A, Oberschachtsiek H (1985) Über die Schmierschicht ("Smear-Layer") nach der Wurzelkanalaufbereitung (REM-Untersuchung). *Dtsch Zahnärztl Z* 40, 845-849
72. Petschelt A, Oberschachtsiek H (1985) Wandständigkeit verschiedener Wurzelfüllmaterialien bei Zentralstifttechnik (REM-Untersuchung). *Dtsch Zahnärztl Z* 40, 308-311
73. Petschelt A, Stumpf B, Raab W (1987) Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit und ohne Schmierschicht [„Smear -Layer“]. *Dtsch Zahnärztl Z* 42, 743-746
74. Pitts DL, Matheny HE, Nicholls JI (1983) An in vitro study of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. *J Endod* 9, 544-550
75. Rödiger T, Hülsmann M, Kahlmeier C. (2007) Comparison of root canal preparation with two rotary NiTi instruments: ProFile .04 and GT Rotary. *Int Endod J* 40, 553-562
76. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R (2007) Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *J Endod* 33, 31-33

-
77. Roggendorf MJ (2004) Wurzelkanalfüllung gestern-morgen-heute. *Endodontie Journal* 2, 6-9
 78. Rohde TR, Bramwell JD, Hutter JW, Roahen JO (1996) An in vitro evaluation of microleakage of a new root canal sealer. *J Endod* 22, 365-368
 79. Said HM, Bakar WZ, Farea M, Husein A (2012) The effect of different sealer placement techniques on sealing ability: An in vitro study. *J Conserv Dent* 15, 257-260
 80. Schäfer E (1998) Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz. Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte. Quintessenz, Berlin
 81. Schäfer E (2000) Wurzelkanalfüllmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 15
 82. Schäfer E, Hickel R (2000) Wurzelkanalfüllpasten und- füllstifte. Stellungnahme der DGZMK und DGZ. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 9
 83. Schäfer E, Hickel R, Geurtsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab W (2000) Wurzelkanalaufbereitungen. Stellungnahme der DGZMK. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 719
 84. Schäfer E, Lohmann D (2002) Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile--Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 35, 514-521
 85. Schäfer E, Olthoff G (2002) Effect of three different sealers on the sealing ability of both thermafil obturators and cold laterally compacted Gutta-Percha. *J Endod* 28, 638-642
 86. Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G (2004) Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod* 30, 432-435

87. Schäfer E (1998) Metallurgie und Eigenschaften von Nickel-Titan-Handinstrumenten. *Endodontie* 4, 323–335
88. Schilder H (1967) Filling Root Canals in Three Dimensions. *Dent Clin North Am* 11, 723-744
89. Schirrmeister J (2006) Die Möglichkeiten der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. *Zahnärzteblatt Baden Württemberg* 10, 45-49
90. Schneider SW (1971) A comparison of canal preparations in straight and curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 32, 271-275
91. Seltzer S, Green DB, Weiner N, DeRenzis F (1972) A scanning electron microscope examination of silver cones removed from endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 33, 589-605
92. Siqueira JF Jr., Magalhaes KM, Rocas IN (2007) Bacterial reduction in infected root canals treated with 2.5% NaOCl as an irrigant and calcium hydroxide/camphorated paramonochlorophenol paste as an intracanal dressing. *J Endod* 33, 667-672
93. Skinner RL, Himel VT (1987) The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha with and without the use of sealers. *J Endod* 13, 315-317
94. Sonntag D (2003) Schneidengeometrie und Effizienz voll rotierender Nickel-Titan-Feilen. *Endodontie* 12, 229-242
95. Stevens RW, Strother JM, McClanahan SB (2006) Leakage and sealer penetration in smear-free dentin after a final rinse with 95% ethanol. *J Endod* 32, 785-788
96. Symbion Endo Corporation, Orange, USA Herstellerinformation zu Pulp Canal Sealer EWT

-
97. Tagger M, Tagger E, Tjan AH, Bakland LK (2002) Measurement of adhesion of endodontic sealers to dentin. *J Endod* 28, 351-354
 98. Taha NA, Ozawa T, Messer HH (2010) Comparison of three techniques for preparing oval-shaped root canals. *J Endod* 36, 532-535
 99. Tepel J (1998) Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalauflbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z* 53, 101-113
 100. Thaler A, Ebert J, Petschelt A, Pelka M (2008) Influence of tooth age and root section on root dentine dye penetration. *Int Endod J* 41, 1115-1122
 101. Valle Fröes JA, Parreira Horta HG, Silveira A (2000) Smear layer influence on the apical seal of four different obturation techniques. *J Endod* 26, 351-354
 102. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H (1988) An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod* 14, 346-351
 103. Weiger R, Brückner M, ElAyouti A, Löst C (2003) Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments compared to Lightspeed instruments and NiTi hand files. *Int Endod J* 36, 483-490
 104. Weiger R, ElAyouti A, Löst C (2002) Efficiency of hand and rotary instruments in shaping oval root canals. *J Endod* 28, 580-583
 105. Wesselink PR (1995) Die Wurzelkanalfüllung (I). *Endodontie* 4, 181-192
 106. Wiemann AH, Wilcox LR (1991) In vitro evaluation of four methods of sealer placement. *J Endod* 17, 444-447
 107. Wong M, Peters DD, Lorton L (1981) Comparison of guttapercha filling techniques, compaction (mechanical), vertical (warm) and lateral condensation techniques. Part 1. *J Endod* 7, 551-560

-
108. Wong M, Peters DD, Lorton L, Bernier WE (1982) Comparison of gutta-percha filling techniques: three chloroform gutta-percha filling techniques, part 2. *J Endod* 8, 4-9
109. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR (1994) Leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J* 27, 304-308
110. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR, Moorer WR (1993) Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 26, 203-208
111. Wu MK, Özok AR, Wesselink PR (2000) Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J* 33, 340-345
112. Wu MK, Tigos E, Wesselink PR (2002) 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
113. Wu MK, Wesselink PR (2001) A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *Int Endod J* 34, 137-141
114. Wu MK, Wesselink PR (1993) Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J* 26, 37-43
115. Yamaguchi M, Yoshida K, Suzuki R, Nakamura H (1996) Root canal irrigation with citric acid solution. *J Endod* 22, 27-29
116. Zidan O, Alkhatib Z, Gomez-Marin O. (1987) Obturation of root canals using the single cone gutta-percha technique and dentinal bonding agents. *Int Endod J* 20, 128-132
117. Zmener O, Pameijer CH, Banegas G (2006) Retreatment efficacy of hand versus automated instrumentation in oval-shaped root canals: an ex vivo study. *Int Endod J* 39, 521-526

9. Anhang

9.1 Abkürzungen

Abb.	Abbildung
AH	AH Plus Jet
ANOVA	Analysis of Variance
cm	Zentimeter
DIN	Deutsches Institut für Normung
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
EN	Europäische Norm
EWT	Extended work time
g	Gramm
H ₂ O ₂	Wasserstoffperoxid
HNO ₃	Salpetersäure
Hz	Hertz
IQR	Interquartilsabstand
ISO	International Organization for Standardization
LCT	Lateral condensation technique
min	Minute
ml	Milliliter
mm	Millimeter
NaOCl	Natriumhypochlorit
NCT	Non-compaction technique
NiTi	Nickel-Titan-Legierung
p	Signifikanzwert
PCS	Pulp Canal Sealer
REM	Rasterelektronenmikroskop
SAF	Self adjusting file
SCT	Single-cone technique
Tab.	Tabelle
TFT	Thermafil technique
U	Umdrehung
µm	Mikrometer

9.2 Materialien

AH Plus Jet LOT 0607000808	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Blaues Winkelstück	KaVo GmbH, Biberach, Deutschland
C-File Size 8 LOT 0712910524	VDW GmbH München, Deutschland
Chloramin-T-Lösung	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen, Deutschland
Diamantschleifer	Meisinger GmbH Neuss, Deutschland
Endokanüle LOT 080607	Transcoject GmbH Neumünster, Deutschland
EndoStepper	S.E.T. Olching, Deutschland
70% Ethanol-Lösung	Apotheke des Universitätsklinikum Erlangen, Deutschland
Epoxidharz Biresin G 27 Polyurethangießharz	Sika N.V Utrecht, Niederlande
FlexMaster Size 20 LOT 0710310514 Size 25 LOT 0503310327 Size 30 LOT 0601310375 Size 35 LOT 0601310374	VDW GmbH, München, Deutschland
Glasplatte	

Grünes Winkelstück	KaVo GmbH Biberach, Deutschland
Guttapercha Points Size 0.2 0.25 LOT 170917 Size 0.2 0.45 LOT 197826	Roeko, Coltène/Whaledent Langenau, Deutschland
Hedström File ISO 35 LOT 9943620	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Heidemann-Spatel	Hu-Friedy Leimen, Deutschland
Innenlochsäge	Roditi International Hamburg, Deutschland
Kugelstopfer	Hu-Friedy Leimen, Deutschland
Methylenblau-Lösung 5%	Wissenschaftliches Labor der Zahnklinik 1, Universitätsklinikum Erlangen, Deutschland
Microbrush X	Microbrush International Grafton, Wisconsin, USA
Nagellack	Palmer's Textil AG Wien, Österreich
Natriumhypochlorit-Lösung 5%	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen, Deutschland
Paper Points LOT 176119	Roeko, Coltène/ Whaledent Langenau, Deutschland

ProFile Size 45 LOT 3082370	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Pulp Canal Sealer EWT LOT 51145	Kerr, SybronEndo Corporation, Orange, CA, USA
Rosenbohrer	Meisinger GmbH Neuss, Deutschland
Rotes Winkelstück	KaVo GmbH Biberach, Deutschland
Schaumstoffpellets	Demedis München, Deutschland
Stereo-Lichtmikroskop	Zeiss AG Jena, Deutschland
Spreader medium LOT 3253720	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Spreader fine LOT 3723720	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
SPSS Win 14.0	SPSS Inc Illinois, USA
Sonicflex endo Endo-Spitzen	Kavo GmbH Biberach, Deutschland
Tetric Flow	IvoclarVivadent GmbH Schaan, Lichtenstein

Thermafil LOT 10120626	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
ThermaPrep Plus Ofen	Dentsply DeTrey GmbH Konstanz, Deutschland
Zentrifuge Varifuge K	Heraeus Christ GmbH Osterode, Deutschland
Zitronensäure-Lösung 40%	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen, Deutschland

9.3 Statistik

Gruppenzugehörigkeit = AH Plus/SCT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^c

		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	4,390
	Standardabweichung	2,1063
Extremste Differenzen	Absolut	,150
	Positiv	,150
	Negativ	-,128
Kolmogorov-Smirnov-Z		,475
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,978

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

c. Gruppenzugehörigkeit = AH Plus/SCT

Gruppenzugehörigkeit = AH Plus/LCT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^c

		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	3,440
	Standardabweichung	2,9364
Extremste Differenzen	Absolut	,235
	Positiv	,235
	Negativ	-,203
Kolmogorov-Smirnov-Z		,742
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,641

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
- b. Aus den Daten berechnet.
- c. Gruppenzugehörigkeit = AH Plus/LCT

Gruppenzugehörigkeit= AH Plus/NCT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^c

	lineare Penetration Rog
N	10
Parameter der Mittelwert	3,350
Normalverteilung ^{a,b} Standardabweichung	2,7650
Extremste Differenzen Absolut	,287
Positiv	,287
Negativ	-,229
Kolmogorov-Smirnov-Z	,909
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,381

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
- b. Aus den Daten berechnet.
- c. Gruppenzugehörigkeit = AH Plus/NCT

Gruppenzugehörigkeit = AH Plus/TFT**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^c**

	lineare Penetration Rog
N	10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert 6,570
	Standardabweichung 3,8759
Extremste Differenzen	Absolut ,312
	Positiv ,188
	Negativ -,312
Kolmogorov-Smirnov-Z	,986
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,285

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
 b. Aus den Daten berechnet.
 c. Gruppenzugehörigkeit = AH Plus/TFT

Gruppenzugehörigkeit = PCS/SCT**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^d**

	lineare Penetration Rog
N	10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert 10,000
	Standardabweichung ,0000 ^c

- 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 = PCS/SCT

Gruppenzugehörigkeit = PCS/LCT**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^d**

	lineare Penetration Rog
N	10
Parameter der Mittelwert	10,000
Normalverteilung ^{a,b} Standardabweichung	,0000 ^c
g	

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 = PCS/LCT

Gruppenzugehörigkeit = PCS/NCT**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^c**

	lineare Penetration Rog
N	10
Parameter der Mittelwert	9,920
Normalverteilung ^{a,b} Standardabweichung	,2530
Extremste Differenzen Absolut	,524
Positiv	,376
Negativ	-,524
Kolmogorov-Smirnov-Z	1,657
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,008

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

- b. Aus den Daten berechnet.
 c. Gruppenzugehörigkeit = PCS/LCT

Gruppenzugehörigkeit = PCS/TFT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^c

		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter	der Mittelwert	7,280
Normalverteilung ^{a,b}	Standardabweichung	1,6692
Extremste Differenzen	Absolut	,178
	Positiv	,178
	Negativ	-,148
Kolmogorov-Smirnov-Z		,562
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,910

- a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.
 b. Aus den Daten berechnet.
 c. Gruppenzugehörigkeit = PCS/TFT

Sealer = AHPlus**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^c**

	lineare Penetration Rog
N	40
Parameter der Mittelwert	4,438
Normalverteilung ^{a,b} Standardabweichung	3,1575
Extremste Differenzen Absolut	,167
Positiv	,167
Negativ	-,138
Kolmogorov-Smirnov-Z	1,058
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,213

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

c. Sealer = AHPlus

Sealer = PulpCanalSealer**Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest^c**

	lineare Penetration Rog
N	40
Parameter der Mittelwert	9,300
Normalverteilung ^{a,b} Standardabweichung	1,4331
Extremste Differenzen Absolut	,462
Positiv	,313
Negativ	-,462
Kolmogorov-Smirnov-Z	2,924
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	,000

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

- b. Aus den Daten berechnet.
 c. Sealer = PulpCanalSealer

Post-Hoc-Tests

Sealer

Homogene Untergruppen

lineare Penetration Rog

Student-Newman-Keuls^{a,b}

Sealer	N	Untergruppe		
		1	2	3
AHPlus	40	4,438	4,438	
PulpCanalSealer	40			9,300
Sig.		,061	,266	1,000

Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt.

Grundlage: beobachtete Mittelwerte.

Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate(Fehler) = 5,256.

- a. Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 40,000
 b. Alpha = 0,05

10. Danksagung

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

Ganz herzlich möchte ich mich bei meinem Doktorvater, Herrn Professor Dr. R. Frankenberger, Direktor der Abteilung für Zahnerhaltungskunde der Universität Marburg, für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit zum Abschluss meiner Arbeit in Marburg bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn OA Dr. M. Roggendorf für die Anregung zur Bearbeitung des Themas, die tatkräftige Unterstützung im praktischen Teil dieser Arbeit und für zahlreiche wertvolle Anregungen, die wesentlich zum Gelingen meiner Dissertation beigetragen haben.

Für die Hilfe während des experimentellen Teiles meiner Arbeit möchte ich Herrn H. Brönnner sowie dem gesamten Team des werkstoffwissenschaftlichen Labors der Zahnklinik 1 der Universität Erlangen/ Nürnberg meinen herzlichen Dank aussprechen.

Ganz besonders möchte ich meiner Familie, insbesondere meinen Eltern, für die Unterstützung während meines Studiums danken. Ohne Eure Liebe und Motivation wäre das alles nicht möglich gewesen.

11. Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer während meines Studiums in Erlangen waren die Damen/Herren:

Becker, Beuscher, Boegershausen, Brehmer,

Eichhorn, Eitner,

Forster, Frankenberger,

Gasteiger,

Hannappel, Hertrich, Hirschfelder, Holst,

Korbmacher, Kressel,

Lütjen-Drecoll,

Messlinger,

Netzker, Neuhuber, Neukam, Nkenke,

Oberschachtsiek, Ogilvie,

Pelka, Petschelt,

Ristein, Rohen,

Sauer, Schlegel, Schüttler, Simon, Strobel,

Volk, Voß,

Waldfahrer, Wichmann