Aus der Klinik für Zahnerhaltung, Parodontologie und Präventive Zahnheilkunde,

Universitätsklinikum des Saarlandes, Homburg/Saar

Direktor: Prof. Dr. M. Hannig

Vergleichende In-vitro-Untersuchungen zur Dichtigkeit von Wurzelfüllungen

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors der Zahnheilkunde

der Medizinischen Fakultät

der UNIVERSITÄT DES SAARLANDES

2008

vorgelegt von: Arthur Weber

geb. am: 08. 03. 1975 in Najman/Kirgisien

Inhaltsverzeichnis

1.	**Zusammenfassung/Summary**	**1**
2.	**Einleitung**	**5**
3.	**Wurzelkanalbehandlung**	**7**
3.1.	**Wurzelkanalaufbereitung**	**7**
3.1.1.	**Manuelle Aufbereitung**	**9**
3.1.2.	**Maschinelle Aufbereitung**	**10**
3.1.2.1.	**Einführung der Nickel-Titan-Systeme**	**10**
3.1.2.2.	**FlexMaster-System**	**11**
3.1.3.	**Chemische Aufbereitung**	**15**
3.1.3.1.	**Schmierschicht**	**15**
3.1.3.2.	**Spüllösung**	**16**
3.1.3.3.	**EDTA**	**18**
3.2.	**Wurzelkanalfüllung**	**19**
3.2.1.	**Bedeutung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung**	**19**
3.2.2.	**Ziele der Wurzelkanalfüllung**	**21**
3.2.3.	**Materialien**	**22**
3.2.3.1.	**Wurzelkanalfüllstifte**	**22**
3.2.3.2.	**Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)**	**23**
3.2.3.2.1.	**AH Plus als Goldstandard**	**26**
3.2.4.	**Obturationstechniken**	**27**
4.	**Ziel der Studie**	**30**
5.	**Material und Methode**	**32**
5.1.	**Auswahl und Vorbereitung der Zähne**	**32**
5.2.	**Wurzelkanalaufbereitung**	**33**
5.2.1.	**Mechanische Wurzelkanalaufbereitung**	**33**
5.2.2.	**Chemische Wurzelkanalaufbereitung**	**36**
5.3.	**Wurzelkanalfüllung**	**37**
5.3.1.	**Gruppeneinteilung nach der Wurzelfülltechnik**	**37**
5.3.2.	**Gruppeneinteilung nach Applikationsart des Sealers**	**40**
5.4.	**Vorbereitung der Zähne für die Auswertung**	**43**
5.5.	**Auswertung**	**46**
5.5.1.	**Röntgenbilder**	**47**
5.5.2.	**Spaltpräparate**	**47**

5.5.3.	**Farbstoffpenetrationstest (Spektralphotometrische Methode)**	**48**
5.5.4.	**Statistische Auswertungen**	**49**
6.	**Ergebnisse**	**50**
6.1.	**Dichtigkeitsuntersuchung**	**50**
6.2.	**Röntgenbilder**	**50**
6.3.	**Spaltpräparate**	**51**
6.4.	**Farbstoffpenetrationstest**	**56**
6.5.	**Statistische Auswertung der Daten**	**62**
7.	**Diskussion**	**66**
7.1.	**Material und Methoden**	**66**
7.1.1.	**Auswahl und Vorbereitung der Zähne**	**66**
7.1.2.	**Wurzelkanalaufbereitung**	**67**
7.1.3.	**Wurzelkanalfüllung**	**68**
7.1.4.	**Auswertung**	**71**
7.1.4.1.	**Röntgenbilder**	**71**
7.1.4.2.	**Spaltpräparate**	**71**
7.1.4.3.	**Farbstoffpenetrationstest (Spektralphotometrische Methode)**	**73**
7.2.	**Ergebnisse**	**75**
7.2.1.	**Röntgenbilder**	**75**
7.2.2.	**Spaltpräparate**	**77**
7.2.3.	**Farbstoffpenetrationstest (Spektralphotometrische Methode)**	**79**
7.3.	**Schlußfolgerung**	**82**
8.	**Literaturverzeichnis**	**84**
9.	**Anhang**	**112**
9.1.	**Spaltpräparate (rotierende laterale Kondensation)**	**112**
9.2.	**Spaltpräparate (Thermafil)**	**113**
9.3.	**Spaltpräparate (klassische laterale Kondensation)**	**114**
9.4.	**Röntgenbilder (rotierende laterale Kondensation)**	**115**
9.5.	**Röntgenbilder (Thermafil)**	**116**
9.6.	**Röntgenbilder (klassische laterale Kondensation)**	**117**
9.7.	**Ergebnisse der spektralphotometrischen Messungen (Relativwerte)**	**118**
10.	**Danksagung**	**119**
11.	**Tabellarischer Lebenslauf**	**120**

1. Zusammenfassung

Im Rahmen dieser In-vitro-Untersuchung sollte überprüft werden, ob die laterale Kondensation mit rotierenden Ni-Ti-Winkelstückspreadern signifikante Vorteile hinsichtlich der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen erbringt und ob die Applikationsart des Sealers einen Einfluss auf die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen hat.

Es wurden 120 Zähne mit geraden Wurzelkanälen (Krümmungswinkel < 15°) verwendet. Die Wurzelkanäle wurden maschinell nach der Crown-down-Technik mit Ni-Ti-Instrumenten aufbereitet. Als Antriebsquelle der Feilen diente ein drehmomentbegrenzter Motor (Endo IT control).

Die Zähne wurden orientiert an den Obturationstechniken in drei Gruppen mit jeweils 40 Zähnen aufgeteilt. In der ersten Gruppe wurden 40 Wurzelkanäle mit der rotierenden lateralen Obturationstechnik unter Verwendung von rotierenden Ni-Ti-Winkelstückspreadern abgefüllt und verdichtet. 40 Wurzelkanäle aus der zweiten Gruppe wurden thermoplastisch mit Thermafil Obturatoren abgefüllt. In der dritten Gruppe wurden 40 Zähne nach den Regeln der klassischen lateralen Kondensation mit Wurzelkanalfüllungen versehen.

In jeder Gruppe wurden die Zähne nochmals in vier Untergruppen - orientiert an der Applikationsart des Sealers (Papierspitze, Masterpoint, Lentulo, EZ-Fill) - mit jeweils 10 Zähnen aufgeteilt.

Die Zähne wurden röntgenologisch in 3 Projektionen auf Homogenität und apikale Ausdehnung der angefertigten Wurzelkanalfüllungen untersucht. Die Auswertung dieser röntgenologischen Beurteilungskriterien diente zur Kontrolle, ob die verschiedenen, zum Einsatz gekommenen Wurzelkanalfülltechniken zur dreidimensionalen Obturation von Wurzelkanälen geeignet sind. Danach durchliefen die angefertigten Wurzelkanalfüllungen einen Farbstoffpenetrationstest mit einer 2%igen wässrigen Methylenblau-Lösung bei 48-stündiger Penetrationsdauer. Zur Beurteilung der dabei stattgefundenen Penetration wurden

Spaltpräparate von allen Zähnen angefertigt und die flächige Ausdehnung der Farbstoffpenetration innerhalb der Wurzellängsschnitte visuell ausgewertet und dokumentiert. Die Auswertung der Spaltpräparate erfolgte in Abhängigkeit von einer direkt nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung angefertigten digitalen Röntgenkontrolle in vestibulo-oraler, mesio-distaler und disto-mesialer Strahlenrichtung.

Anschließend wurden die Zähne einer Farbstoff-Extraktions-Methode (spektralphotometrische Methode) unterworfen und das Ausmaß der Farbpenetration quantitativ erfasst.

Es zeigte sich, dass die Wurzelkanalfüllungen in der ersten Gruppe (rotierende laterale Kondensationstechnik) insgesamt bessere Werte als in der Gruppe 3 (klassische laterale Kondensationstechnik) hinsichtlich der Dichtigkeit aufwiesen. Die Wurzelfüllungen aus der zweiten Gruppe (Thermafil Obturationstechnik) zeigte aber eine bessere Dichtigkeit als in der ersten Gruppe. Statistisch signifikante Unterschiede ($p > 0,05$) waren im Vergleich der Gruppen (rotierende laterale Kondensation, Thermafil, klassische laterale Kondensation) jedoch nicht festzustellen.

Sowohl zwischen den Untergruppen (abhängig von der Applikationsart des Sealers) als auch innerhalb der Versuchsgruppen 1-3 ergaben sich hier auch keine signifikanten Unterschiede ($p > 0,05$).

Es wurde kein signifikanter Einfluss der Applikationsmethode auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen festgestellt. Es konnte jedoch in der Tendenz aufgezeigt werden, dass die Kombination der rotierenden lateralen Kondensation mit Anwendung der EZ-Fill Spirale Vorteile hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen erbringen. Dem praktizierenden Endodontologen eröffnet die spezielle Applikationsmethode des Sealers mittels EZ-Fill neue Möglichkeiten zur Wurzelkanalfüllung.

Es wurden zwar keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen bei Vergleich der Obturationstechniken festgestellt, es konnte jedoch

die Möglichkeit des erleichterten Kondensationsvorganges mit Hilfe des modifizierten Spreaders bei der rotierenden lateralen Kondensationstechnik im Vergleich zur klassischen lateralen Kondensation gezeigt werden. Dies dürfte im klinischen Alltag eine wesentliche Verbesserung der Arbeitsqualität bewirken.

Daraus ergibt sich als Schlussfolgerung, dass der Einsatz von Ni-Ti-Instrumenten zur Verdichtung von Wurzelfüllungen unter Verwendung eines drehmomentbegrenzten Motors als Ergänzung der klassischen lateralen Kondensationstechnik angesehen werden kann.

Summary

Comparative *in vitro* Investigation of the Sealing Ability of Root Canal Fillings

The purpose of this in vitro study was to evaluate whether a lateral condensation with rotating nickel-titanium-spreaders is of significant advantage concerning the sealing abilities of root canal fillings. The study also examined whether different sealer placement methods improve the sealing abilities of root canal fillings.

Altogether, 120 teeth with straight root canals (curvature angle < 15°) were used. The teeth's root canals were prepared using rotating nickel-titanium instruments according to the crown down method. The files were driven by a torque controlled motor (Endo IT control).

The entire group of 120 teeth was subdivided into three great groups of 40 teeth each; each of these subgroups received a treatment with a specific root canal filling method: the 40 root canals of group 1 were filled using lateral condensation with rotating nickel-titanium-spreaders. The 40 root canals of group 2 were thermoplastically filled using the thermafil method. The 40 root canals of group 3 received conventional root canal fillings using lateral condensation.

The teeth of each subgroup were again subdivided into four groups, consisting of 10 teeth each, according to the respective sealer placement method they received (paper point, master point, lentulo, EZ fil).

As a next step, postoperative radiographs of each tooth were taken from three different projection angles. This proceeding made it possible to control both the apical extension and the homogeneity of the root canal fillings in three dimensions. Subsequently, all teeth were immersed in 2 % methylene blue for 48 hours, before each root was length-sectioned and the depth of dye-penetration was measured photometrically. Split preparations of the root canal fillings were examined using postoperative radiographs from three different projection angles. The data obtained by means of the spectral photometrical method were statistically analysed.

The results are as follows: Neither the comparison between the main groups 1, 2 and 3 nor the comparisons between the subgroups showed any significant differences concerning the sealing ability of the root canals ($p > 0.05$). Thus, the statistical analysis does not indicate any influence of the sealer placement method on the sealing abilities of root canal fillings.

The use of modified rotary nickel-titanium-spreaders offers significant advantages in the working process while resulting in the same significant sealing ability of root canal fillings.

It is concluded that the use of nickel-titanium-instruments for the condensation of root canal fillings in combination with a torque controlled motor is a method which is complementary to the conventional lateral condensation method.

2. Einleitung

Die Zahnerhaltung nimmt in den letzen Jahren einen immer größeren Stellenwert ein. Während früher vor allem bei der Schmerzbehandlung die Extraktion häufig die einzige Therapiemöglichkeit darstellte, ist das Spektrum der zahnerhaltenden Maßnahmen heute erheblich größer. Im Rahmen der konservierenden Behandlungen hat besonders die Endodontie als Teil der Zahnerhaltung immer mehr an Bedeutung gewonnen.

Das Hauptziel einer endodontischen Behandlung ist die Entfernung von Mikroorganismen aus dem Wurzelkanal. Nach einer sorgfältigen Aufbereitung und Spülung des Kanalsystems kann nicht davon ausgegangen werden, dass alle Bakterien eliminiert wurden. Es muss eine dichte Wurzelkanalfüllung erfolgen. Nur eine solche ist in der Lage, jegliche Verschiebung von Flüssigkeiten zu unterbinden. Ist dies nicht der Fall, kann es zu einem Eindringen von Gewebeflüssigkeiten aus dem Periapikalraum in das Kanalsystem kommen. Diese stellt für die verbliebenen Bakterien ein Nährsubstrat dar und erlaubt ihre Vermehrung. Als Folge entsteht eine chronische Entzündung, die akut exazerbieren kann.

Die dichte Obturation des Wurzelkanalsystems spielt eine zentrale Rolle bei der Sicherstellung des langfristigen Therapieerfolges (Weine 1995) und ist eng mit der Reinigung und Formgebung des Wurzelkanals verknüpft. Für den Füllungsvorgang stehen verschiedene Materialien und Methoden zur Verfügung. Die Literatur über Wurzelfüllungen und Wurzelfüllmaterialien ist kaum überblickbar, und nur auf eine kleine Auswahl von Meinungen, Vorschlägen und Untersuchungen kann Bezug genommen werden (Schroeder 1981). Die heute am häufigsten angewandten Obturationsmethoden basieren auf Guttaperchastiften, welche entweder durch die Zentralstift- oder die Mehrstiftmethode (laterale Kondensation) in den Wurzelkanal eingebracht werden. Neben einem solidem Kernmaterial, meistens Guttapercha, kommt dabei immer ein pastöses Sealermaterial zur Anwendung (Gencoglu et al. 2002). Durch den Einsatz von Sealern gelingt es die

Abschlussdichte der Wurzelkanalfüllung deutlich zu erhöhen. Jedoch kann bei der Mehrstiftmethode (laterale Kondensation) keine homogene, den Hohlraum des Wurzelkanals vollständig ausfüllende Wurzelfüllung erzielt werden (Schilder 1967). Dies führte insbesondere zur Weiterentwicklung der Wurzelkanalfülltechniken mit dem Ziel eine „dreidimensionale“ Wurzelkanalfüllung zu erhalten. Es wurden thermoplastische Methoden zur Wurzelkanalfüllung mit Guttapercha entwickelt, wie zum Beispiel Thermafil (Tulsa Dental Products). Diese thermoplastischen Wurzelkanalfüllmethoden führen hinsichtlich des apikalen Verschlusses des Wurzelkanals zu besseren Ergebnissen als die herkömmlichen Wurzelkanalfüllungen (Beatty et al. 1989). Die laterale Kondensation gilt jedoch bis heute als Referenztechnik zu anderen Wurzelkanalfülltechniken.

Nach wie vor handelt es sich bei der Guttapercha nicht um einen idealen Werkstoff. Die Guttapercha erfüllt lediglich die Funktion, den Sealer gleichmäßig auf der Wurzelkanalwand zu verteilen und die Menge des Sealers möglichst gering zu halten, um die unvermeidliche Schrumpfung des Sealers bei seiner Aushärtung zu minimieren. In zahlreichen Studien konnten Spaltbildungen zwischen Guttapercha und Sealer sowohl bei herkömmlichen als auch bei thermoplastischen Wurzelkanalfüllungen beobachtet werden (Facer et al. 2003, Shipper et al. 2004). Die Applikationsart des Sealers spielt hierbei auch eine große Rolle. Bezüglich der Applikation gibt es unterschiedliche Empfehlungen. In einer In-vitro-Studie wurden vier Applikationsmethoden (mittels Lentulo, K-Feile, Papierspitze und aktivierter Ultraschallspitze) untersucht, wobei sich keine der Methoden den anderen als überlegen erwies (Wiemann & Wilcox 1991). Eine andere Arbeit favorisiert Lentulos oder McSpadden Kompaktoren gegenüber dem Einspritzen mit einer Kanüle, und K-Feilen waren hierbei am wenigsten erfolgreich (Sigurdson et al. 1992).

Im Rahmen der vorliegenden In-vitro-Studie wird die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen bei drei Wurzelkanalfüllmethoden verglichen. Es wird untersucht, ob rotierende Ni-Ti - Winkelstückspreader als Prototyp gegenüber Fingerspreadern signifikante Vorteile bringen.

Außerdem soll der Frage nachgegangen werden, ob die Applikationsart eines Sealers einen Einfluss auf die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen hat.

3. Wurzelkanalbehandlung

Die endodontische Behandlung ist der Versuch der Zahnerhaltung bei einer irreversiblen Schädigung der Zahnnerven (Pulpa). Die endodontische Therapie (WKB) besteht aus der Aufbereitung, Reinigung, Spülung und Füllung des Wurzelkanalsystems, um die pulpäre und periradikuläre Entzündung zu eliminieren. Bei dieser Therapie sollte die irreversibel geschädigte Zahnpulpa entfernt, das verbliebene Wurzelkanalsystem gesäubert, aufbereitet und abschließend bakteriendicht versiegelt werden.

3.1. Wurzelkanalaufbereitung

Die Hauptziele der Wurzelkanalaufbereitung sind die Reinigung und Formgebung des endodontischen Hohlraumsystems. Ohne ausreichende Reinigung und Desinfektion des bakteriell infizierten Endodontes ist nicht mit einer dauerhaft hohen Erfolgsquote zu rechnen. Von Weine (1975) beschriebene „elbow“ und „zip“ – Formationen müssen bei der Formgebung des Wurzelkanalsystems vermieden werden. Darüber hinaus ist eine gleichmäßige „fließende“ Konizität zu fordern (taper und flow), die eine ausreichende Wirkung der Spüllösung auch im apikalen Kanalbereich und einen abschließenden dichten Verschluss des Kanalsystems erlaubt (Hülsmann 2002).

Die wichtigsten Prinzipien der Wurzelkanalpräparation, die gleichermaßen für die manuelle wie für die maschinelle Instrumentation gelten, können folgendermaßen zusammengefasst werden (Hülsmann 2002):

Ziele der Wurzelkanalaufbereitung:

- Möglichst vollständige Elimination der bakteriellen Infektion des Endodontes,
- Möglichst vollständige Entfernung von Pulpagewebe und nekrotischem Material,
- Erhaltung der Integrität der Periapikalregion oder Schaffen der Vorraussetzung zur Ausheilung bereits existierender periapikaler Läsionen,
- Formgebung zur Erleichterung und Optimierung der definitiven Füllung,
- Keine Erweiterung der apikalen Konstriktion,
- Präparation eines definierten apikalen Stopps, der ein Überpressen von Debris und Spülflüssigkeiten verhindert und eine auf das Kanallumen begrenzte, dicht kondensierte Füllung ermöglicht.

Folgende Regeln müssen bei dem Vorgehen eingehalten werden:

- Aseptische Arbeitsbedingungen,
- Vermeidung von Über- und Unterinstrumentierung,
- Allseitige Bearbeitung des zirkumpulpalen Dentins ohne gravierende Formveränderungen (Begradigung o. ä.) oder übermäßige Schwächung der Wurzel,
- Aufbereitung immer im feuchten Kanal (Spüllflüssigkeit, Chelator), intensive Spülung nach jeder ISO-Größe,
- Passive Instrumentierung, kein Einsatz der Instrumente mit Kraft,
- Kein Überspringen von Instrumentengrößen,
- Aufbereitung mindestens um drei bis vier ISO-Größen,
- Erweiterung möglichst bis mindestens ISO 30 oder 35,
- Immer zuerst den schwierigsten Kanal bearbeiten,

- In gekrümmten Kanälen: Ausdehnung der Zugangskavität, sodass ein geradliniger Zugang in das apikale Kanaldrittel ermöglicht wird, dann zunächst Erweiterung des geraden koronalen Anteils (Step-down-Techniken, Gates-Glidden-Bohrer), Vorbiegen der Instrumente, nach Erreichen der Arbeitslänge Übergang zu Step-back-Techniken, evtl. Verwendung von flexiblen Feilen oder Nickel-Titan-Instrumenten,
- Vermeidung apikaler Blockaden durch Anhäufung von Debris, regelmäßiges Rekapitulieren auf Arbeitslänge, häufige Spülungen.

Die Formgebung kann durch manuelle oder moderne maschinelle Aufbereitungsmethoden erfolgen.

3.1.1. Manuelle Aufbereitung

Die manuell-mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals ist die klassische Variante der Wurzelkanalaufbereitung. Zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung stehen verschiedene Instrumententypen aus Edelstahl- und Nikel-Titan-Legierungen zur Verfügung.

Die Grundtypen gebräuchlicher Aufbereitungsinstrumente sind Reamer, K-Feilen und Hedström-Feilen, die sich in ihrer Geometrie und Arbeitweise unterscheiden (Schäfer 1998) (Abb. 1).

Abb. 1: Die Grundtypen gebräuchlicher Aufbereitungsinstrumente: Oben: Reamer, Mitte: K-Feile, Unten: Hedstroem-Feile (Hülsmann 2001).

Hedström-Feilen eignen sich zum Feilen des Wurzeldentins aus dem Kanal heraus. Reamer erlauben eine drehende Arbeitsweise im Wurzelkanal. Für K-Feilen ist sowohl eine drehende als auch feilende Arbeitsweise im Wurzelkanal möglich.

Für eine große Auswahl an Handinstrumenten stehen dem Behandler zahlreiche unterschiedliche Aufbereitungstechniken zur Verfügung. Die Aufbereitungstechniken werden grundsätzlich zum einen hinsichtlich des drehenden oder feilenden Einsatzes der Instrumente und zum anderen nach der Richtung der Erweiterung des Kanals von koronal nach apikal bzw. von apikal nach koronal unterschieden (Schäfer 1998).

Die bekanntesten Aufbereitungstechniken sind Step-back (Clem 1969), Balanced-force (Roane et al. 1985), Crown-down (Goerig et al. 1982), Crown-down-pressureless (Morgan & Montgomery 1984), Cincumferential-filing, Anticurvature-filing (Abou-Rass et al. 1980) und Korono-apikale Technik (Griesinger et al. 1993).

Trotz dieser verschiedener Instrumente und Aufbereitungstechniken ist es sehr schwer, einen gekrümmten Abschnitt des Wurzelkanals formgerecht zu erweitern und ihn gleichzeitig weitestgehend von Geweberesten zu befreien (Hoppe et al. 1993, Schäfer 1999).

3.1.2. Maschinelle Aufbereitung

3.1.2.1. Einführung der Nickel-Titan-Systeme

Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit rotierenden Nickel-Titan-Feilen gewinnt zunehmend an Bedeutung. Nickel-Titan-Legierungen wurden Anfang der 60er-Jahre in der amerikanischen U-Boot-Forschung entwickelt und in der Zahnheilkunde zuerst in den 70er-Jahren in der Kieferorthopädie eingesetzt. Das erste Wurzelkanalaufbereitungsinstrument aus Nickel-Titan stellten Walia et al. (1988) vor.

Nickel-Titan-Feilen (ca. 55% Nickel, 45% Titan) können im Vergleich zu konventionellen Stahlinstrumenten stark verformt werden, ohne sichtbar an elastische Grenzen zu stoßen.
Ein gebogenes Instrument richtet sich wieder vollständig gerade aus, sobald es nicht mehr unter Spannung steht, es kommt nicht zu permanenten Deformationen (superelacity, memory shape) (Hülsmann 2002).
In den vergangenden Jahren wurden zahlreiche neue endodontische Aufbereitungsinstrumente auf Ni-Ti-Basis sowohl für die manuelle als auch für die maschinelle Präparation auf den Markt gebracht. Instrumentendesigns und damit verbundene Aufbereitungskonzepte unterliegen noch immer einem schnellen Wandel.
Jedes Ni-Ti-System weist spezifische Eigenschaften hinsichtlich der Instrumentengeometrie auf und arbeitet nach einem eigenen Präparationskonzept, auf dessen Einhaltung sorgfältig zu achten ist. Der Einsatz und die Reihenfolge der einzelnen Instrumente sind in den meisten Fällen sorgfältig aufeinander abgestimmt. Alle Nickel-Titan-Instrumente scheinen relativ frakturanfällig zu sein (Hülsmann 2002). Ursachen für diese Frakturen sind ein Verklemmen der Instrumente, das Überspringen von Größen, Änderung der Geschwindigkeit, falscher Insertionswinkel der Feilen im Kanal, zu starkes manuelles Forcieren der Präparation und zu häufige Anwendung der Instrumente. Die Hersteller empfehlen daher das regelmäßige Auswechseln gebrauchter Feilen sowie die Verwendung spezieller drehmomentgesteuerter Motoren (Hülsmann 2002).

3.1.2.2. FlexMaster –System

Das FlexMaster-System® (VDW, München) wurde im Jahr 2000 als ein maschinelles, drehmomentbegrenztes Aufbereitungssystem auf Basis der Nickel-Titan-Legierung eingeführt.

Das Feilensystem FlexMaster zeigt zwar einen negativen Schneidewinkel (Winkel, der durch die Schneide der Feile, ihre Form und ihre Stellung zur Kanalwand gebildet wird), erlaubt jedoch aufgrund seiner Schneidengeometrie vom modifizierten K-Typ ein sehr effizientes Arbeiten (Sonntag 2003) (Abb.2).

Die Charakteristika von FlexMaster-Feilen sind:

- der Querschnitt entspricht einem konvexen Dreieck (Abb. 3),
- drei umlaufende, scharfe Schneidekanten (Typ K-Feile),
- ein geringer Spanraum zwischen Schneidekanten zur Aufnahme von abgescherten Dentinspänen,
- selbstzentrierende und das Instrument führende Spitze, die gleichzeitig ausgerundet und bedingt schneidend gestaltet ist (Batt-Spitze) (Abb. 4),
- drei verschiedene Konizitäten (.02, .04, .06).

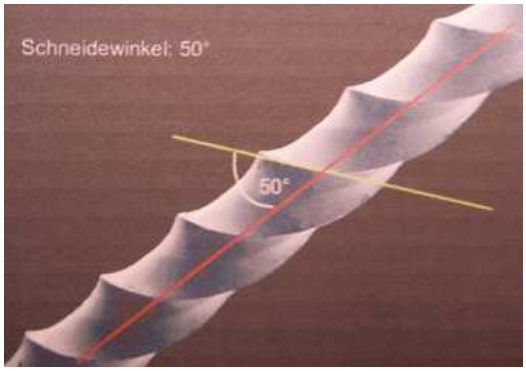


Abb. 2: REM-Aufnahme einer FlexMaster®-Feile mit rotem Farbring (Größe 25), Taper .04 bei 56facher Vergrößerung (Sonntag 2003).

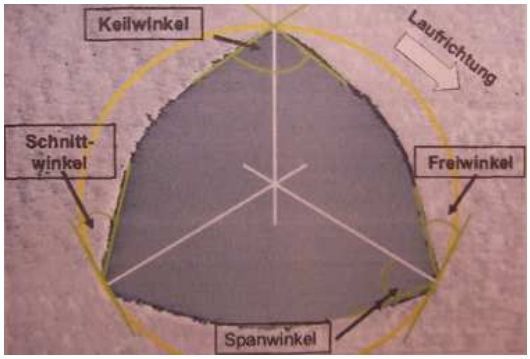


Abb. 3: FlexMaster®-Feile (aus Abb. 2) im Querschnitt bei 149facher Vergrößerung (Sonntag 2003).

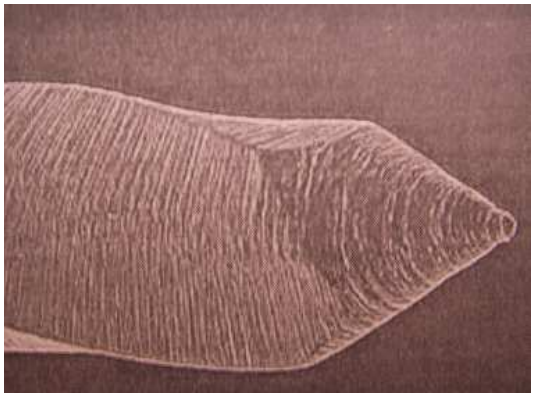


Abb. 4: FlexMaster®-Feile mit nichtschneidender Batt-Spitze (Sonntag 2006).

Die Kanalaufbereitung erfolgt beim FlexMaster-System wie bei fast allen rotierenden Wurzelkanalaufbereitungssystemen in der Crown-Down-Technik (Morgan & Montgomery 1984), die das Risiko einer Kontamination des periapikalen Gewebe mit infiziertem Material vermindert und ein besseres Spülen der Wurzelkanäle ermöglicht (Hülsmann 2002). Bei der Crown-Down-Technik wird der Kanal von koronal nach apikal mit Instrumenten großer Konizität aufbereitet, um einen ausreichenden Zugang zum apikalen Kanalanteil zu schaffen. Sobald ein Instrument im Kanal Friktion hat, wird der Kanal mit immer dünner werdenden Instrumenten nach apikal weiter aufbereitet, bis die Arbeitslänge erreicht ist. Anschließend wird die Aufbereitung mit der Step-back-Technik, bei der man von apikal nach koronal arbeitet, fortgeführt und beendet. Die Arbeitssicherheit bei der Wurzelkanalaufbereitung mit FlexMaster-Feilen wird durch einen drehmomentbegrenzten Motor Endo IT Control® (VDW,

München) erhöht. Durch die Drehgeschwindigkeit von 280 UPM wird die Frakturgefahr der FlexMaster-Feilen auf Minimum reduziert (Sonntag 2005).

Zahlreiche Untersuchungen sprechen für den Einsatz des FlexMaster-Systems bei der Aufbereitung von Wurzelkanälen (Chanteaux et al. 2001, Gressmann & Hülsmann 2001, Schäfer & Lohmann 2001, Weiger et al. 2001, Schäfer & Lohmann 2002 a b, Braun et al. 2003, Baumann 2003, Schäfer et al. 2004).

So konnten bei der Aufbereitung gekrümmter Kanäle mit FlexMaster-Feilen eine geringere Kanaltransportation, besser zentrierte Wurzelkanäle (Schäfer & Lohmann 2001, 2002 a, b), ein geringes Ausmaß an Dentinverlust und eine geringere Aufbereitungszeit (Weiger et al. 2001) gegenüber der Aufbereitung mit Ni-Ti-Handfeilen festgestellt werden.

Bezüglich der Reinigung der Wurzelkanalwände liefert das FlexMaster-System aber keine vollkommen zufriedenstellenden Ergebnisse (Gressmann & Hülsmann 2001). Eine REM-Studie von Chanteaux et al. (2001) zeigte dagegen, dass die Anwendung des FlexMaster-Systems glatte Kanalwände mit geringen Restmengen an Debris und Smear layer im Vergleich zur Aufbereitung mit Handinstrumenten ergab. Ein weiteres Problem der maschinellen Aufbereitung mit FlexMaster-Feilen liegt jedoch in der Frakturanfälligkeit der Instrumente, mit der sich zahlreiche Untersucher beschäftigt haben (Turpin et al. 2000, Braun et al. 2003, Sonntag et al. 2005). Deswegen ist die Verwendung notwendiger Hilfsmittel (z. B. glyzerinhaltige Chelatorpaste, Spüllösungen, drehmomentbegrenzter Motor) bei der Aufbereitung unverzichtbar.

Die derzeit verfügbaren wissenschaftlichen Studien weisen FlexMaster als anderen NiTi-Feilen ebenbürtig oder teilweise überlegen aus (Chanteaux et al. 2001, Schäfer & Lohmann 2001, 2002a, 2002b, Gressmann et al. 2002, Weiger et al. 2002).

3.1.3. Chemische Aufbereitung

3.1.3.1. Schmierschicht

Nach der mechanischen Bearbeitung ist die Wurzelkanalwand mit Debris und einer Schmierschicht (Smear Layer) bedeckt, die aus Dentinabrieb besteht und Bakterien enthalten kann (Hülsmann 2001). Die Dicke dieser Schmierschicht beträgt etwa 1-2 µm und wird bei der Bearbeitung des Wurzelkanals 5-40 µm tief in die Dentintubuli hineingepresst (Petschelt 1985).

Die Qualität der Wurzelkanalfüllung in An- und Abwesenheit der Schmierschicht wird kontrovers diskutiert. Nach Ansicht einiger Autoren stellt der Smear layer eine Voraussetzung für eine wanddichte Wurzelkanalfüllung dar (Kröncke 1981). Die Mehrheit der Autoren vertritt jedoch die Ansicht, dass die Entfernung der entstehenden Schmierschicht für die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung ausschlaggebend ist (Kennedy et al. 1986, Petschelt et al. 1987, Gettleman et al. 1991). Der Smear layer reduziert die Haftung der Füllmaterialien auf der Dentinoberfläche des Wurzelkanals (Gettleman et al. 1991), erschwert das Eindringen des Sealers in die Dentintubuli (White et al. 1984) und führt zu einer geringeren Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung (Kennedy et al. 1986, Petschelt et al. 1987). Die antibakterielle Wirkung der medikamentösen Einlagen in den Dentintubuli wird durch die Schmierschicht verzögert oder gar verhindert. Nach Entfernung der Schmierschicht kann zudem eine Reduktion des Mikroleakage zwischen Wurzelfüllung und Kanalwand erreicht werden, da die tubuläre Penetration des Sealers und somit die Adaption an die Kanalwand verbessert wird. (Diamond et al. 1984; Oksan et al. 1993).

3.1.3.2. Spüllösung

Die Spülung des Wurzelkanals während der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung stellt den nächsten wichtigen Schritt bei der Wurzelkanalbehandlung dar. Wurzelkanalspülungen sollen zum einen Debris und Dentinspäne aus dem Kanal ausschwemmen, da es allein mit Aufbereitungsinstrumenten nicht möglich ist, alle Bereiche des Endodontes ausreichend zu bearbeiten (Hülsmann 2001). Zum anderen besitzen die meisten Spüllösungen eine antibakterielle und gewebelösende Wirkung. Durch die vor allem bei maschineller Wurzelkanalaufbereitung verwendete Crown-down-Technik ist es im Gegensatz zur Step-back-Technik möglich, früh und intensiv bis in apikale Kanalanteile zu spülen. Die Gefahr einer Keimverschleppung von koronal nach apikal wird reduziert.

Die Ziele der Wurzelkanalspülung können wie folgt zusammengefasst werden:

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

Die gebräuchlichsten Spüllösungen sind NaOCl, H_2O_2 und Chlorhexidin und MTAD in Revisionsfällen.

Natriumhypochlorit in einer Konzentration von 1% bis 6,25% ist als einzige Spülflüssigkeit in der Lage, Pulpagewebe effizient aufzulösen (Andersen et al. 1992). NaOCl weist eine ausgezeichnete antimikrobielle Wirkung gegen zahlreiche im Wurzelkanal vorkommende Keime auf und ist dabei als vergleichweise nur gering toxisch zu bewerten (Cvek et al. 1976, The et al. 1980, Byström et al. 1985). Hinsichtlich der Reduktion der Bakterienzahl konnten bei Applikation von 1- bis 5-prozentigen NaOCl-Lösungen keine statistisch signifikanten Unterschiede festgestellt werden (D`Arcangelo et al. 1999; Siqueira et al. 2000). Jedoch nimmt die gewebeauflösende Eigenschaft von NaOCl mit der Konzentration und der applizierten Menge zu (The 1979). Allerdings wird eine relativ lange Kontaktzeit benötigt,

um eine ausreichende Gewebeauflösung zu erzielen. Diese Wirkung kann für 2,6- bis 5,25-prozentige Lösungen durch eine Erwärmung auf bis zu 60 Grad erhöht werden (Abou-Rass & Oglesby 1981). Bei Erwärmung auf nur 37 Grad konnte zwar der Effekt einer 2,6-prozentigen Lösung, nicht aber der einer 5,25-prozentigen Lösung gesteigert werden (Cunningham & Balekjian 1980). NaOCl kann als einzige Spülflüssigkeit Lipopolysaccharide (Zellwandbestandteile gramnegativer Bakterien) neutralisieren (Haight Ponce et al. 1999). Es wirkt leicht blutstillend und bleichend. Auf Grund der gewebsauflösenden Wirkung, seiner Biokompatibilität und seiner desinfizierenden Wirkung (Dakin 1915) ist Natriumhypochlorit zum bewährten Spülmittel in der Endodontie geworden und kann in Kombination mit Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) die Schmierschicht entfernen. Auch Zitronensäure alleine oder in Kombination mit NaOCl erreicht ein gleiches Ergebnis (Petschelt et al. 1987).

Wasserstoffperoxid (3-5%) verfügt kaum über eine antimikrobielle Wirkung (Stewart et al. 1961). Die Wechselspülung von NaOCl mit H_2O_2 ist nicht sinnvoll, da sowohl die antimikrobielle als auch gewebeauflösende Wirkung des NaOCl durch gegenseitige Neutralisation (H_2O_2 + NaOCl -> H_2O + NaCl + O_2) stark reduziert wird.

Chlorhexidin gehört zur Gruppe der Bisguanide und wird in der Zahnmedizin als Digluconat verwendet. Es wird seit 1954 (Davies et al. 1954) in vielen Bereichen der Medizin als Desinfektionsmittel eingesetzt (Foulkes 1973).

Chlohexidindigluconat (CHX) zeigt in Konzentrationen zwischen 0,2-2% ebenso wie NaOCl eine sehr gute antimikrobielle Wirkung bei guter Bioverträglichkeit (Wennberg 1980). Es wirkt nicht gewebeauflösend und kann Endotoxine (LPS) nicht neutralisieren. Die Spülung mit CHX ist als Zusatzspülung zu verstehen. Die Vorteile liegen in ihrer Substantivität am Dentin (White et al. 1999) sowie in der besonders guten Wirkung gegen grampositive Keime z.B. Enterokokken (Emilson 1977), und Pilze, die sich vermehrt in Revisionsfällen finden und gegen NaOCl und/oder $Ca(OH)_2$ resistent sein können. Bei CHX - Spülung vor oder nach NaOCl - Spülung kann es zum Ausfällen von CHX - Kristallen im Wurzelkanal kommen.

MTAD ist eine Spüllösung zur Wurzelkanaldesinfektion und wurde von M. Torabinejad 2003 vorgestellt. Der Name des Präparates MTAD (engl.: mixture of a tetracycline, an acid and a detergent) ist Buchstabenspiel: T steht für Tetracyclin, den Antibiotikaanteil, A für Säure (Zitronensäure, citric acid) und D für ein Detergenz, das die Oberflächenspannung reguliert. Die MTAD-Lösung besteht aus Doxycyclin (Tetracyclin-Isomer), Zitronensäure und Tween 80, einem kommerziell erhältlichen Detergenz. Die Lösung mit einem pH-Wert von 2,15 entfernt die Schmierschicht und bewirkt gleichzeitig eine effektive Desinfektion des Wurzeldentins (Torabinejad et al. 2003). Die Auflösung der organischen und anorganischen Komponenten der Schmierschicht ermöglicht ein Eindringen der Lösung in die Dentintubuli und in Seitenkanäle. Das beigefügte Detergenz verbessert diese Wirkung durch eine Reduktion der Oberflächenspannung. MTAD ist sehr effektive Spüllösung gegen E. faecalis (Shabahang et al. 2003, Shabahang & Torabinejad 2003, Torabinejad et al. 2003) und verfügt über eine minimale Zytotoxizität (Zhang & Torabinejad 2003). MTAD eignet sich nur zur Ergänzung der Spülung mit NaOCl (Beltz et al. 2003). Es empfiehlt sich die Spülung während der Aufbereitung mit 1,3%iger NaOCl-Lösung und zusätzlich eine 5-minütige Abschlussspülung mit MTAD (Machnick et al. 2003, Shabahang & Torabinejad 2003, Torabinejad et al. 2003).

3.1.3.3. EDTA

Chelatoren sind in der Lage, selektiv Kalziumionen des Dentins an sich zu binden und das Wurzeldentin „chemisch zu erweichen“ (Hülsmann 2001). In der letzten Zeit haben Chelatorpräparate mit EDTA wieder an Popularität gewonnen. Sie werden von nahezu allen Herstellern als Gleitmittel zur Unterstützung der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit modernen Nickel-Titan-Instrumenten empfohlen. Die demineralisierende Wirkung der

Chelatoren erleichtert vor allem die Aufbereitung enger und stark kalzifizierter Wurzelkanäle. Der bekannteste Chelator ist Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) (von Nygaard-Ostby 1957 vorgestellt). EDTA ist ein flüssiger Chelator mit einem pH-Wert von 7,3 in einer 10%igen Lösung. Es besitzt eine gewisse antibakterielle Wirkung gegenüber alpha-hämolysierender Streptokokken und Staphylococcus aureus bei gleichzeitig geringer Zytotoxizität (Hülsmann 1997). Die EDTA-Lösung erweicht nicht nur das Wurzelkanalwanddentin, sondern setzt in Kontakt mit NaOCl Sauerstoff frei. Dadurch werden pulpale Reste, Dentinpartikel und Blutkoagulat ausgeschwemmt. Durch eine Kombination von EDTA und NaOCl kommt es zur vollständigen Entfernung des Smear layer (O´Connell et al. 2000).

Weitere Chelatoren sind RC-Prep® (15 % EDTA; 10% Harnstoffperoxid) (Premier Dental, Norristown, USA), FileCare® EDTA (15% EDTA; 10% Carbamidperoxid) (VDW/Antaeus, München), Calcinase® (Lege Artis, Dettendorf) usw. Es handelt sich um Präparate mit einer gelartigen Konsistenz, die die Wurzelkanalaufbereitung erleichtern und die Entfernung von nekrotischem und vitalem Pulpagewebe vereinfachen sollen. Die Kombination eines gelartigen Chelators (EDTA und Harnstoffperoxid) hat in Verbindung mit einer NaOCl-Lösung eine sehr gute desinfizierende Wirkung (Stewart et al. 1969) und einen gewissen Reinigungseffekt schon nach einer Applikationszeit von wenigen Minuten (Diamond & Carrel 1984).

3.2. Wurzelkanalfüllung

3.2.1. Bedeutung der Dichtigkeit der Wurzelfüllung

Die Beurteilung der suffizienten Wurzelkanalfüllung basiert auf den Faktoren Länge, Homogenität und Dichte.

Kuttler (1955) stellte fest, dass sich der Wurzelkanal von koronal nach apikal zunächst verengt und dann wieder verbreitet und so das apikale Foramen bildet. Die engste Stelle des Wurzelkanals bildet koronal des apikalen Foramens die apikale Konstriktion (Abb. 5).

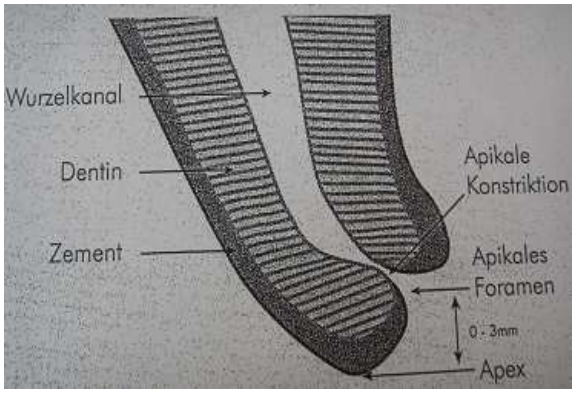


Abb. 5: Klassisches Konzept der apikalen Anatomie (Wu & Wasselink 2001).

In der klinischen Realität ist das apikale Foramen in mehr als 60% der Fälle nicht am Apex gelegen, die Distanz zwischen apikalem Foramen und röntgenologischem Apex variiert von 0 bis 3 mm (Kuttler 1955, Chapman 1969, Palmer et al. 1971, Burch & Hulen 1972, Dummer et al. 1984, Gutman 1995). Die apikale Konstriktion wird aufgrund ihrer natürlichen Einschnürung und des gleichzeitigen ungefähren Endpunkts der Pulpa als idealer Endpunkt der Wurzelkanalbehandlung angesehen (Wu & Wesselink 2001). Die Distanz zwischen der apikalen Konstriktion (falls vorhanden) und dem apikalen Foramen beträgt altersabhängig zwischen 0,5 und 1 mm (Kuttler 1955, Chapman 1969, Palmer et al. 1971, Burch & Hulen 1972, Dummer et al. 1984, Gutman 1995). Die apikale Konstriktion oder das apikale Foramen klinisch zu lokalisieren, ist äußerst schwierig. Auf der Röntgenaufnahme ist nur die Wurzelspitze zu erkennen. Die übliche Festlegung für die apikale Konstriktion in 0,5 bis 1 mm Entfernung vom röntgenologischen Apex ist nur eine Schätzung (Wu & Wesselink 2001). Mit einem Abstand von 1 mm zwischen Foramen physiologicum und anatomischem Apex wurde nach Untersuchungsergebnissen von Strindberg (1956) die höchste endodontische Erfolgsrate erzielt. Das Foramen physiologicum ist die Übergangsstelle zwischen

Wurzelzement und Dentin. Eine bis zum Foramen physiologicum erreichende Wurzelkanalaufbereitung bzw. Wurzelkanalfüllung ist eine Voraussetzung für die Schonung des pulpoparodontalen Gewebes.

Die klinische Prognose hängt entscheidend von den letzten apikalen Millimetern einer Wurzelfüllung ab (Brothman 1981). Liegt in diesem Bereich eine dichte Wurzelfüllung vor, wirkt sich dies positiv auf die Langzeitprognose der Behandlung aus. Ungefüllte Hohlräume oder nekrotische Gewebe werden vom Körper toleriert, solange sie nicht infiziert sind (Möller et al. 1981). Die Perkolation an der Wurzespitze ist nur dann von Relevanz, wenn sich im Wurzelkanalsystem noch Keime befinden. Die Gewebeflüssigkeit dient diesen möglicherweise als Substrat und kann damit die Grundlage zum Überleben und zur Vermehrung bilden. Die eigentliche Funktion einer Wurzelfüllung besteht demnach darin, eine Kommunikation zwischen dem Apex und der Mundhöhle zu verhindern und eventuell verbleibende Restbakterien im Wurzelkanalsystem so „einzementieren“, dass sie nicht mehr überlebensfähig sind (Barthel-Zimmer 2001). Aus diesem Grunde wird eine Wurzelkanalfüllung mit dem Ziel der größtmöglichen Dichtigkeit durchgeführt, um eine Infektion oder Reinfektion der periapikalen Region durch Bakterien zu verhindern. Jede Verbesserung im Abdichtungsverfahren kommt diesem Ziel ein Stück näher.

3.2.2. Ziele der Wurzelkanalfüllung

Nach der Aufbereitung, Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanals erfolgt die Abfüllung (Obturation), die ebenfalls eine entscheidende Rolle für die Prognose einer endodontischen Therapie spielt.

Dabei werden folgende Ziele verfolgt:

- die Passage von Mikroorganismen und Flüssigkeiten entlang des Wurzelkanals auszuschließen;
- das gesamte Kanalsystem auszufüllen, nicht nur um die Austrittspforte zum Periapex zu verblocken, sondern auch Dentinkanälchen und akzessorische Kanäle (ESE 1994);
- der Verschluss des Wurzelkanalsystems durch eine dichte und dauerhafte koronale Restauration (Baumann 2001).

3.2.3. Materialien

Die Wurzelkanalfüllung besteht im Wesentlichen aus einem Kernmaterial in Form von Wurzelfüllstiften und einer Wurzelfüllpaste (Sealer). Der Sealer dient dabei zur Ausfüllung von Unregelmäßigkeiten zwischen der Kanalwand und dem Kernmaterial. Als Kernmaterial werden entweder Stifte aus Guttapercha oder auf Polyesterbasis (Resilon) verwendet.

3.2.3.1. Wurzelkanalstifte

Guttapercha wird seit über einem Jahrhundert in der Wurzelkanalbehandlung verwendet (Sachs 1893) und ist seitdem das weltweit bekannteste und gebräuchlichste Wurzelfüllmaterial.

Der Guttaperchabaum Isonandra gutta liefert den Rohstoff für das zahnärtzliche Material. Chemisch gesehen handelt es sich um die all-trans-Form des Polyisoprens, die härter, brüchiger und weniger elastisch als der verwandte Naturgummi ist. Durch Weichmacher (Wachse, Harze mit 1-4%), Metallsulfate (1-15%, Röntgenapazität) und den Füllstoff ZnO als Hauptanteil (59-76%) entsteht die typische Konsistenz der Guttaperchastifte (Weine 1994).

Guttapercha existiert in den Modifikationen Alpha-Form und Beta-Form. Die Beta-Form hat einen hohen Schmelzpunkt (55 bis 60° C). Oberhalb des Schmelzpunktes ist sie elastisch und sehr viskös. Alpha-Form hat einen niedrigeren Schmelzpunkt, ist oberhalb dieses Schmelzpunktes niedriger viskös und weist daher adhäsive Eigenschaften auf.

Konventionelle Guttaperchastifte liegen in Beta-Form vor. Die thermoplastische Guttapercha wird in Alpha-Form verarbeitet.

Bei Wurzelkanalfüllungen auf Polyethylenbasis (Resilon) werden kunststoffbeschichtete Guttaperchastifte verwendet, die eine Verbindung mit dualhärtenden Sealern zum so genannten Monoblock eingehen. Diese Wurzelfüllungen zeigten in Untersuchungen von Teixeira et al. (2004) einen Anstieg der Bruchstabilität im Vergleich zu AH26/Guttapercha. Nachteil ist die Polymerisationsschrumpfung, sodass Ergebnisse weiterer Studien abgewartet werden müssen (Bruder et al. 2006).

Neben diesen Guttaperchastiften werden Stifte aus Silber und Titan angeboten, die aber wegen der Randundichtigkeit nicht zu empfehlen ist ((Heidemann 1989, Hülsmann 1995)).

Außerdem kann man diese Stifte aus einem Wurzelkanal bei einer indizierten Revision schlecht entfernen (Wesselink 1995).

Guttapercha in Verbindung mit einem geeigneten Sealer stellt daher eine sichere Methode zum Verschluss der Wurzelkanäle dar.

3.2.3.2. Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)

Wurzelfüllpasten werden aufgrund ihrer Basis wie folgt unterschieden (Tabelle 1):

Tabelle 1: Auswahl einiger Produkte aus verschiedenen Gruppen erhärtender Wurzelkanalfüllmaterialien.

Basis	**Präparate**
Zinkoxid-Eugenol	Hermetic (lege artis)
	TubliSeal (Kerr)
	Aptal (Speiko)
	Grossman-Sealer
Zinkoxid-Eugenol mit Medikamentenzusatz	Endomethasone N (Pharma-Dental)
Epoxidharz	AH26 (DeTrey Dentsply)
	AHPlus (DeTrey Dentsply)
	2Seal (VDW)
Methacrylat	Hydron (Hydron Canada)
Polyketon	Diaket (3M Espe)
Polydimethylsiloxan	RSA RoekoSeal Automix (Roeko)
Kalziumsalicylat	Apexit (IvoclarVivadent)
	Sealapex (Kerr)
Glasionomer-Zement	Ketac-Endo (3M Espe)
	Endion (Voco)
Guttaperchabasis	Kloroperka N-O (N-O Therapeutic)
	GuttaFlow (Coltene/ Whaledent)

Die Wurzelfüllpaste erweist sich als unentbehrlicher Bestandteil einer erfolgreich hergestellten Wurzelkanalfüllung. Die zusätzliche Anwendung eines Sealers ermöglicht eine optimale Abdichtung des Wurzelkanals (Beer et al. 1986). Ihnen kommt lediglich die Aufgabe zu, Inkongruenzen zwischen der Form der Wurzelkanalwand und jener des Kernmaterials auszufüllen (Thoden van Velzen et al. 1988, Hülsmann 1991, Guldener et al. 1993). Die Menge des Sealers sollte möglichst gering gehalten werden, da fast alle Sealer eine

Abbindekontraktion zeigen (Wu et al. 1994). Die Anforderungen an einen Sealer reichen vom schnellen Abbinden, über Volumenstabilität, Unlöslichkeit gegenüber Gewebeflüssigkeiten bis hin zu adhäsiven Eigenschaften.

ZNO-basierende Pasten (Grossman-Sealer, Hermetic [lege artis], Tubliseal [Kerr], Aptal-Harz [Speiko]) weisen als Nachteile die Löslichkeit des Eugenols in Gewebeflüssigkeit, die Zytotoxizität und ein geringes allergenes Potential auf.

Sealer mit Medikamentenzusätzen (Paraformaldehyd, Kortikosteroide) werden aus heutiger Sicht zunehmend abgelehnt und kritisch bewertet (Wesselink 1995).

Pasten auf Epoxidharzbasis (AH 26 DeTrey/Dentsply) setzen etwas Formaldehyd frei und haben dadurch eine initiale Zytotoxizität (Spangberg et al. 1993). In neueren Pasten wurde das für die Formaldehydfreisetzung verantwortliche Hexamethylentetramin ersetzt (AH Plus [Dentsply DeTrey, Konstanz], 2-Seal [VDW]). Methylacrylathaltige Pasten (Hydron [Hydron Canada]) zeigen eine ausgeprägte Zytotoxizität, sind resorbierbar und inhomogen nach der Abbindung. Eine Revision nach Anwendung der polyketonbasierenden Pasten (Diaket [3M Espe]) kann durch den abschließenden Härtegrad des Materials erschwert sein. Pasten auf Polydimethylsiloxanbasis (RSA-RoekoSeal [Roeko]) expandieren geringgradig beim Abbinden. Kalziumhydroxidhaltige Pasten (Apexit [Vivadent], Sealapex[Kerr]) haben nur initial ein ausreichendes Abdichtungsvermögen und Volumenbeständigkeit. Glasionomerzement-basierende Pasten (Ketac-Endo [3M Espe], Endion [Voco]) weisen eine hohe Biokompatibilität bei einer akzeptablen Dichtigkeit auf. Pasten auf Guttaperchabasis (Kloroperka N-O [N-O Therapeutics], GuttaFlow [Coltene/Whaledent]) sind auf Grund der Zytotoxizität und Volumenabnahme kritisch einzustufen (Orstavik et al. 1988).

3.2.3.2.1. AH Plus als Goldstandard

AH Plus ist das Nachfolgeprodukt des von Schröder vorgestellten AH 26 (Schröder 1954) und kam vor gut zehn Jahren auf den Markt. Im Gegensatz zum Klassiker AH 26, einem Pulver-Flussigkeitssystem, ist AH Plus ein Paste-Paste-System, welches eine gleichmäßigere und bessere Mischung der beiden Komponenten gestattet.

Die Modifikation AH Plus zeigt dieselben hervorragenden physikalischen und materialtechnischen Eigenschaften wie sein Vorgänger (De Moor et al. 2004). Durch die gute Fliessfähigkeit des AH Plus ist das Auffüllen von Unebenheiten und Inkongruenzen gewährleistet. Weiterhin zeichnet sich AH Plus durch eine überdurchschnittliche Druckfestigkeit aus (Eldeniz et al. 2003). Auch hinsichtlich der Langzeitstabilität konnte AH Plus die besten Ergebnisse aller Sealer vorweisen (McMichen et al. 2003; Schäfer et al. 2003). AH Plus besitzt eine deutlich bessere Bioverträglichkeit als AH 26, bei Überstopfungen ermöglicht es sogar eine vollständige Ausheilung mit einer Kontaktosteogenese. Das Material AH Plus weist gegenüber anderen Sealern eine initiale Abbindeexpansion auf, die zum Abdichtungsvermögen des Materials beiträgt.

Aufgrund einer ausreichend langen Verarbeitungszeit von zwei Stunden und der thermischen Stabilität bis ca. 250 °C lässt sich AH Plus bei allen Obturationstechniken sehr gut einsetzen (Roggendorf 2006). Die Adaption zur Kanalwand ist anderen Sealern überlegen (De Almeida et al. 2000) und wird durch Warmfülltechniken noch begünstigt. AH Plus besitzt die geringste Löslichkeit aller Sealer und wirkt sogar antibakteriell gegenüber E. faecalis (Roggendorf 2006).

AH Plus gilt heute in der modernen Endodontie als Goldstandard (Stellungnahme der DGZMK/DGZ 2000) und wird in der vorliegenden Studie bei allen Obturationstechniken angewandt.

3.2.4. Obturationstechniken

Bis heute hat man mehr als 100 Techniken zum Füllen der Wurzelkanäle angewendet und die Wurzelfüllung mit Guttapercha spielt immer noch eine besondere Rolle (Haupt et al. 2002).

Bei den Wurzelfüllmethoden werden Techniken mit kalter und warmer Guttapercha unterschieden:

- ***Wurzelfüllungen mit kalter Guttapercha :***
- Zentralstifttechnik;
- laterale Kondensation;
- Simplyfill (LightSpeed).
- ***Wurzelfüllungen mit warmer Guttapercha:***
- vertikale Kondensation nach Schilder (Schilder 1967);
- System B (SybronEndo, Orange/ CA, USA);
- Touch n Heat (SybronEndo/ Analytic, Irvine/ CA, USA);
- Endo twin (VDW, München, Deutschland);
- Obtura (Obtura/ Spartan, Fenton/ Missouri, USA);
- E&Q Plus (Meta Dental Corp., Elmhurst/ NY, USA);
- BeeFill (VDW, München, Deutschland).
- ***Wurzelfüllungen mit einrotierter warmer Guttapercha:***
- Multifill (Loser , Leverkusen, Deutschland);
- Quickfill (JS Dental, Ridegfield, USA);
- Microseal (Tycom,USA).
- ***Wurzelfüllungen mit warmer Guttapercha auf Kunststoffträgern:***
- Densfil (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz);
- Thermafil (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz);
- SoftCore/One-Step (Loser, Leverkusen, Deutschland).

In Artikeln und Vorträgen zur Wurzelkanalfüllung wird vielfach darauf hingewiesen, dass die Ein-Stift-Technik vollkommen obsolet und die laterale Kondensation nach wie vor der Goldstandard sei. Letzteres ist schon lange nicht mehr der Fall (Baumann 2005). Laut der „Toronto-Studie“ führte die aufgeweitete Präparation mit vertikaler Kondensation zu einer 90%igen Erfolgsquote, während diese bei der Step-back-Präparation mit lateraler Kondensation nur 80% betrug (Farzaneh et al. 2004). Durch einen starken Kondensationsdruck bei lateraler Kondensation treten vertikale Wurzelfrakturen als Komplikation dieser Wurzelkanalfülltechnik auf (Holcomb et al. 1987, Heidemann 2001). Bereits 1967 erkannte Schilder, dass mit der lateralen Kondensation keine vollkommen homogene, „dreidimensionale“ Wurzelkanalfüllung zu erzielen ist (Schilder 1967). Insbesondere konnten auch spezielle Kanalmorphologien, wie beispielsweise interne Granulome, mit den Kalttechniken nur unbefriedigend abgefüllt werden.

Unter den Kalttechniken wird als Methode der Wahl im Allgemeinen die laterale Kondensation propagiert (Kuttler 1979, Seltzer 1988) und sie wird im europäischen Raum als Standardmethode der Wurzelkanalfüllung betrachtet. Die Homogenität und Wandständigkeit wurde durch zahlreiche experimentelle Arbeiten bewiesen (Hülsmann 1995). Ihr Ziel ist es, den Wurzelkanal weitestgehend mit einem volumenstabilen Kernmaterial bei gleichzeitig reduzierten Mengen des Sealers auszufüllen (Wiener et al. 1971). Nach konischer Aufbereitung des Wurzelkanals wird der Masterpoint auf Arbeitslänge vorgeschoben und mit einem Spreader seitlich gegen die Kanalwand gedrückt. In den entstandenen Hohlraum werden zusätzliche akkzesorische Stifte kleinerer Größen eingebracht und der Vorgang wiederholt bis weitere Guttaperchastifte nur noch bis ins koronale Drittel appliziert werden können. Es erfolgt das Abtrennen überschüssiger Guttapercha mit einem erhitzten Instrument am Kanaleingang und die Reinigung der Kavität. Diese Technik gilt bis heute als Referenztechnik im Vergleich mit neuen Vorgehensweisen (McMurtrey et al. 1992, Dummer et al. 1994, Gulabilava et al. 1998, Gilhooly et al. 2000). Die Ergebnisse der einzelnen In-

vitro-Studien konnten zeigen, dass die so erzeugten Wurzelkanalfüllungen inhomogen sind (Schilder 1974, Beatty et al. 1989, Unverdorm et al. 1992) und es wurde versucht, die Guttapercha–Stifte durch mildes Erwärmen des Spreaders warm an die Kanalwand zu kondensieren (Unverdorm et al. 1992). Bei anderen In-vitro-Studien stellte sich aber heraus, dass die Penetration von Flüssigkeiten in wurzelgefüllten Kanälen nach lateraler Kondensation im Vergleich mit anderen Methoden geringer war (Beer et al. 1986, Barthel et al. 1994, Hülsmann & Meiert 1994). Diese Tatsachen führten zur Entwicklung verschiedener Warmtechniken.

Im Jahr 1978 beschrieb W. B. Johnson ein Verfahren zur Wurzelkanalfüllung mit thermoplastischer Guttapercha. Danach führte Tulsa Dental den Thermafil Obturator ein. In seiner aktuellen Version besteht der in Großbritannien bei Dentsply-Maillefer erhältliche Thermafil Obturator aus einem flexiblen Kunststoffträger, der mit Alpha-Phasen-Guttapercha beschichtet ist. Der Thermafil Obturator wird in einem Spezialofen mit Temperatur- und Zeitregulierung erwärmt, bis die Guttapercha plastisch ist, und dann bis zur Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingebracht. Zur Überprüfung der Passgenauigkeit des Thermafil-Stiftes wurden so genannte Verifier als Hilfsmittel entwickelt. Das Thermafil-System stellt also eine einfache, leicht applizierbare und schnelle Methode der Wurzekanalfüllung dar.

Allen thermoplastischen Methoden gemein ist jedoch, dass es durch die Abkühlung des erwärmten Füllmaterials im Wurzelkanal zu einer Schrumpfung der Guttapercha kommt (Schilder et al. 1985), weshalb diese Warmtechniken ausnahmslos mit einem Sealer kombiniert werden müssen (Ishley et al. 1983, Unverdorm et al. 1992). Als ein weiterer Nachteil der thermoplastischen Verfahren gilt die häufig beschriebene Gefahr der Überextension der Wurzelkanalfüllung (Lacombe et al. 1988, Gatot et al. 1989, Chohayeb 1992).

In der Literatur existieren unterschiedliche Meinungen über das Abdichtvermögen der Fülltechniken laterale Kondensation und Thermafil. So sind auch die Ergebnisse beim

Vergleich der beiden Verfahren in experimentellen Untersuchungen nicht signifikant verschieden (Gäbler et al. 2000). Es wird, je nach Indikation, die Gleichwertigkeit der beiden Techniken beschrieben (Schilder 1967, Weine 1995, Gäbler et al. 2000, Baumann 2001). Von anderen Autoren wurde auch ein besseres Abdichtvermögen des Thermafil-Systems gegenüber der lateralen Kondensation beschrieben (Lares et al. 1990, Hata et al.1995). Die Überlegung, ob durch die Anwendung von thermoplastischen Techniken Details der Wurzelkanalanatomie besser abfüllbar sind, wird sehr kontrovers diskutiert (Weine 1996, Weine 1997). Beide Verfahren zeigen jedoch deutlich bessere Ergebnisse gegenüber der Zentralstifttechnik (Attin et al. 1994). Aufgrund dieser unterschiedlichen Ergebnisse und Meinungen konnten die thermoplastischen Wurzelkanalfülltechniken die laterale Kondensation nicht als Standardverfahren im klinischen Alltag ersetzen.

4. Ziel der Studie

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen nach Anwendung von drei verschiedenen Obturationstechniken zu vergleichen (Abb. 6).

Untersucht werden sollen die laterale Kondensation mit klassischen Fingerspreadern, die laterale Kondensation mit einem rotierenden Ni-Ti-Winkelstückspreader (Prototyp des klassischen Fingerspreaders) und das Thermafil-Verfahren. Es soll dabei festgestellt werden, ob die laterale Kondensation mit Ni-Ti-Winkelstückspreader signifikante Vorteile hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelfüllungen bringt.

Ein weiteres Ziel dieser Studie war es, zu untersuchen, ob die Applikationsart des Sealers einen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen hat. Einige Autoren beschreiben das Einbringen des Sealers mittels Lentulo, K-Feile, Papierspitze oder aktivierter Ultraschallspitze (Wiemann & Wilcox 1991). In anderen Studien werden Lentulos oder

McSpadden Kompaktoren favorisiert (Sigurdson et al. 1992). Wegen der Gefahr des Überstopfens wird empfohlen, Sealer nur dünn auf den Guttaperchastift aufzubringen und dann beides gemeinsam in den Wurzelkanal einzubringen (Baumann 2001). Ganz aktuell wird ein neuartiges Instrument aus Nickel-Titan zur Sealer-Applikation angeboten (EZ-Fill, Loser GmbH-D, EDS-USA). In der vorliegenden Studie werden vier Applikationsarten des Sealers (Papierspitze, Guttapercha Masterpoint, Lentulo, EZ-Fill) untersucht (Abb. 6) und die Dichtigkeit der Wurzelfüllungen in den einzelnen Gruppen verglichen.

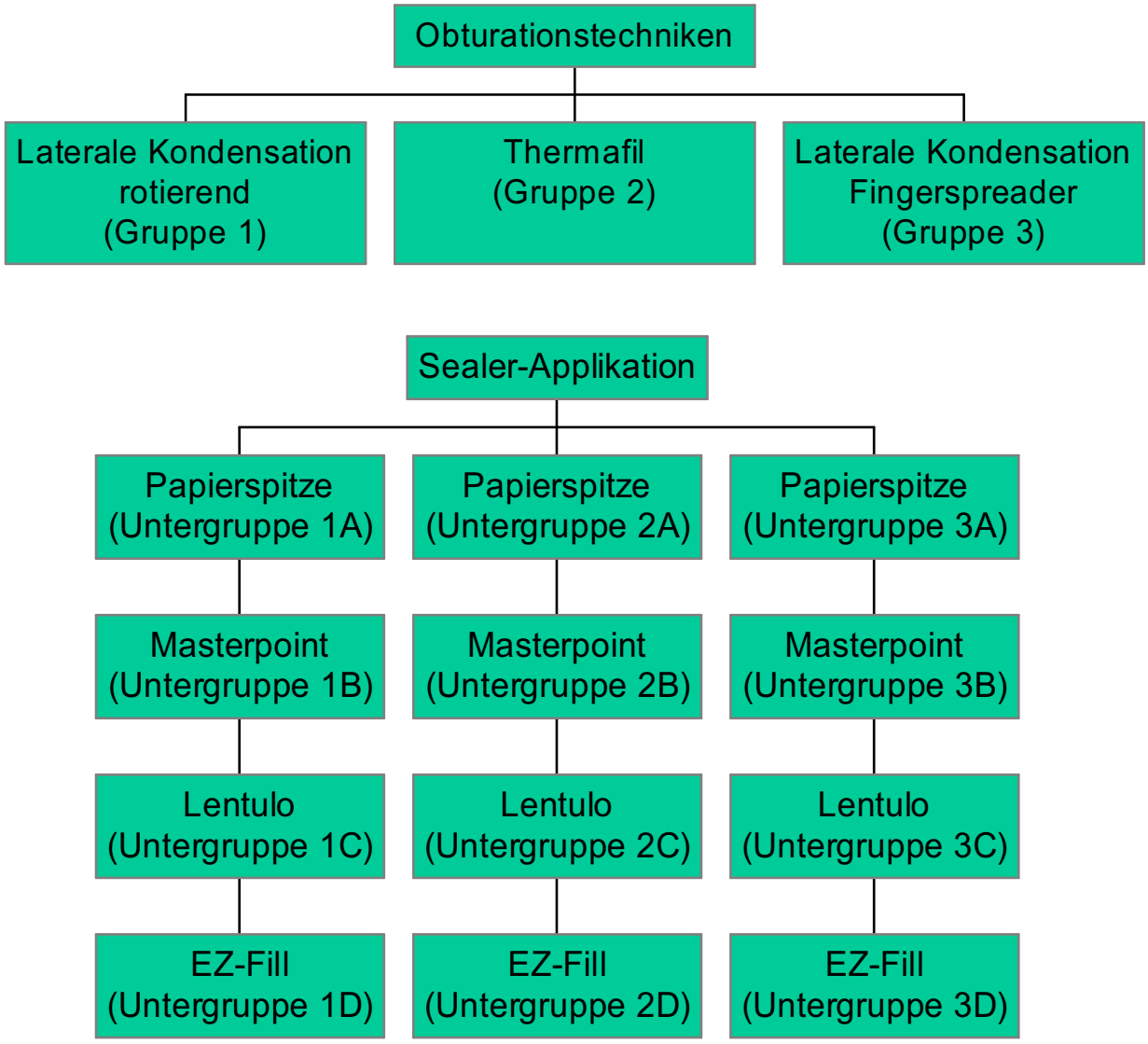


Abbildung 6: Versuchsschema.

5. Material und Methode

5.1. Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Für die Studie wurden insgesamt 120 extrahierte menschliche Zähne mit geraden Wurzeln (Krümmungswinkel ≤15°) ausgewählt, die ein abgeschlossenes Wachstum hatten und kariesfrei waren. Zähne mit obliterierten Wurzelkanälen wurden aus der Studie ausgeschlossen. Diese Obliterationen wurden mittels Röntgenmessaufnahmen festgestellt und die entsprechenden Zähne wurden verworfen. Die Zähne wurden nach der Extraktion bis zum Zeitpunkt des Versuchsbeginns bei Raumtemperatur in 1%iger Thymollösung gelagert. Die Zähne wurden zunächst mit einem Ultraschall-Zahnreinigungsgerät und einem Hand-Scaler von Zahnstein, subgingivalen Konkrementen und Gewebsresten befreit. Die Kronen wurden abgetrennt und verworfen. Die verbliebenen Wurzeln wurden von koronal auf eine einheitliche Länge von 17 mm gekürzt. Mit einem Diamantzylinder wurden 4 mm tiefe Zugangskavitäten in die koronalen Anteile der Wurzeln präpariert. Mit einer Hedströmfeile der ISO-Größe 10 (VDW, München) wurde die Durchgängigkeit über den Apex hinaus gewährleistet. Dann wurden die Zähne in Silikonmasse Affinis ™ perfect impression (coltene whaledent, Altstätten, Schweiz) so eingebettet, dass ein Überstopfen des Sealers möglich war (Abb. 7).

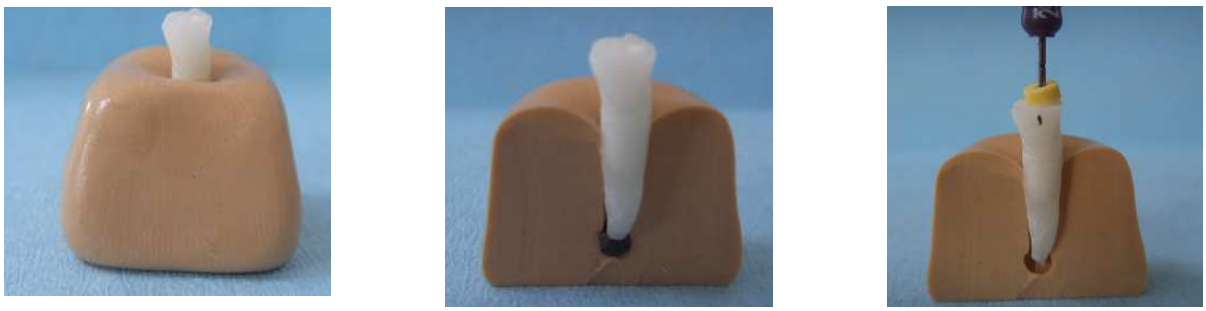


Abb.7: Der in Silikonmasse eingebettete Zahn
(links der eingebettete Zahn; Mitte ein Sägeschnitt vom eingebetteten Zahn; rechts ein Sägeschnitt vom eingebetteten Zahn mit einer Hedrstömfeile der ISO-Größe 10).

5.2. Wurzelkanalaufbereitung

5.2.1. Mechanische Wurzelkanalaufbereitung

Die Feststellung der Arbeitslänge und Bestimmung von Obliterationen erfolgte mit einer Millernadel der Größe XXF (VDWMünchen), indem die Millernadel so weit in den Wurzelkanal vorgeschoben wurde, bis sie gerade eben am Apex sichtbar war. Die Nadel wurde mit einem Stopper an dem Referenzpunkt markiert und die Messung mit einer Messlehre (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) vorgenommen. Von der so ermittelten Wurzellänge wurde 1 mm abgezogen. Dieser Wert ergab die Arbeitslänge. Anschließend wurden Röntgenmessaufnahmen mit der Millernadel im Kanal gemacht (Abb.8).

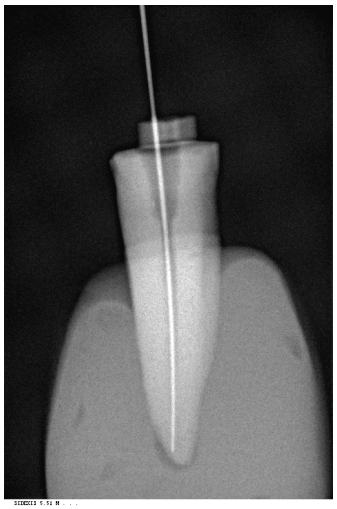


Abb. 8: Messaufnahme mit einer Millernadel.

Die mechanische Wurzelkanalaufbereitung aller Zähne erfolgte mit FlexMaster-Feilen bis ISO –Größe 50 mit einer Konizität 2% nach dem Prinzip der Crown-down-Technik.

FlexMaster-Feilen (Fa. VDW, München) weisen – wie die meisten rotierenden Ni-Ti-Feilen – eine nicht schneidende Arbeitsspitze (Batt-Spitze) auf (Abb. 9).

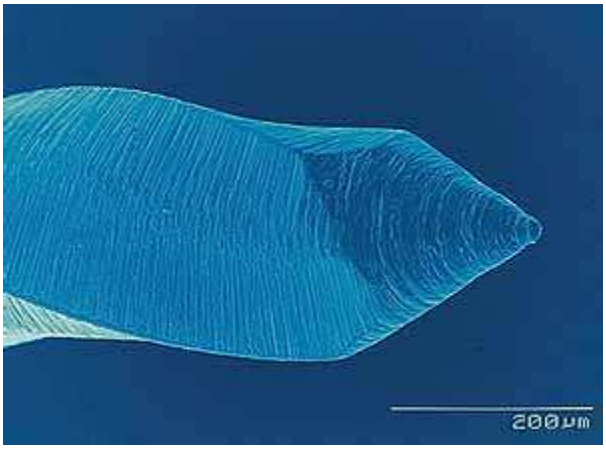


Abb. 9: Batt-Spitze der FlexMaster-Feile (Sonntag & Stachniss 2006).

Ein effizientes Arbeiten mit einer guten Abtragleistung ist durch die Schneidengestaltung vom Typ der K-Feilen möglich. Die FlexMaster-Feilen wurden mit einer Umdrehungsgeschwindigkeit von 280 U/min eingesetzt, um die Frakturgefahr zu senken. Erhältlich sind die Feilen in folgenden verfügbaren Größen und Konizitäten (Tab. 2):

Tabelle 2: Verfügbare Instrumentengrößen und –konizitäten des Flex-Master-Systems.

Instrumentengrößen nach ISO Normierung	**Konizitäten (Taper)**		
	6% (.06)	**4% (.04)**	**2% (.02)**
20	X	X	X
25	X	X	X
30	X	X	X
35	X	X	X
40	X	X	X
45	-	-	X
50	-	-	X
60	-	-	X
70	-	-	X
X erhältlich - nicht erhältlich			

Die Kanalaufbereitung wurde mit großen Feilen begonnen und mit sukzessiv kleiner werdenden Instrumenten vom Kanaleingangsbereich hin zum Apex gearbeitet. Der Vorteil dieses Vorgehens liegt darin, dass stets nur ein kleiner Kanalwandanteil bearbeitet wird, und der Kanal damit nicht mit jeder Feile in seiner gesamten Länge instrumentiert werden muss.

In Abhängigkeit von der Kanalweite wurde folgende Anwendungsreihenfolge gewählt:

- Weite Kanäle:
  - Crown−down−Technik bis zum Apex: .06/40, .06/35; .06/30; .06/25; .06/20; .04/20; .02/25; .02/30; .02/35; .02/40; .02/45; .02/50
- Mittlere Kanäle:
  - Crown−down−Technik: .06/30; .06/25; .06/20; .04/30; .04/25 −mit abschließender apikaler Präparation: .02/20; .02/25; .02/30; .02/35; .02/40; .02/45; .02/50
- Enge Kanäle:
  - Crown−down−Technik: .06/25; .06/20; .04/30; .04/25; .04/20 −mit abschließender apikaler Präparation: .02/20; .02/25; .02/30; .02/35; .02/40; .02/45; .02/50

Die Kombination von Schneidengeometrie und massivem Instrumentenkern führt bei einer Anwendung ohne den zugehörigen drehmomentbegrenzten Motor dazu, dass sich die Feile in den Kanal hineinzieht. Motoren mit Drehmomentbegrenzung tragen deutlich zur Erhöhung der Arbeitsicherheit bei der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit Ni-Ti-Feilen bei. Daher wurden die FlexMaster-Feilen in der vorliegenden Studie mit dem drehmomentkontrollierten Motor „Endo IT Control“ angewendet, der den Einsatz mit einem individuell auf die Instrumente abgestimmtem Drehmoment ermöglicht (Abb. 10).

Abb. 10: Motor Endo IT Control mit Winkelstück und eingespannter Intro-Feile.

Der automatische Rücklauf mit akustischem Signal bei Erreichen des programmierten Widerstandswertes hilft Frakturen zu vermeiden und erspart ein manuelles Herausdrehen der Feile aus dem Kanal.

5.2.2. Chemische Wurzelkanalaufbereitung

Bei der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung der Zähne wurde FileCare® EDTA (Fa. VDW, München) als Gleitmittel für die FlexMaster-Feilen verwandt. Durch diese Chelatorpaste wird die Schmierschicht teilweise entfernt. FileCare EDTA enthält 15% EDTA und 10% Carbamidperoxid in wässriger Lösung. In Verbindung mit der Natriumhypochlorit-Spüllösung kommt es zu einer Freisetzung von Sauerstoff aus dem enthaltenen Carbamid-Peroxid und es wirkt daher leicht schäumend (NaOCl + Carbamid-Peroxid -> H_2O_2 + Harnstoff).

Jeder Wurzelkanal wurde bei jedem Instrumentenwechsel mit 5 ml einer 3%igen NaOCl-Lösung mittels stumpfer dünner Kanüle (Durchmesser 0,4 mm) gespült. Die verbliebenen

Schmierschicht wurde mit 10 ml Calcinase („lege artis“, Dettenhausen), deren Einwirkzeit 10 min betrug, entfernt.

Danach erfolgte eine abschließende Spülung mit 10 ml einer 5%igen NaOCl-Lösung.

Mit genormten Papierspitzen (Konizität .02; Fa. VDW, München) wurden die Wurzelkanäle getrocknet.

5.3. Wurzelkanalfüllung:

5.3.1. Gruppeneinteilung nach der Wurzelfülltechnik

Folgende Gruppen mit jeweils 40 Zähnen wurden gebildet:

Gruppe 1:

Laterale Kondensation mit rotierenden Ni-Ti-Winkestückspreadern

Gruppe 2:

Thermafil

Gruppe 3:

Laterale Kondensation mit klassischen Fingerspreadern.

Je nach Applikationsart wurde der Sealer AH Plus^{TM} (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany) in die Wurzelkanäle eingebracht und dann der Guttaperchastift oder Obturator je nach Technik in die Kanäle eingeführt.

Gruppe 1:

Die laterale Kondensation mit rotierenden Ni-Ti-Winkelstückspreadern erfolgte analog zur kalten lateralen Kondensation. Es wurde zuerst ein Masterpoint in der Größe .02/50 (VDW, München, Germany) bis auf Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingeführt. Im Unterschied zur klassischen Obturationstechnik wurde der Guttaperchastift mit einem rotierenden Ni-Ti-

Winkelstückspreader an die Kanalwand kondensiert. Der Prototyp der klassischen Spreader wurde in ein Winkelstück gespannt und rotierend in den Kanal geführt. Als Antriebsquelle diente der drehmomentbegrenzte Motor Endo IT Control® (VDW, München) mit einer Geschwindigkeit von 280 UpM.

Drehmomentwerte für Ni-Ti-Winkelstückspreader wurden am Gerät entsprechend den Drehmomentwerten für die FlexMaster-Feilen (Konizität .02 + Größe der FlexMaster-Feile) eingestellt. Nach dieser Kondensation wurde ein mit Sealer beschickter, dem Ni-Ti-Winkelstückspeader in Form und Größe entsprechender Guttapercha-Stift (sog. akzessorischer Guttaperchastift) in den entstehenden freien Raum nachgeschoben. Weitere akzessorische Stifte wurden so lange nachgeschoben, bis der Ni-Ti-Winkelstückspreader nicht tiefer als bis ins obere Drittel des Kanals eingebracht werden konnte. Guttaperchastifte wurden dann koronal am Kanaleingang mit einem heißen Heidemannspatel entfernt und im koronalen Drittel des Kanalanteiles mit erwärmten Kugelstopfern verschiedener Größen noch zusätzlich kondensiert.

Ni-Ti-Winkelstückspeader sind glattwandige konische Instrumente und entsprechen in ihren Konizitäten (2%) und Durchmessern (ISO 15, 20, 25, 30, 35, 40) den klassischen Fingerspreadern (Abb. 11).

Abb. 11: Ni-Ti-Winkelstückspreader, Prototypen der klassischen Fingerspreader.

Gruppe 2:

Nach Abschluss der Kanalaufbereitung wurde mit einem Verifier (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz), dessen Größe dem des zuletzt bis zur Arbeitslänge eingeführten Instruments entsprach, der aufbereitete Kanal überprüft. Der Verifier, eine Art Messlehre, sollte leicht und ohne Kontakt mit den Kanalwänden in den Wurzelkanal gleiten und sich auf dem letzten Millimeter passiv einfügen, mit leichter Reibung bei Erreichen der Arbeitslänge. Wenn der Verifier 0,5 bis 1 mm vor der Arbeitslänge blockiert war, wurde dieser Kanalabschnitt durch eine rotierende Bewegung des Verifiers erweitert. Anschließend wurde der Kanal mit dem Thermafil Obturator (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) der entsprechenden Größe (in der Studie Größe 50) gefüllt. Der Silikonstopper des Obturators wurde auf die Arbeitslänge eingestellt, um die Applikation kontrollieren zu können und zu verhindern, dass der Kunststoffträger versehentlich bis in die Periapikalregion eingeführt wird. Der Obturator wurde in den Spezialofen (ThermaPrep Plus® Ofen Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) gegeben, in dem die Guttapercha gleichmäßig auf die geeignete Temperatur erwärmt wurde (Abb. 12).

Abb. 12: ThermaPrep Plus® Ofen zur Erwärmung der Obturatoren.

Der gebrauchsfertige Obturator wurde aus dem Ofen entnommen und sofort mit einer langsamen, festen und kontinuierlichen, nach apikal gerichteten Bewegung in den Kanal

eingebracht. Der Obturator wurde mit leichtem Fingerdruck stabilisiert, um die Schrumpfung der Guttapercha beim Abkühlen zu minimieren. Im Koronalbereich wurde die Guttapercha rund um den Kunststoffträger mit Handstopfern verdichtet. Schließlich wurde der Griff des Obturators mit dem Therma-Cut Bohrer (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) am Kanalorifizium abgetrennt.

Gruppe 3:

Die Wurzelkanäle in der Gruppe 3 wurden nach den Regeln der kalten lateralen Kondensation mittels klassischen Fingerspreadern gefüllt. Nach der Positionierung des Primärstiftes mit der ISO-Größe 50 wurde ein Fingerspreader (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) entlang dieses Guttaperchastiftes mit leichtem, apikalwärts gerichtetem Druck in den Wurzelkanal eingeschoben. Der Spreader wurde so ausgewählt, dass er sich bis auf 1-2 mm an die volle Arbeitslänge heranführen ließ. Danach wurden Zusatzstifte in den Kanal eingeschoben. Dieses Vorgehen wurde wiederholt, bis der Kanal mit Guttapercha-Stiften nahezu vollständig gefüllt war. Die überschüssige Guttapercha wurde in Höhe des Kanaleingangs mit einem heißen Heidemannspatel abgetrennt, und die Sealer-Reste wurden mit einem Wattepellet aus der Zugangskavität entfernt. Mit einem Kugelinstrument wurde die Wurzelfüllung unmittelbar danach verdichtet.

5.3.2. Gruppeneinteilung nach Applikationsart des Sealers

Die drei Gruppen mit jeweils 40 Zähnen wurden nochmals in vier Untergruppen je nach Applikationsart des Sealers aufgeteilt.

Gruppe 1: Laterale Kondensation mit rotierenden Ni-Ti-Winkelstückspreadern

1A. Papierspitze

1B. Masterpoint mit Sealer beschickt

1C. Lentulo

1D. EZ-Fill

Gruppe 2: Thermafil

2A. Papierspitze

2B. Masterpoint mit Sealer beschickt

2C. Lentulo

2D. EZ-Fill

Gruppe 3: Laterale Kondensation mit klassischen Fingerspreadern

3A. Papierspitze

3B. Masterpoint mit Sealer beschickt

3C. Lentulo

3D. EZ-Fill

Als Sealer wurde in der Arbeit der Epoxidharzsealer AH Plus™ (Dentsply DeTray, Konstanz) verwendet. Der Sealer AH Plus ist ein Paste-Paste-System und wurde zu gleichen Teilen (1:1) auf dem Anmischblock mit einem Metallspatel angemischt. Es wurde darauf geachtet, dass das angerührte Gemisch eine homogene, zähflüssige Konsistenz aufwies. Wegen seiner relativ dünnflüssigen Konsistenz wurde dieser Sealer sehr vorsichtig und sparsam appliziert.

Mit Hilfe einer Papierspitze der ISO-Größe .02/50 (VDW, München) wurde die Wurzelkanalwand mit dem angemischten Sealer gleichmäßig und dünn bestrichen. Die Papierspitze wurde in das angemischte Material eingetaucht und dann in den Kanal eingeführt und eine pumpende Bewegung ausgeführt. Bei der Thermafiltechnik wurde mit der Papierspitze mit einer kleinen Menge der Füllpaste nur das koronale Drittel des Kanals beschichtet, um zu verhindern, dass Materialüberschüsse in die Periapikalregion gedrückt werden.

Der Masterpoint wurde ebenfalls in den angerührten Sealer eingetaucht, so dass er von allen Seiten dünn mit Material bedeckt wurde. Der Stift wurde anschließend langsam und

kontinuierlich mittels Pumpbewegungen bis zum apikalen Stop in den Wurzelkanal eingeführt. Bei der Thermafiltechnik wurde nur die Obturatorspitze in den Sealer eingetaucht und dann langsam, mit einer stetigen apikalwärts gerichteten Bewegung in den Wurzelkanal eingeführt.

Der Lentulo in einer ISO-Größe 35 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) wurde zunächst mit einem Gummi-Stopper versehen und in ein Winkelstück mit einem drehmomentbegrenzten Motor Endo IT Control® (VDW, München) eingespannt. Der Lentulo wird in ihrer Länge um etwa 1 mm kürzer eingestellt als die vorher benutzten Aufbereitungsinstrumente, um eine Überfüllung der Wurzelkanäle zu vermeiden. Dann wurde er in Sealer eingetaucht. Der Lentulo wurde tief in den Wurzelkanal eingeführt und mit niedrigster Drehzahl von 280 U/Min langsam aus dem Kanal herausgezogen. Der Wurzelkanal wurde damit aufgefüllt, wobei bei jedem neuen Einbringen von AH Plus etwas weniger tief gegen den Apex vordringt.

Der EZ-Fill (Loser GmbH-D, EDS-USA) ist ein Sicherheits-Wurzelfüller aus hochflexiblem Nickel-Titan mit an der Spitze umgekehrt laufender Förderspirale (Abb. 13). Die Förderrichtung des Sealers in Richtung des Apex wird so gehemmt und ein Überpressen des Füllmaterials verhindert. Gleichzeitig sorgt ein horizontales „Wegschleudern“ für eine optimale Benetzung der Kanalwand. Der EZ-Fill in einer Größe 25 wurde ebenfalls mit einem Gummi-Stopper zur Markierung der Arbeitslänge versehen und in ein Winkelstück mit einem drehmomentbegrenzten Motor Endo IT Control eingespannt. Die Drehzahl betrug etwa 280 U/Min. Der EZ-Fill wurde in den angemischten Sealer eingetaucht und so weit in dem Wurzelkanal in Richtung des Apex vorgeschoben, bis die Spitze des EZ-Fills 1 mm vor dem apikalen Stop war. Mit langsamen und pumpenden Bewegungen wurde die Kanalwand mit dem Sealer beschickt, bis die kleinen Überschüsse des Sealers aus dem Kanaleingang zu sehen waren. Dabei wurde der EZ-Fill zweimal mit Sealer beschickt und dann mit Auf- und

Abbewegungen (1-2 mm) auf den Kanalwänden verteilt. Der Vorgang dauerte etwa 5 Sekunden. Dann wurde der EZ-Fill langsam aus dem Wurzelkanal wieder rausgezogen.

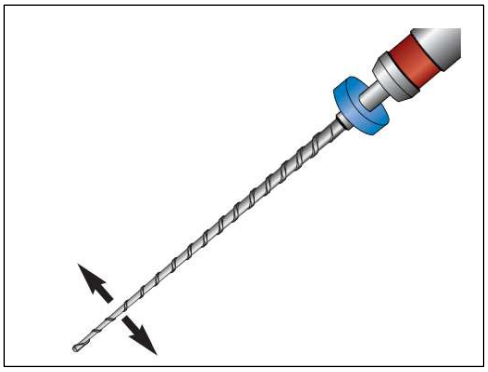


Abb. 13: EZ-Fill, ein Wurzelfüller zur Benetzung der Kanalwand mit einem Sealer.

5.4. Vorbereitung der Zähne für die Auswertung

Im Anschluss an die Wurzelkanalfüllung wurden die Trepanationskavitäten sämtlicher Zähne unter Berücksichtigung der Säure-Ätz-Technik mit einem Komposit verschlossen. Als Füllmaterialien dienten neben den Haftvermittler Prime&Bond NT (Dentsply DeTray, Konstanz) die Komposite Tetric flow und Tetric Ceram (Ivoclar Vivadent, Ellwangen).

Von allen Zähnen wurden digitale Röntgenkontrollaufnahmen (Sirona Dental Systems GmbH, Bensheim, Germany) in drei Projektionen: vestibulo-orale, mesio-distale und disto-mesiale (Abb. 14).

Abb. 14 (von links nach rechts): Vestibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen eines mittels der lateralen rotierenden Kondensation aus der Versuchsgruppe 1D gefüllten Zahnes.

Die wurzelgefüllten Zähne wurden für 48 Stunden bei 100%iger Luftfeuchtigkeit und 37°C in einem Brutschrank aufbewahrt. Dies sollte ein vollständiges Abbinden der Füllmaterialien in einer dem intraoralen Milieu möglichst ähnlichen Umgebung gewährleisten und gleichzeitig ein Austrocknen der Zähne vermeiden.

Für die Herstellung der Spaltpräparate und den Farbstoffpenetrationstest wurden die Zähne folgendermaßen vorbereitet:

Die Zähne wurden aus dem Brutschrank entnommen, getrocknet und zweimal unter Aussparung von 2 mm apikal mit einem roten Nagellack beschichtet. Hierdurch sollten die Zähne gegen ungewollten Farbstoffzutritt während der Farbstoffpenetration geschützt werden. Nachdem die Nagellack-Schicht ausgehärtet war, wurden die zu untersuchenden Zähne für 24 Stunden bei 37% in einen mit 2%iger wässriger Methylenblau-Lösung (pH 7,0) (Arndt-Apotheke, Saarbrücken) gefüllten Kunststoffbehälter eingelegt. Besonders wurde darauf geachtet, dass die Zähne vollständig von Farbstofflösung bedeckt waren. Nach Ablauf dieser Farbstoffpenetrationsphase wurden die Zähne aus dem Behälter entnommen, 30 Minuten unter fließendem Wasser gespült und vollständig von Farbstoffresten gereinigt. Die Nagellack-Schicht wurde mit einer Polierscheibe entfernt.

Um das Ausmaß der Farbstoffpenetration einer visuellen Auswertung zugänglich zu machen, wurden die Zähne in orovestibulärer Richtung mit einer wassergekühlten Diamantscheibe längst durchtrennt. Die Spaltpäparate wurden digital fotografiert (Abb. 15).

Abb. 15: Spaltpräparate nach Farbstoffpenetration, Versuchsgruppe 1A.

Dann wurden die Zähne einer Farbstoff-Extraktions-Methode (spektralphotometrische Methode) unterworfen.

Die Zähne (zwei Hälften von jedem Zahn) wurden für 3 Tage bei Zimmertemperatur separat in Eppendorfgläsßchen mit jeweils 600 µl einer 65%iger Salpetersäure eingelegt.

Danach wurden die Proben 5 Minuten lang bei 14.000 rpm U/m zentrifugiert. Der Überstand (200 µl) wurde von jeder Probe entnommen und in einem Mikroplattenlesegerät (Microplate reader Model 3550-UV) bei einer Wellenlänge von 595 nm spektrophotometrisch nach Rückständen von Methylenblau analysiert (Abb. 16).

Abb. 16: Bio-Rad Model 3550-UV Microplate Reader (Japan).

Das Bio-Rad´s Modell 3550 Mikroplattenlesegerät ist ein Photometer mit vertikal angeordneter Optik, das simultan die Absorption einzelner Spuren in 96-well Mikrotiterplatten misst.

5.5. Auswertung

Die Auswertung der Dichtigkeitsuntersuchung gliederte sich in zwei Teile.

Zunächst wurden die nach abgeschlossener Wurzelkanalfüllung angefertigten Röntgenbilder visuell ausgewertet und mit dem Ausmaß der Farbstoffpenetration an den Spaltpräparaten verglichen. Das Ziel war es dabei, die unterschiedliche Wurzelkanaltechniken hinsichtlich ihrer Fähigkeit, den Wurzelkanal vollständig im Sinne einer dreidimensionalen Obturation auszufüllen, zu bewerten. Dieser Vergleich diente ausschließlich zur Kontrolle der hergestellten Wurzelfüllungen.

Anschließend erfolgte die Dokumentation und Bewertung der Ergebnisse der spektralphotometrischen Methode.

5.5.1. Röntgenbilder

Die digitalen Röntgenaufnahmen der Zähne aus den Gruppen 1 bis 3 wurden bezüglich der auch im klinischen Alltag verwendeten röntgenologischen Beurteilungskriterien einer Wurzelkanalfüllung kontrolliert: Homogenität und apikale Ausdehnung der Wurzelkanalfüllung. Als homogen wurden blasenfreie und wandständige Wurzelkanalfüllungen eingestuft. Die apikale Ausdehnung war korrekt, wenn die Wurzelkanalfüllung nach apikal die Arbeitslänge des aufbereiteten Wurzelkanals erreichte. Die homogenen Wurzelfüllungen und die Wurzelfüllungen mit der korrekten apikalen Ausdehnung wurden in einer Tabelle für jede Strahlenrichtung angekreuzt (Tabellen 3, 4, 5). Die inhomogenen Wurzelfüllungen und die Wurzelfüllungen, die nicht die korrekte apikale Ausdehnung aufwiesen, wurden in der Tabelle für jede Strahlenrrichtung als „**0**“ bezeichnet.

5.5.2. Spaltpräparate

An den Spaltpräparaten wurde die Randständigkeit von Wurzelkanalfüllungen durch die mögliche Farbstoffpenetration visuell kontrolliert (Abb. 17). Wenn die Wurzelkanalfüllungen keine Farbstoffpenetration im apikalen Drittel aufwiesen, wurden die Wurzellfüllungen als dicht eingestuft und in einer Tabelle angekreuzt (Tabellen 3, 4, 5). In anderen Fällen, wenn die Wurzelkanalfüllungen eine Farbstoffpenetration aufwiesen, wurden die Wurzelfüllungen als undicht beurteilt und in der Tabelle als „**0**“ bezeichnet.

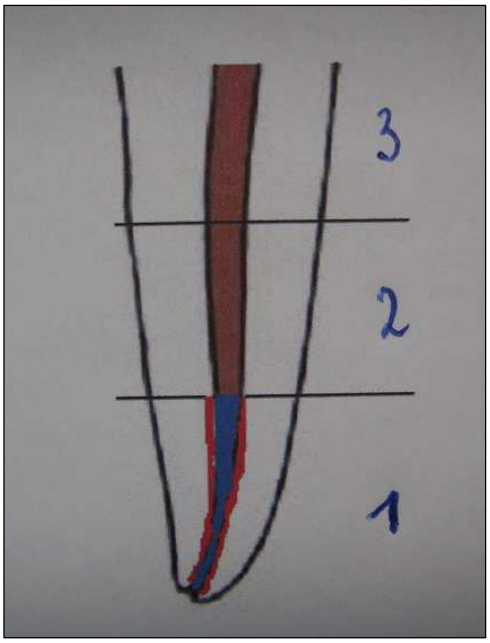


Abb. 17: Schema für das Beurteilungskriterium der Farbstoffpenetration,
1-Farbstoffpenetration im apikalen Drittel der Zahnwurzel;
2-Farbstoffpenetration im mittleren Bereich der Zahnwurzel;
3-Farbstoffpenetration im koronalen Drittel der Zahnwurzel.

5.5.3. Farbstoffpenetrationstest (Spektralphotometrische Methode)

Zur Erfassung der Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstests wurde die oben beschriebene spektralphotometrische Methode herangezogen. So konnte für jede Wurzelkanalfüllung das Ausmaß der Farbstoffpenetration ermittelt werden. Die Werte wurden je nach Obturationstechnik und Applikationsart des Sealers in Tabellen erfasst.

5.5.4. Statistische Auswertungen

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 13.0 für Windows.

Es wurden drei Tests herangezogen: ein nichtparametrischer Test nach Kruskal-Wallis; ein One-Way-Anova -Test und ein t-Test.

Entsprechend dem orientierenden Charakter der Untersuchung wurde das Signifikanz-Niveau auf $p = 0,05$ festgesetzt.

Zunächst wurden die Unterschiede zwischen einzelnen Gruppen 1, 2 und 3 je nach Obturationstechnik und Untergruppen je nach Applikationsart des Sealers mittels des nichtparametrischen Tests nach Kruskal-Wallis untersucht.

Mit Hilfe der Einweg-Varianzanalyse (ANOVA) wurden die Daten auch zwischen den Gruppen 1, 2 und 3 und innerhalb der Untergruppen verglichen. Dann wurden die Unterschiede zwischen den Applikationsarten des Sealers in den Gruppen 1, 2 und 3 einzeln untersucht.

Der t-Test diente auch zuerst zur Prüfung der Varianzen in den Untergruppen (zwischen den Applikationsarten des Sealers) und in den Gruppen 1, 2 und 3 (zwischen den Obturationstechniken). Dann kam die Prüfung der Unterschiede zwischen den Untergruppen innerhalb der Gruppen 1, 2 und 3 zum Einsatz.

Mit Hilfe der explorativen Datenanalyse wurden Grafiken mit Medianen und Quartilen (Boxplots) für die Untergruppen und Gruppen 1, 2 und 3 sowie für jede einzelne Gruppe unter Berücksichtigung der vier Applikationsarten des Sealers innerhalb dieser Gruppe erstellt.

6. Ergebnisse

6.1. Dichtigkeitsuntersuchung

Die im Rahmen der Dichtigkeitsuntersuchung anhand der Röntgenbilder, der Spaltpräparate (digitale Fotos) und des Farbstoffpenetrationstests erhobenen Daten wurden in tabellarischer Form zusammengefasst. Die statistische Auswertung des Farbstoffpenetrationstests wurde graphisch dargestellt.

6.2. Röntgenbilder

Im Folgenden werden die visuell erhobenen Daten zur Auswertung der Röntgenbilder in den Tabellen 3, 4 und 5 dargestellt.

Bezüglich des Kriteriums „Homogenität“ zeigten die nach klassischer lateraler Kondensationstechnik angefertigten Wurzelkanalfüllungen der Gruppe 3 die besten Ergebnisse. Die schlechteste Homogenität lieferte die Gruppe 2. Die nach der Thermafil-Technik angefertigten Wurzelkanalfüllungen wurden in 5 von 40 Fällen als inhomogen bewertet. Eine Zwischenstellung nahm die Gruppe 1 ein, bei welcher als Fülltechnik die rotierende laterale Kondensation angewendet wurde.

Innerhalb der Gruppen 1, 2 und 3 konnte man die beste Homogenität bei folgenden Applikationsarten des Sealers feststellen:

- Untergruppen 1C und 1D (Lentulo und EZ-Fill);
- Untergruppe 2B (Masterpoint);
- Untergruppen 3A und 3B (Papierspitze und Masterpoint).

Die Auswertungen des Untersuchungskriteriums „Arbeitslänge“ zeigten, dass in der Gruppe der rotierenden lateralen Kondensation nahezu 100% der Zähne bezüglich der apikalen

Ausdehnung der Wurzelkanalfüllungen als positiv bewertet wurden. Die schlechtesten Ergebnisse wurden in der Gruppe 2 festgestellt, bei welcher die apikale Ausdehnung bei 4 von insgesamt 40 untersuchten Wurzelkanalfüllungen als ungenügend bewertet wurde.

Innerhalb der Gruppen 1, 2 und 3 wurde die apikale Ausdehnung der Wurzelkanalfüllungen in den folgenden Untergruppen zu 100% als positiv bewertet:

- Untergruppen 1A, 1C und 1D (Papierspitze, Lentulo und EZ-Fill);
- Untergruppen 2A und 2C (Papierspitze und Lentulo);
- Untergruppen 3A, 3B und 3C (Papierspitze, Masterpoint und Lentulo).

Die anderen Untergruppen schnitten somit hinsichtlich der „Arbeitslänge“ schlechter ab.

6.3. Spaltpräparate

Die Ergebnisse der Auswertung des Ausmaßes der Farbstoffpenetration sind den Tabellen 3, 4 und 5 zu entnehmen.

Bezüglich einer Farbstoffpenetration durch die Wurzelkanalfüllung sowie zwischen der Wurzelkanalfüllung und dem angrenzenden Dentin zeigte die Gruppe 1 die geringste Penetration. Die Gruppen 2 und 3 wiesen verglichen mit der Gruppe 1 mehr Farbstoffpenetration innerhalb der Wurzelkanalfüllung und zwischen der Wurzelkanalfüllung und dem angrenzenden Dentin auf.

Beim Vergleich der Untergruppen innerhalb der einzelnen Gruppen 1, 2 und 3 konnte die geringste Farbstoffpenetrationstiefe in folgenden Untergruppen nachgewiesen werden:

Die Untergruppe 1D (EZ-Fill) zeigte weniger Farbpenetration als die restlichen Untergruppen.

In den Untergruppen 2C und 2D (Lentulo und EZ-Fill) konnte auch ein geringes Ausmaß an Penetration festgestellt werden.

Die geringste Farbstoffpenetration konnte für die Untergruppe 3B (Masterpoint) ermittelt werden.

Bei der Auswertung der Zähne, die sowohl röntgenologisch homogene Wurzelkanalfüllungen als auch eine korrekte apikale Ausdehnung der Wurzelkanalfüllungen besaßen, ließen sich im Hinblick auf die Farbpenetration keine vergleichbaren Ergebnisse feststellen (Tabellen 3, 4, 5). Es konnte hinsichtlich der Farbstoffpenetrationstiefe kein charakteristisches, gruppentypisches Muster der Farbpenetration festgestellt werden.

Tabelle 3: Auswertungen von Röntgenbildern und Spaltpräparaten der Gruppe 1.

Gruppe 1: Laterale Kondensation mit Ni-Ti-Winkelstückspreadern						
Zähne Nr.	Untergruppen nach Applikationsart	Röntgenologische Auswertung Homogenität Strahlenrichtung vest.-oral	m.-d.	d.-m.	Arbeitslänge vest.-oral	Farbstoff-penetration
	1A/ Papierspitze					
51		X	X	X	X	X
52		X	X	X	X	X
53		X	X	X	X	X
54		X	X	X	X	X
55		X	0	0	X	X
56		X	X	X	X	0
57		X	0	0	X	X
58		X	X	X	X	X
59		X	X	X	X	X
60		X	0	0	X	X
	1B/ Masterpoint					
31		X	X	X	X	X
32		X	X	X	X	X
33		X	X	X	X	0
34		X	0	0	X	X
35		X	X	X	0	X
36		X	X	X	X	X
37		X	X	X	X	0
38		X	X	X	X	X
39		X	X	X	X	X
40		X	X	X	X	X
	1C/ Lentulo					
61		X	X	X	X	X
62		X	X	X	X	X
63		X	X	X	X	X
64		X	X	X	X	X
65		X	X	X	X	X
66		X	X	X	X	X
67		X	X	X	X	X
68		X	X	X	X	0
69		X	X	X	X	X
70		X	X	X	X	X
	1D/ EZ-Fill					
1		X	X	X	X	X
2		X	X	X	X	X
3		X	X	X	X	X
4		X	X	X	X	X
5		X	X	X	X	X
6		X	X	X	X	X
7		X	X	X	X	X
8		X	X	X	X	X
9		X	X	X	X	X
10		X	X	X	X	X

X = homogene Wurzelfüllung
= korrekte apikale Ausdehnung der Wurzelfüllung
= keine Farbpenetration
O = inhomogene Wurzelfüllung
= nicht korrekte apikale Ausdehnung der Wurzelfüllung
= Farbpenetration
Röntgenstrahlenrichtungen: vest.-oral – vestibulo-oral; m.-d. – mesio-distal; d.-m. – disto-mesial.

Tabelle 4: Auswertungen von Röntgenbildern und Spältpräparaten der Gruppe 2.

Zähne Nr.	Untergruppen nach Applikationsart	Gruppe 2: Thermafil Röntgenologische Auswertung Homogenität Strahlenrichtung vest.-oral	m.-d.	d.-m.	Arbeitslänge vest.-oral	Farbstoff-penetration
	2A/ Papierspitze					
101		X	X	X	X	0
102		X	X	X	X	X
103		X	X	X	X	X
104		0	X	X	X	X
105		X	X	X	X	X
106		X	X	X	X	X
107		X	X	X	X	X
108		X	X	X	X	X
109		X	X	X	X	X
110		X	X	X	X	X
	2B/ Masterpoint					
91		X	X	X	0	0
92		X	X	X	X	0
93		X	X	X	X	X
94		X	X	X	X	0
95		X	X	X	X	X
96		X	X	X	X	X
97		X	X	X	0	X
98		X	X	X	X	0
99		X	X	X	0	X
100		X	X	X	X	X
	2C / Lentulo					
111		X	X	X	X	X
112		X	X	X	X	X
113		X	X	X	X	X
114		X	X	X	X	X
115		X	X	X	X	X
116		X	X	X	X	X
117		X	X	X	X	X
118		X	X	X	X	X
119		0	X	X	X	X
120		0	X	X	X	X
	2D/ EZ-Fill					
11		X	X	X	X	X
12		X	X	X	X	X
13		X	X	X	X	X
14		X	X	X	X	X
15		X	X	X	X	X
16		X	X	X	X	X
17		X	X	X	X	X
18		X	0	0	X	X
19		X	0	0	0	X
20		X	X	X	X	X

X = homogene Wurzelfüllung
= korrekte apikale Ausdehnung der Wurzelfüllung
= keine Farbpenetration
O = inhomogene Wurzelfüllung
= nicht korrekte apikale Ausdehnung der Wurzelfüllung
= Farbpenetration
Röntgenstrahlenrichtungen: vest.-oral – vestibulo-oral; m.-d. – mesio-distal; d.-m. – disto-mesial.

Tabelle 5: Auswertungen von Röntgenbildern und Spaltpräparaten der Gruppe 3.

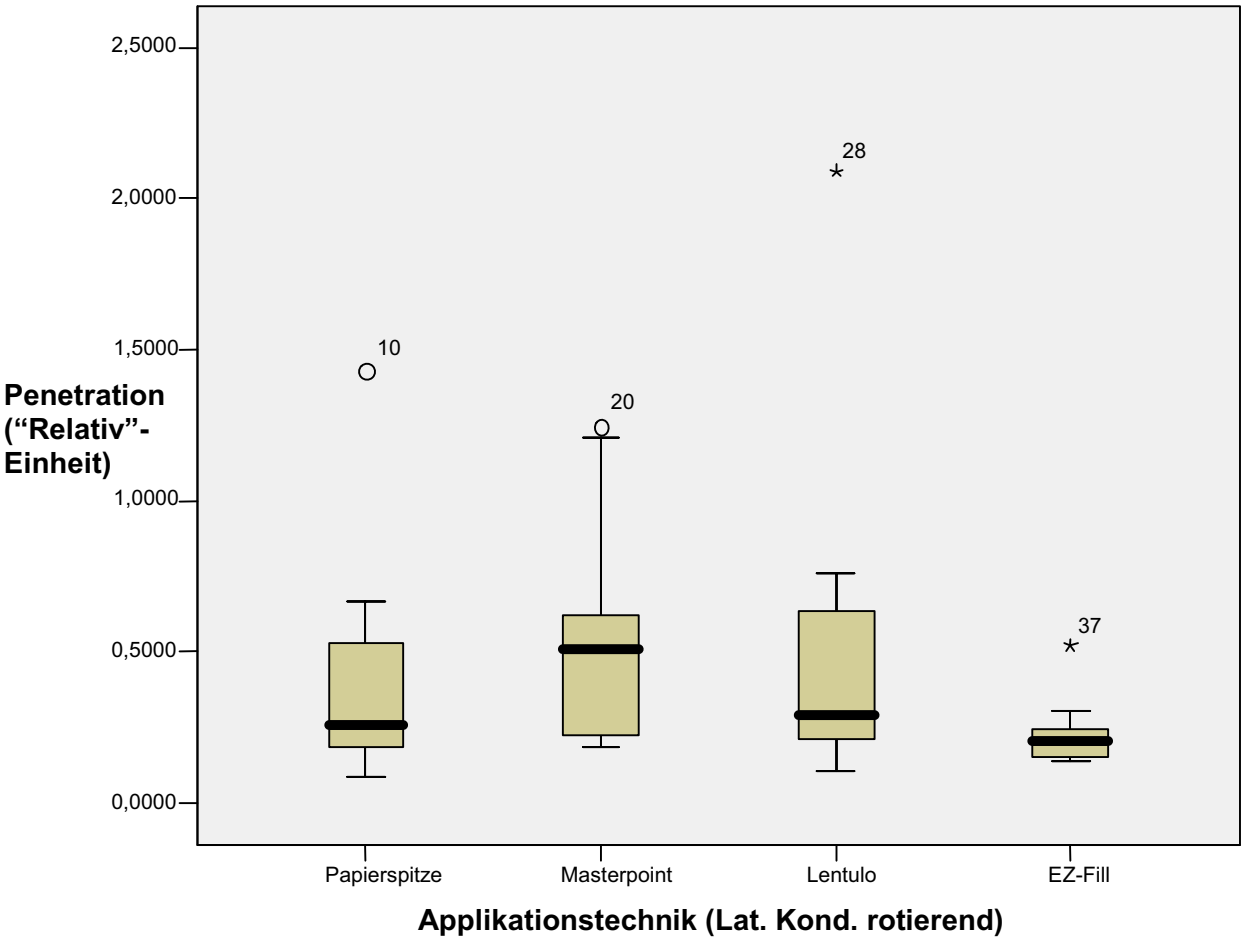
Gruppe 3: Laterale Kondensation mit klassischen Fingerspreadern						
Zähne Nr.	Untergruppen nach Applikationsart	Röntgenologische Auswertung Homogenität Strahlenrichtung vest.-oral	m.-d.	d.-m.	Arbeitslänge vest.-oral	Farbstoff-penetration
	3A/ Papierspitze					
81		X	X	X	X	X
82		X	X	X	X	X
83		X	X	X	X	X
84		X	X	X	X	X
85		X	X	X	X	0
86		X	X	X	X	X
87		X	X	X	X	X
88		X	X	X	X	X
89		X	X	X	X	0
90		X	X	X	X	X
	3B/ Masterpoint					
41		X	X	X	X	X
42		X	X	X	X	X
43		X	X	X	X	X
44		X	X	X	X	X
45		X	X	X	X	X
46		X	X	X	X	X
47		X	X	X	X	X
48		X	X	X	X	X
49		X	X	X	X	X
50		X	X	X	X	X
	3C/ Lentulo					
71		X	X	X	X	0
72		X	X	X	X	X
73		X	0	0	X	0
74		X	X	X	X	0
75		X	0	0	X	X
76		X	X	X	X	X
77		X	X	X	X	X
78		X	X	X	X	X
79		X	X	X	X	X
80		X	X	X	X	X
	3D/ EZ-Fill					
21		X	X	X	X	X
22		X	X	X	X	X
23		X	X	X	X	X
24		X	X	X	X	X
25		X	X	X	X	X
26		X	X	X	X	X
27		X	X	X	X	X
28		X	0	0	0	X
29		X	X	X	0	0
30		X	X	X	0	X

X = homogene Wurzelfüllung
= korrekte apikale Ausdehnung der Wurzelfüllung
= keine Farbpenetration
O = inhomogene Wurzelfüllung
= nicht korrekte apikale Ausdehnung der Wurzelfüllung
= Farbpenetration
Röntgenstrahlenrichtungen: vest.-oral – vestibulo-oral; m.-d. – mesio-distal; d.-m. – disto-mesial.

6.4. Farbstoffpenetrationstest

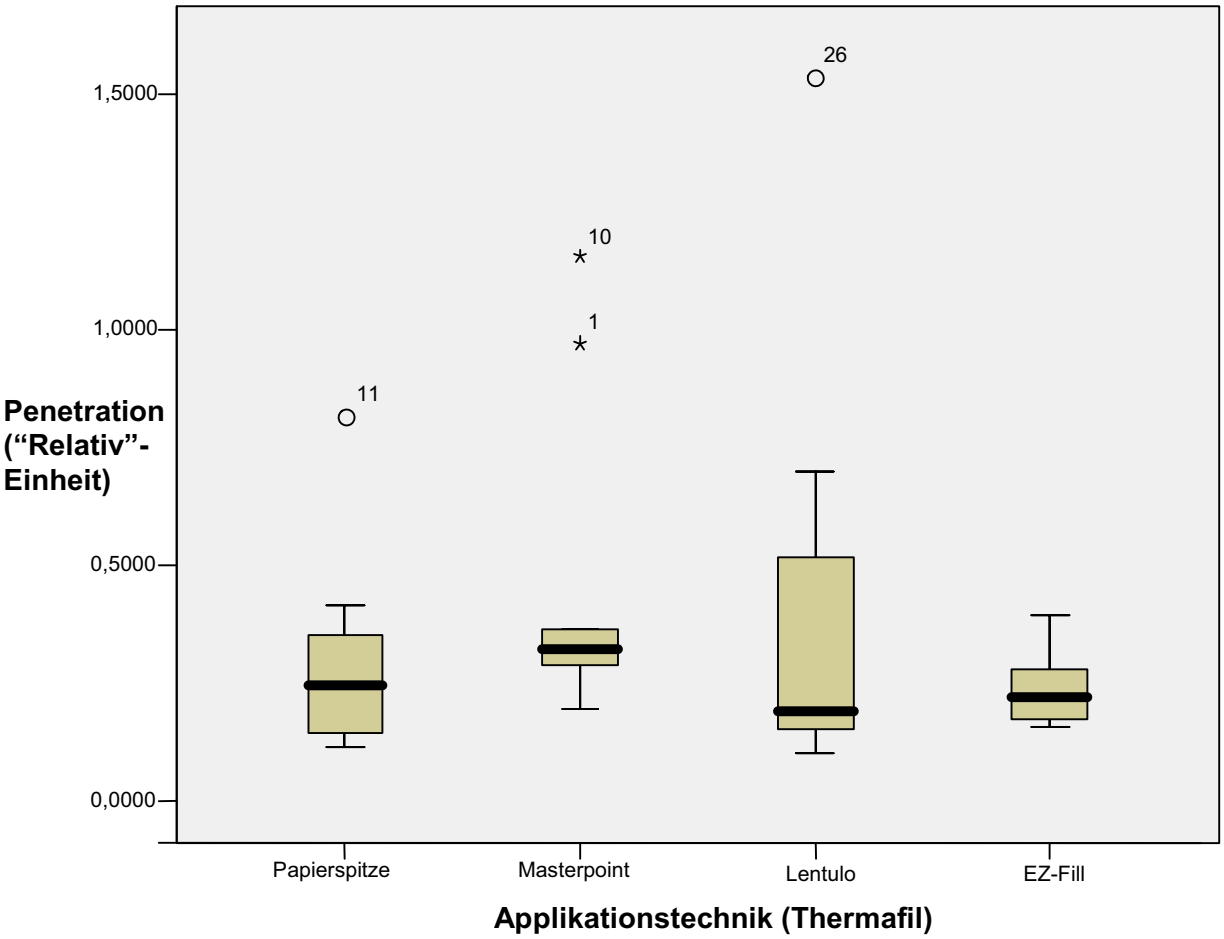
Die im Rahmen der Dichtigkeitsuntersuchung anhand des Farbstoffpenetrationstests erhobenen Einzel-Daten sind im Anhang in tabellarischer Form zusammengefasst (vgl. 9.7. Ergebnisse der spektralphotometrischen Messungen, S. 119).

Im folgenden Abschnitt wird das Ausmaß der Farbstoffpenetration in Form von Grafiken und Tabellen dargestellt. In den Grafiken 1 bis 5 sind die Daten in Form von Boxplot-Diagrammen zusammengestellt. Im Text wird außerdem auf die Mittelwerte und Standardabweichungen der Farbpenetrationsdaten Bezug genommen.



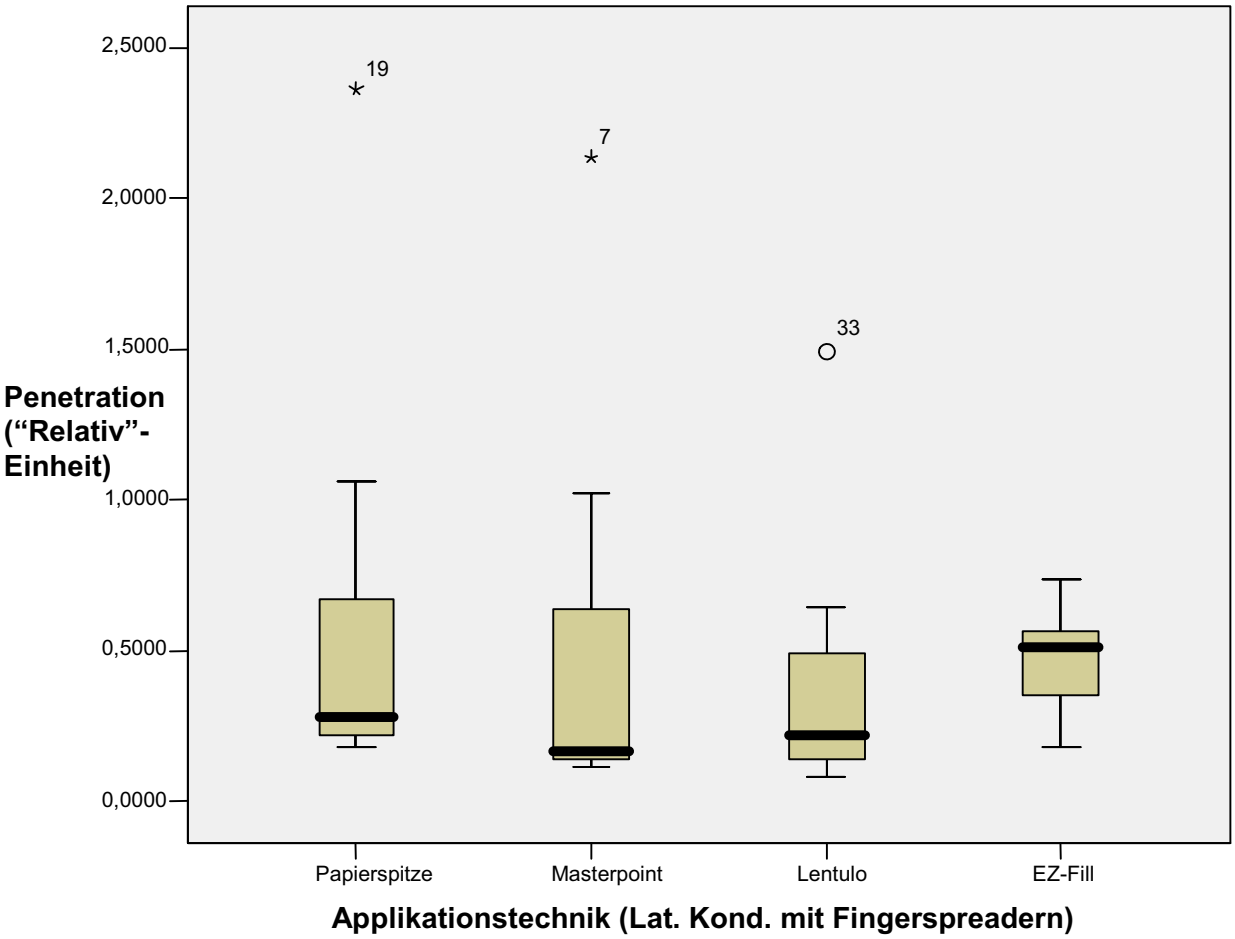
Grafik 1: Darstellung des Ausmaßes der Farbpenetration (relative Einheiten der spektroskopisch/photometrischen Messung) in der Versuchsgruppe 1 (A, B, C, D) in Abhängigkeit von der Applikation des Sealers.

In der Grafik 1 wurden die durchschnittliche Farbstoffpenetration der einzelnen Untergruppen A, B, C, D innerhalb der Gruppe 1 dargestellt. Für die Gruppe 1A lag die durchschnittliche Penetration bei 0,4170 (Standardabweichung 0,3997). Die Gruppe 1B zeigte mit 0,5550 (Standardabweichung 0,3872) die höchste und die Gruppe 1D mit 0,2306 (Standardabweichung 0,1141) die niedrigste durchschnittliche Farbstoffpenetration. In der Gruppe 1C betrug der Mittelwert 0,5098 (Standardabweichung 0,5938).



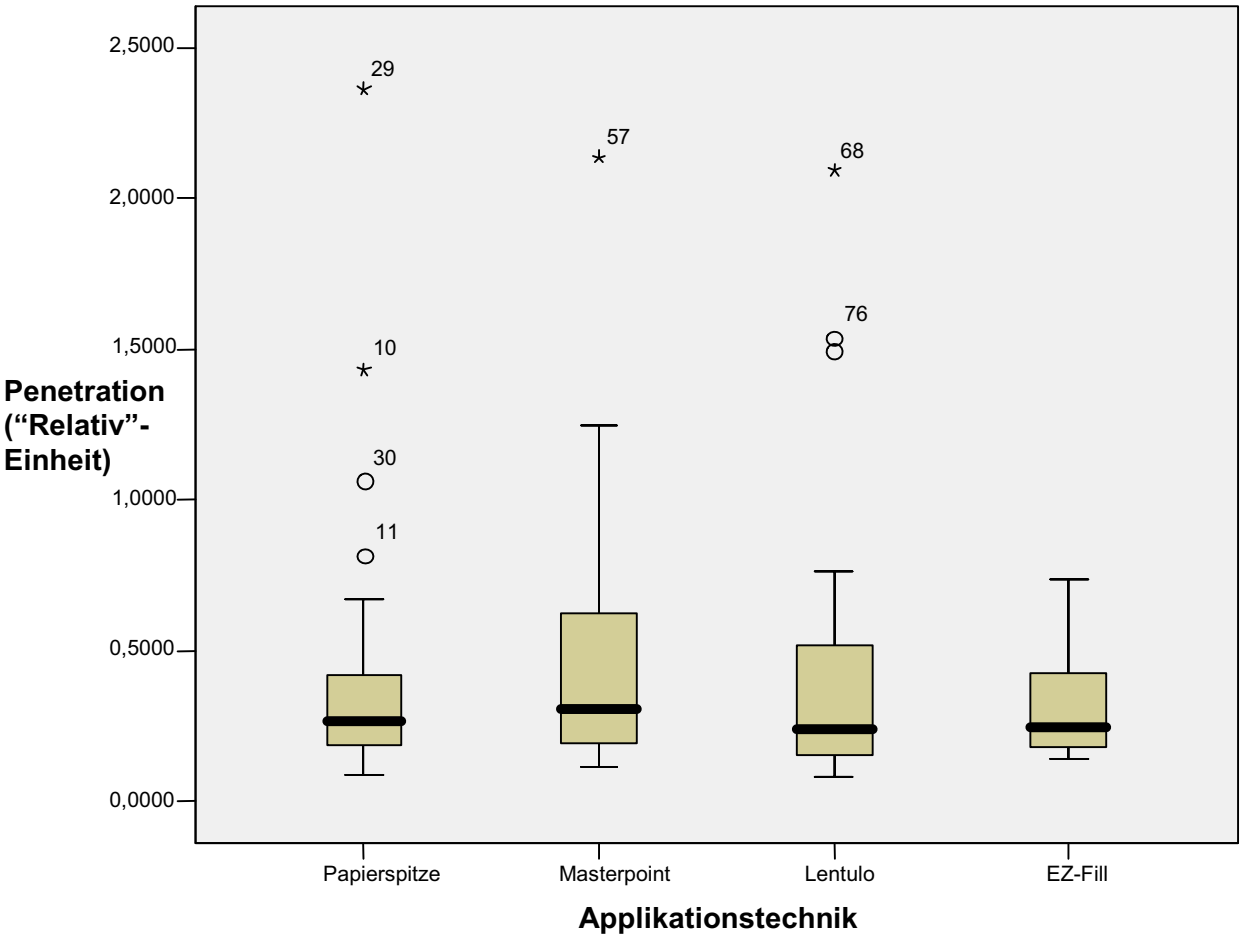
Grafik 2: Darstellung des Ausmaßes der Farbpenetration (relative Einheiten der spektroskopisch/photometrischen Messung) in der Versuchsgruppe 2 (A, B, C, D) in Abhängigkeit von der Applikation des Sealers.

In der Grafik 2 wurde die durchschnittliche Farbstoffpenetration der einzelnen Untergruppen A, B, C, D innerhalb der Gruppe 2 dargestellt. In der Gruppe 2A betrug der Mittelwert 0,2946 bei einer Standardabweichung von 0,2087. In der Gruppe 2B lag er bei 0,4476 und die Standardabweichung betrug 0,3325. Bei der Gruppe 2C betrug die durchschnittliche Penetration 0,4026 (Standardabweichung 0,4430). Die Gruppe 2D zeigte mit 0,2337 (Standardabweichung 0,7466) die niedrigste durchschnittliche Farbstoffpenetration.



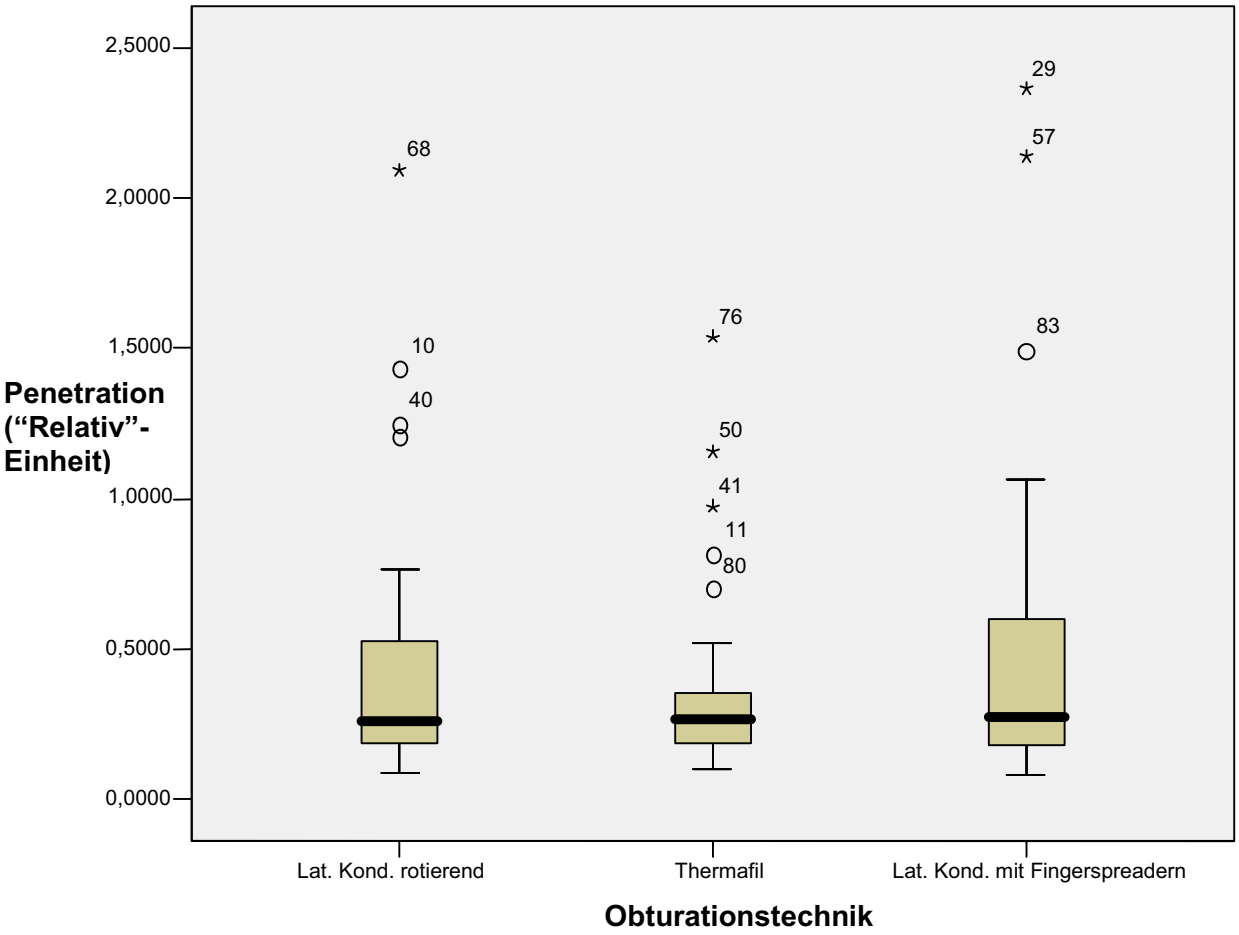
Grafik 3: Darstellung des Ausmaßes der Farbpenetration (relative Einheiten der spektroskopisch/photometrischen Messung) in der Versuchsgruppe 3 (A, B, C, D) in Abhängigkeit von der Applikation des Sealers.

In der Grafik 3 wurde die durchschnittliche Farbstoffpenetration der einzelnen Untergruppen A, B, C, D innerhalb der Gruppe 2 dargestellt. Für die Gruppe 3A lag die durchschnittliche Penetration bei 0,5852 (Standardabweichung 0,6833). In der Gruppe 3B betrug der Mittelwert 0,4915 (Standardabweichung 0,6484). Die niedrigste durchschnittliche Farbstoffpenetration zeigte die Gruppe 3C mit 0,3814 (Standardabweichung 0,4301). Und bei der Gruppe 3D lag der Mittelwert bei 0,4717 mit einer Standardabweichung von 0,1840. Die höhere Penetration war in der Gruppe 3A zu beobachten.



Grafik 4: Darstellung des Ausmaßes der Farbpenetration (relative Einheiten der spektroskopisch/photometrischen Messung) der Untergruppen A, B, C, D in Abhängigkeit von der Applikation des Sealers.

In der Grafik 4 wurde die durchschnittliche Farbstoffpenetration der Untergruppen A, B, C, D dargestellt. Für die Untergruppe A lag die durchschnittliche Penetration bei 0,4322 (Standardabweichung 0,4719). Die Untergruppe B zeigte mit 0,4980 (Standardabweichung 0,4619) die höchste und die Untergruppe D mit 0,3120 (Standardabweichung 0,1717) die niedrigste durchschnittliche Farbstoffpenetration. In der Gruppe C betrug der Mittelwert 0,4313 (Standardabweichung 0,4807).



Grafik 5: Darstellung des Ausmaßes der Farbpenetration (relative Einheiten der spektroskopisch/photometrischen Messung) der Versuchsgruppe 1, 2 und 3 in Abhängigkeit von der Obturationstechnik.

In der Grafik 5 wurde die durchschnittliche Farbstoffpenetration in den Versuchsgruppen 1, 2 und 3 vergleichend dargestellt. Für die Gruppe 1 lag die durchschnittliche Penetration bei 0,4281 (Standardabweichung 0,4144). Die Gruppe 2 zeigte mit 0,3446 (Standardabweichung 0,2992) die niedrigste und die Gruppe 3 mit 0,4824 (Standardabweichung 0,5105) die höchste durchschnittliche Farbstoffpenetration.

6.5. Statistische Auswertung der Daten

Mit Hilfe verschiedener Tests (Kruskal-Wallis-Test, ONE-WAY-ANOVA-Test, t-Test) wurden anschließend die Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen auf Signifikanz geprüft. Diese wurden in tabellarischer Form dargestellt.

Mit Hilfe des Kruskal-Wallis-Tests wurden zunächst die Gruppen 1, 2, 3 (=120 Proben) miteinander verglichen (Tab. 6). Der Test ergab keine signifikanten Unterschiede ($p = 0,672$) (Tab. 7).

Tab. 6: Mittlere Ränge für die Versuchsgruppen 1, 2 und 3 beim statistischen Vergleich mit dem Kruskal-Wallis-Test.

	Obturationstechnik	N	Mittlerer Rang
Werte	Laterale Kondensation rotierend	40	62,08
	Thermafil	40	56,53
	Laterale Kondensation mit Fingerspreadern	40	62,90
	Gesamt	120	

N – Anzahl der Proben

Tab. 7: Signifikanzüberprüfung zwischen den Gruppen 1, 2, 3 mittels Kruskal-Wallis-Tests.

	Werte
Chi-Quadrat	0,795
df	2
Asymptotische Signifikanz	0,672
a Kruskal-Wallis-Test	
b Gruppenvariable: Obturationstechnik	

Dann wurden die Untergruppen A, B, C, D (=120 Proben) ebenso miteinander verglichen (Tab. 8). Hierbei wurde auch kein signifikanter Unterschied festgestellt ($p = 0,562$) (Tab. 9).

Tab. 8:Mittlere Ränge der Untergruppen A-D im statistischen Vergleich (Kruskal-Wallis-Test).

	Applikationstechnik	N	Mittlerer Rang
Werte	**Papierspitze**	30	60,77
	Masterpoint	30	67,78
	Lentulo	30	55,98
	EZ-Fill	30	57,47
	Gesamt	120	

N – Anzahl der Proben

Tab. 9: Signifikanzüberprüfung zwischen den Untergruppen A, B, C, D mittels Kruskal-Wallis-Tests.

	Werte
Chi-Quadrat	2,051
df	3
Asymptotische Signifikanz	0,562
a Kruskal-Wallis-Test	
b Gruppenvariable: Applikationstechnik	

Die Versuchsgruppen 1, 2, 3 und Untergruppen A, B, C, D (120 Proben) wurden außerdem mit Hilfe des ONE-WAY-ANOVA-Tests verglichen. Sowohl zwischen den Gruppen (p = 0,619) als auch zwischen den Untergruppen (p = 0,613) waren die Ergebnisse nicht signifikant (Tab. 10).

Tab. 10: Signifikanzüberprüfung zwischen den Untergruppen und den Gruppen mittels ONE-WAY-ANOVA-Tests.

ONE-WAY-ANOVA

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Obturationstechnik	**Zwischen den Gruppen**	71,333	107	0,667	0,923	0,619
	Innerhalb der Gruppen	8,667	12	0,722		
	Gesamt	80,000	119			
Applikationstechnik	**Zwischen den Gruppen**	133,833	107	1,251	0,928	0,613
	Innerhalb der Gruppen	16,167	12	1,347		
	Gesamt	150,000	119			

Als nächstes wurden die Untergruppen A, B, C, D innerhalb der einzelnen Gruppen 1, 2, 3 mittels ANOVA auf Signifikanz geprüft. Auch innerhalb der Gruppen ergaben sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Untergruppen (Tabellen 11, 12, 13).

Tab. 11: Signifikanzüberprüfung zwischen den Untergruppen A-D innerhalb der Gruppe 1 mittels ONE-WAY-ANOVA-Tests.

ONE-WAY-ANOVA
Werte (Laterale Kondensation rotierend)

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	0,619	3	0,206	1,222	0,316
Innerhalb der Gruppen	6,078	36	0,169		
Gesamt	6,697	39			

Tab. 12: Signifikanzüberprüfung zwischen den Untergruppen A-D innerhalb der Gruppe 2 mittels ONE-WAY- ANOVA-Tests.

ONE-WAY-ANOVA
Werte (Thermafil)

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	0,288	3	0,096	1,077	0,371
Innerhalb der Gruppen	3,204	36	0,089		
Gesamt	3,492	39			

Tab. 13: Signifikanzüberprüfung zwischen den Untergruppen A-D innerhalb der Gruppe 3 mittels ONE-WAY-ANOVA-Tests.

ONE-WAY-ANOVA
Werte (Laterale Kondensation mit Fingerspreadern)

	Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	0,210	3	0,070	0,253	0,859
Innerhalb der Gruppen	9,956	36	0,277		
Gesamt	10,166	39			

7. Diskussion

7.1. Material und Methoden

7.1.1. Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen nach unterschiedlichen Fülltechniken und Applikationsarten des Sealers zu untersuchen und ein Konzept zu entwickeln, das die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen erhöht. Dafür wurden 120 extrahierte Zähne ausgewählt. Auf die Auswahl von Zähnen mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum wurde wegen des fehlenden apikalen Stopps verzichtet. Infolge der bei natürlichen Zähnen vorkommenden Variabilität der Wurzelkanalsysteme wurden die Zähne mit geraden Wurzeln (Krümmungswinkel ≤ 15°) für die Untersuchung verwendet. Zähne mit obliterierten Wurzelkanälen wurden aus der Studie ebenfalls ausgeschlossen, da bei diesen eine Aufbereitung bis zur physiologischen Konstriktion häufig nicht möglich ist.

Um die Ergebnisse der Untersuchung miteinander unter möglichst gleichen Bedingungen zu vergleichen und entsprechend auszuwerten, war eine Standardisierung der Zähne und der Untersuchungsmethodik notwendig. Aus diesem Grund wurden die Zähne nummeriert und randomisiert auf Gruppen nach Fülltechnik und Applikationsart des Sealers verteilt.

In vielen Studien wurden für die Beurteilung von Wurzelkanalfüllungen künstliche Wurzelkanäle aus Methacrylat herangezogen (Wong et al. 1981,1982, Tepel 1998). Zahlreiche Faktoren, welche die Dichtigkeit von Wurzekanalfüllungen beeinflussen (z.B. Smear layer), können mit diesen künstlichen Wurzelkanälen nicht simuliert werden. Deswegen wurden in der vorliegenden Arbeit, wie auch bei vielen anderen Studien (Petschelt et al. 1987, Barthel et al. 1994), menschliche Zähne verwendet. Künstliche Wurzelkanäle in Form von Plexiglasblöckchen wurden im Vorfeld der vorliegenden Studie ausschließlich zum Erlernen der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-System und der Obturationstechniken (10 Plexiglasblöckchen je Technik) verwendet, weil viele Unterschiede

und Schwankungen bezüglich der ermittelten Ergebnisse durch Erfahrung und Geschick des jeweiligen Behandler bestimmt werden (Wu & Wesselink 1993).

7.1.2. Wurzelkanalaufbereitung

Vor der Wurzelkanalaufbereitung ist es unbedingt erforderlich, die Zahnlänge möglichst genau zu bestimmen und den Punkt festzulegen, bis zu dem der Wurzelkanal aufbereitet und gefüllt werden soll (Hellwig et al. 1995). Klinisch soll eine Aufbereitung bis an die apikale Konstriktion vorgenommen werden (Hör & Attin 2004). Durch die Einhaltung der apikalen Enge soll die Kontaktfläche zwischen Wurzelfüllung und apikalem Gewebe so gering wie möglich gehalten werden. Es wird von vielen Autoren empfohlen diesen Punkt ca.1 mm vor dem röntgenologischen Apex festzulegen (Strindberg 1956, Schröder 1981, Hellwig et. al 1995, Hülsmann 1995, Hör & Attin 2004). In der Mundhöhle erfolgt die Bestimmung der Arbeitslänge mit einer Röntgenmessaufnahme. In der vorliegenden In-vitro-Studie wurde die Arbeitlängenbestimmung visuell durchgeführt und dann nochmals röntgenologisch nachkontrolliert, um Messungenauigkeiten auszuschließen (Schäfer & Schlingemann 2003).

Die Aufbereitung mit Nickel-Titan Instrumenten erzeugt in geraden Wurzelkanälen hinreichend formkongruente Aufbereitungsformen und hat sich hierfür bewährt (Beer 1993, Buchanan 1996, Beer & Baumann 1997, Barthel et al. 1999, Schäfer 1999, Hülsmann 2002, Hannig 2003). Die Aufbereitung der Wurzelkanäle bis zu einer ISO-Größe 50 wird für weite Kanäle der einwurzeligen Zähne empfohlen (Schröder 1981). Außerdem ermöglicht diese Kanalform eine effektive Spülung der Wurzelkanäle und eine optimale Füllung mit Guttaperchastiften (Hülsmann 2002).

Durch das mechanische Abtragen des Wurzeldentins bildet sich die vorwiegend aus anorganischem Material bestehende sogenannte Schmierschicht (Koçkapan 1995). Der

Einfluss der Schmierschicht auf die apikale Dichtigkeit von Wurzekanalfüllungen wird kontrovers diskutiert. Einige Autoren betrachten die Schmierschicht als Schutzschicht vor Bakterien aus den Dentinkanälchen (Kröncke 1981, Drake et al. 1994). Die Schmierschicht wurde in der vorliegenden Untersuchung entfernt. Durch die Entfernung der Schmierschicht wird das Penetrieren von Wurzelkanalfüllungsmaterialien in die Dentintubuli erhöht (Gutmann 1993). Diese Penetration fördert die Haftung von Wurzelfüllmaterialien an der Wurzelkanalwand. Der Haftungsmechanismus beruht auf dem Eindringen von Wurzelkanalfüllungsmaterialien in die freigelegten Dentinkanälchen. Dadurch wird die Haftungsfläche zwischen Wurzelkanalfüllungsmaterial und Wurzelkanalwand erheblich vergrößert. Dieses wirkt sich positiv auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung aus (Petschelt et al. 1987, Koçkapan 1995).

Die Schmierschicht gilt außerdem als Diffusionsbarriere für antimikrobielle Wurzelkanaleinlagen (Koçkapan 1995).

Die Schmierschicht wurde in dieser Studie durch die Anwendung der kommerziell erhältlichen 15%igen EDTA-Lösung Calcinase entfernt. Durch EDTA werden anorganische Bestandteile innerhalb von 10 min. aufgelöst (Baumgartner et al.1984). Die Spülung mit NaOCl diente zur Beseitigung der im Wurzelkanal verbliebenen organischen Reste. Durch die 3%ige Konzentration der NaOCl-Lösung wird vitales Gewebe geschont und gleichzeitig wird die Keimzahl reduziert (Barthel –Zimmer 2001, Hör & Hannig 2003). Daher erfolgte hier die Entfernung der Schmierschicht mit einer Kombination von EDTA (15%) und NaOCl (3%).

7.1.3. Wurzelkanalfüllung

In der vorliegenden Untersuchung wurden die Wurzelkanäle mit Hilfe von drei verschiedenen Obturationstechniken abgefüllt. Die klassische laterale Kondensation wurde aufgrund der

hohen Dichtigkeit, vor allem im Vergleich zur Zentralstifttechnik (Beatty et al. 1985, 1986, 1989) und zu anderen Fülltechniken (Lutz et al. 1986, Mann & McWalter 1987, La Combe et al. 1988, Haddix et al. 1991) ausgewählt. Die laterale Kondensation ist relativ zeitaufwendig (Haupt et al. 2002), und das Versiegeln von Nebenkanälchen des Wurzelkanals und das Obturieren von Dentintubuli durch die kalte Kondensation der Guttaperchastifte kann nicht immer erreicht werden (Weis et al. 2004, Guigand et al. 2005). Auf Grund dieser Nachteile wurde in dieser Studie eine Technik mit Ni-Ti-Winkelstückspreadern als Erweiterung der klassischen lateralen Kondensation untersucht. Dieses neue Verfahren wurde rotierende laterale Kondensation genannt. Diese Obturationstechnik sollte Vorteile hinsichtlich der Schnelligkeit und der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllung bringen. Nach Insertion des Guttapercha-Stiftes in den Wurzelkanal geht man mit dem Ni-Ti-Wingerstückspreader zwischen Kanalwand und Stift ein. Der Guttaperchastift wird durch die Rotationsbewegungen leicht verformt und an das Kanallumen adaptiert. Die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen soll dadurch erhöht werden.

Mit erwärmten Einzelstiften (Thermafil) steht eine schnelle Wurzelfülltechnik mit wissenschaftlich fundiert guten Ergebnissen zur Verfügung (Baumann 2005). Das Thermafil-Verfahren konnte in zahlreichen Studien hinsichtlich der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen mit der lateralen Kondensation mithalten (Dummer et al. 1993, Gäbler et al. 2000, Baumann 2001) oder sogar bessere Ergebnisse erzielen (Lares & elDeeb 1990, Hata et al. 1995). Deswegen wurde die Thermafil-Technik in diese Arbeit einbezogen.

Der Gebrauch eines Sealers sowohl bei der „Kalttechnik“ als auch bei der „Warmtechnik“ mit Guttapercha scheint erforderlich zu sein. Es sind zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden, bei denen die Notwendigkeit der Verwendung eines Sealers bei thermoplastischen Füllmethoden bestätigt wurde (Bhambhani & Sprechman 1994, Goldberg et al. 1995, Pallares & Faus 1995, Ebert et al. 1999, Jung et al. 1999, Schäfer & Olthoff 2002). Es wurden dabei geringere Farbstoffpenetrationstiefen bei der Verwendung kleinerer Mengen an Sealer

festgestellt als bei größeren Mengen (Greene et al. 1990). Die Menge des in den Wurzelkanal eingeführten Sealers hängt von der Applikationsart ab. Deswegen wurde in dieser Studie die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen bei verschiedenen Applikationsmethoden des Sealers untersucht und verglichen.

Bei der in dieser Studie verwendeten Wurzelfüllpaste AH Plus handelt es sich um einen Sealer auf Epoxidharz-Basis, der im Vergleich zu anderen Sealern die günstigen physikalischen und werkstoffkundlichen Eigenschaften besitzt. Sealer auf Epoxid-Basis weisen eine gute Volumenbeständigkeit sowie ein sehr gutes Abdichtungsvermögen auf (Gettleman et al. 1991). AH Plus zeigte in Microleakage-Untersuchungen beste Haftwerte zum Dentin der Wurzelkanalwand (Eldeniz et al. 2003) und konnte hinsichtlich der Langzeitstabilität die besten Ergebnisse vorweisen (McMichen et al. 2003, Schäfer & Zandbiglari 2003). Durch seine sehr gute Fließfähigkeit kann der Sealer auch bei Warmtechniken eingesetzt werden (Lussi et al. 1999). Die Schrumpfung wurde bei AH Plus durch eine völlige Neuentwicklung reduziert, was zu sehr guten Dichtigkeitswerten der Wurzelkanalfüllungen führt (Kardon et al. 2003). In der Studie von Al-Khatar et al. (1999) wurde geringste Farbstoffpenetration bei den mit AH Plus gefüllten Zähnen im Vergleich zu anderen Sealern beobachtet. Aus diesen Gründen wurde AH Plus in der vorliegenden Studie angewendet.

Im Anschluss an die Wurzelkanalfüllungen wurden die koronalen Kavitäten vor der weiteren Untersuchung mit Komposit (Tetric flow und Tetric Ceram) verschlossen, um ein Eindringen des Farbstoffes im koronalen Bereich zu vermeiden.

7.1.4. Auswertung

7.1.4.1. Röntgenbilder

Im Rahmen der klinischen Vorgehensweise wird die Qualität einer Wurzelkanalfüllung anhand von Röntgenkontrollaufnahmen nach Abschluss der Wurzelkanalfüllung beurteilt. Die röntgenologische Beurteilung berücksichtigt die Homogenität und die Länge der Wurzelkanalfüllung. Im klinischen Alltag wird in der Regel nur eine Kontrollaufnahme in vestibulo-oraler Richtung angefertigt. Für die In-vitro-Studie reicht eine Kontrollaufnahme in einer Strahlenrichtung nicht aus, um das Vorhandensein von allen Porositäten und Fehlstellen innerhalb der Wurzelkanalfüllung festzustellen (Youngson et al. 1995, Slaus et al. 2001).

Aus diesem Grund wurden bei dieser Studie neben der klinisch verfügbaren Röntgenkontrolle in vestibulo-oraler Strahlenrichtung zusätzlich mesio-distale und disto-mesiale Röntgenkontrollaufnahmen der wurzelgefüllten Zähne angefertigt. Hierdurch waren eine verbesserte Qualitätskontrolle und eine dreidimensionale Beurteilung der Wurzelkanalfüllungen vor der eigentlichen Untersuchung zur Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen möglich. Durch eine separate Auswertung der Röntgenkontrollaufnahmen der in dieser Studie eingesetzten Wurzelkanalfülltechniken (rotierende laterale Kondensation, Thermafil, klassische laterale Kondensation) sollte das Potential dieser Techniken zur dreidimensionalen Obturation des Wurzelkanals beurteilt werden.

7.1.4.2. Spaltpräparate

Zur Untersuchung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen sind eine Vielzahl von In-vitro-Methoden beschrieben worden (Tab. 19).

Tab. 19: In-vitro-Methoden zur Untersuchung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen.

In-vitro-Methoden	**Autoren**
Spaltanalysen unter dem Rasterelektronenmikroskop	Torabinejad et al. 1978
Messung der Penetration von Bakterien	Kos et al. 1982
Messung der Penetration von radioaktiven Isotopen	Dow & Ingle 1955, Matloff et al. 1982
Messung der Penetration von Farbstoffen	Matloff et al. 1982, Wu & Wesselink 1993

Penetrationstests mit Bakterien haben den Nachteil, dass die Bakterien selbst größer sind als die Moleküle ihrer Endotoxine. Es können jeder Zeit Endotoxine in Bereiche, in denen keine Bakterienpenetration festzustellen ist, eingedrungen sein und eine entzündliche Reaktion im periapikalen Gewebe hervorrufen (Cohen & Burns 1994).

Die Überprüfung der Dichtigkeit einer Wurzelfüllung mit Hilfe der Penetration radioaktiver Isotope ist weniger genau als die mit Farbstoffen (Matloff et al. 1982).

Die in der vorliegenden Untersuchung angewandte Methode mittels eines Farbstoffpenetrationstests mit Methylenblau stellt eine der häufig eingesetzten Testverfahren dar. Mit Hilfe von Farbstoffen soll eine mögliche Penetration von Bakterien und Toxinen durch die zu untersuchenden Wurzelkanalfüllungen imitiert werden.

Es werden zum Farbstoffpenetrationstest verschiedene Farbstoffe verwendet: schwarze Tusche (Attin et al. 1994, Horning & Kessler 1995, Attin et al. 1996); Eosin (Spangberg et al. 1989) und Methylenblau (Van de Voorde & Bjoerndahl 1969, Smith & Wong 1992, Wu & Wesselink 1993). Auf Grund der kleinen Molekülgröße von Methylenblau, welche der molekularen Größe von bakteriellen Toxinen vergleichbar ist, wird Methylenblau als ein geeigneter Indikator für die klinisch relevante Undichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen angesehen (Kersten & Moorer 1989). Methylenblau wurde in dieser Studie als wässrige Lösung in einer Konzentration von 2% und mit einem adjustierten pH-Wert von 7,0 verwendet (Starkey et al. 1993, Camp & Pashley 2003). Der sauere pH-Wert der

Methylenblau-Lösung hätte durch Demineralisation des Dentins die Penetration des Farbstoffes wesentlich erhöht (Wu & Wesselink 1993). Die Konzentrationen einer wässrigen Methylenblau-Lösung bei Farbstoffpenetrationstests bewegen sich in verschiedenen Studien in einem Bereich zwischen 0,2% - 5%. Ob diese Konzentration auf die Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstests im gewissen Maße auswirkt, ist noch nicht vollkommen geklärt.

Die Aufspaltung der Zähne wird als Alternative zur Bestimmung der Farbstoffpenetrationstiefen angesehen (Dummer et al. 1994, Ahlberg et al. 1995). Dabei wird zwischen der Aufspaltung in Längsrichtung und der Anfertigung von Querschnitten unterschieden (Pitt Ford 1979, Alexander & Gordon 1985, Jacobsen & Shugars 1990, Barthel et al. 1994). Durch die Beurteilung der bestehenden Schnitte (Spaltpräparate) wird die maximale Eindringtiefe bestimmt. Ein gravierender Nachteil dieser Methode besteht darin, dass durch die Zerstörung der zu untersuchenden Zähne die vollständige Darstellung von apikalen Undichtigkeiten nicht möglich ist. Auf Grund der durch den Sägeprozess bedingten Substanzverluste kann die maximale Penetrationstiefe in einigen Fällen nicht exakt bestimmt werden. Das Verfahren besitzt damit nur einen eingeschränkten Informationsgehalt.

7.1.4.3. Farbstoffpenetrationtest (Spektralphotometrische Methode)

Die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung wird in der Regel durch den Nachweis und die Menge einer eingedrungenen Farblösung in die Wurzelfüllungsfuge bestimmt. Aufgrund des geringeren Aufwands und der hohen Aussagekraft wird der Farbstoffpenetrationstest heute weitgehend passiv durchgeführt (Barthel et al. 1994, Master et al. 1995, Camps & Pashley 2003). Einige Autoren empfehlen die aktive Penetration, entweder mittels Zentrifugation oder unter Vakuumapplikation (Spradling & Senia 1982, Goldman et al. 1989). Sowohl die Vakuumapplikationen (Dickson & Peters 1993, Master et al. 1993), als auch das

Zentrifugieren (Karagös-Kücükay et al. 1993) scheinen im Vergleich zur passiven Penetration jedoch keine erhöhte Farbpenetration zur Folge zu haben. Da die Bedingungen im Bereich des Wurzelkanals am ehesten mit der Methode der passiven Penetration zu vergleichen sind und die aktive Penetration keine Vorteile bringt, wurde in dieser Untersuchung letztere zur Überprüfung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen herangezogen.

Um die Menge des eingedrungenen Farbstoffs zu erfassen, kann die Farbstoffpenetrationstiefe bestimmt werden. Es existieren verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Farbstoffpenetrationstiefe, die jeweils mit unterschiedlichen Nachteilen verbunden sind. Zum einen können nach Ablauf der Penetrationsphase Spaltpräparate der Zahnwurzeln angefertigt werden, anhand derer anschließend die Tiefe der Farbstoffpenetration linear abgemessen werden kann. Der Nachteil dieser Methode besteht darin, dass die Farbstoffpenetrationstiefe nicht entlang der gesamten Wurzeloberfläche (Wu & Wesselink 1993), sondern nur an der Bruchfläche beurteilt werden kann (Limkangwalmongkol et al. 1992). Bei einem anderen Verfahren gelingt es durch eine spezielle Vorbehandlung der Zähne mit chemischen Lösungen, die Zahnwurzeln transparent werden zu lassen (Robertson & Leeb 1980, Tagger et al. 1983). Diese Methode liefert jedoch nur eine beschränkte Information hinsichtlich der Farbstoffpenetration zwischen Sealer und Guttapercha.

Die Anfertigung serieller Quer- und Längsschnitte stellt eine weitere Methode zur Bestimmung der Farbstoffpenetration dar. Ein Nachteil dieser Methode liegt darin, dass die Wurzelkanalfüllung durch den Sägeprozess zerstört wird und dadurch die Farbstoffpenetration nur selektiv sichtbar gemacht werden kann (Wu & Wesselink 1993).

In der vorliegenden Untersuchung erfolgte eine Quantifizierung des penetrierten Farbstoffes mittels der spektralphotometrischen Methode (Douglas & Zakariasen 1981, Porkaew et al. 1990). Nach abgeschlossener Farbstofflagerung werden die Zähne in Salpetersäure eingelegt. Dadurch löst sich der in den Wurzelkanal penetrierte Farbstoff heraus. Die Zahnsubstanz der Zähne löst sich in der Salpetersäure ebenfalls auf. Mit Hilfe eines Spektralphotometers,

dessen Lichtstrahl eine Wellenlänge im Absorbtionsbereich des Farbstoffes hat, wird ein Absorptionsspektrogramm angefertigt (Porkaew et al. 1990). Das Volumen des penetrierten Farbstoffes kann auf diese Weise genau ermittelt werden (Douglas & Zakariasen 1981). Ein Nachteil dieser Methode besteht darin, dass es nicht möglich ist, die Penetrationstiefe des Farbstoffes sowie das Farbmuster zu bestimmen. Der Vorteil dieser Methode besteht jedoch darin, dass eine Quantifizierung der Farbstoffpenetration möglich ist.

7.2. Ergebnisse

7.2.1. Röntgenbilder

Die Röntgenkontrolle ist im klinischen Alltag die einzige Methode, mit deren Hilfe eine prognostische Aussage für eine Wurzelkanalfüllung getroffen werden kann. Rezidivbefall und Symptomfreiheit sind retrospektive Beurteilungsmöglichkeiten für die Wurzelkanalfüllung (De Cleen et al. 1993). Mängel in der Obturation der Wurzelkanäle, welche sich auf Grund von Porositäten als röntgenologische Inhomogenität darstellen, können bei der vestibulo-oralen Kontrollaufnahme häufig übersehen werden (Youngson et al. 1995, Slaus et al. 2001). Dies wurde in der vorliegenden Studie mehrmals bestätigt.

Die drei in dieser Arbeit eingesetzten Wurzelkanalfülltechniken (rotierende laterale Kondensation, Thermafil®, klassische laterale Kondensation) konnten mit Hilfe der Auswertung der Röntgenkontrollaufnahmen bezüglich ihrer Eignung zur dreidimensionalen Obturation des Wurzelkanals bewertet werden. Bei alleiniger Betrachtung der Ergebnisse zur röntgenologischen Homogenität in vestibulo-oraler Strahlenrichtung konnte der Vergleich der drei verschiedenen Obturationstechniken eine gewisse Tendenz aufzeigen. Die besten Ergebnisse erzielten die rotierende laterale und die klassische laterale Kondensationstechnik, bei denen die Wurzelkanäle zu 100 % (40 von 40) als röntgenologisch homogen bewertet

wurden. Dagegen konnten mittels der Thermafil-Technik nur 92,5 % der Wurzelkanäle (37 von 40) homogen abgefüllt werden. Dies war jedoch nur die zweidimensionale Darstellung der dreidimensionalen Struktur der Wurzelkanalfüllung. Wenn man die röntgenologischen Ergebnisse bezüglich der Homogenität der Wurzelkanalfüllungen in mesio-distaler und disto-mesialer Strahlenrichtungen vergleicht, fällt auf, dass insgesamt 4 nach rotierender und 3 nach klassischer lateraler Kondensationstechnik angefertigte Wurzelkanalfüllungen, die in vestibulo-oraler Strahlenrichtung als homogen bewertet wurden, in den beiden anderen Strahlenrichtungen nur in 90 % bzw. 92,5 % der Fälle homogen waren. Die Thermafil-Technik schnitt dagegen mit 95 % Homogenität der Wurzelkanalfüllungen in mesio-distaler und disto-mesialer Strahlenrichtung etwas besser ab. Der Grund der Inhomogentität der Wurzelkanalfüllungen nach Anwendung der rotierenden und klassischen lateralen Kondensationstechniken kann an der Morphologie der Wurzelkanäle (ovale Querschnitte, interne Resorptionslakunen) liegen, die mit diesen Wurzelkanaltechniken nur schwer im Sinne einer dreidimensionalen Obturation zu füllen sind (Wu et al. 2001). Die statistische Auswertung des Farbstoffpenetrationstests zeigte jedoch keine signifikanten Unterschiede in der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen zwischen den drei Obturationstechniken ($p > 0,05$). Hinsichtlich des Kriteriums der apikalen Ausdehnung der Wurzelkanalfüllungen wurden in allen drei Strahlenrichtungen gleiche Ergebnisse ermittelt. Die besten Ergebnisse erzielte die rotierende laterale Kondensationstechnik, bei welcher 97,5 % der untersuchten Wurzelkanäle (39 von 40) apikal vollständig bis zu der bei der Aufbereitung verwendeten Arbeitslänge gefüllt waren. Dagegen erhielten bei der klassischen lateralen Kondensationstechnik 92,5 % (37 von 40) und bei der Thermafil-Technik 90 % (36 von 40) der angefertigten Wurzelkanalfüllungen eine positive Bewertung bezüglich des Kriteriums der apikalen Ausdehnung der Wurzelkanalfüllungen. Bei der Auswertung des Farbstoffpenetrationstests waren die Unterschiede zwischen diesen drei Obturationstechniken statistisch nicht signifikant ($p > 0,05$). Die Tatsache, dass 10 % der nach der Thermafil-Technik angefertigten

Wurzelkanalfüllungen negative Bewertungen hinsichtlich des Kriteriums der apikalen Ausdehnung der Wurzelkanalfüllungen erhielten, ist auf die Nachteile des Thermafilsystems zurückzuführen. Es wurde mit Hilfe der Spaltpräparate festgestellt, dass sich die Kunststoffträger der Thermafil-Obturatoren etwa 1 mm vor dem Apex befanden. Von Juhlin et al. (1993) wurde bestätigt, dass der Träger apexnah oft teilweise ohne Guttapercha frei lag. Möglicherweise lassen sich hierdurch klinische Fälle erklären, die trotz einer röntgenologisch gut angefertigten Wurzelkanalfüllung zu einem endodontischen Misserfolg führten (Cantatore 1998).

7.2.2. Spaltpräparate

Mit Hilfe der Ergebnisse bezüglich der Lokalisation der Farbstoffpenetration im apikalen Drittel der Wurzelkanalfüllungen konnte kein Zusammenhang zwischen der apikalen Ausdehnung der Wurzelkanalfüllungen und der röntgenologischen Homogenität gefunden werden. So zeigten Wurzelkanalfüllungen, die röntgenologisch als inhomogen bewertet wurden, häufig dagegen eine geringere Farbstoffpenetrationstiefe. Vielmehr ist auf Grund der in der vorliegenden Untersuchung ermittelten Ergebnisse bezüglich der Lokalisation der Farbstoffpenetration an eine andere Ursache zu denken.

Für Gruppe 1, bei welcher auf Grund der rotierenden lateralen Kondensationstechnik eine gegenüber der Gruppe 3 geringere Farbstoffpenetrationstiefe zu erwarten war, konnten 90 % aller Wurzelkanalfüllungen (36 von 40) eine positive Bewertung bezüglich des Kriteriums der Lokalisation der Farbstoffpenetration im apikalen Drittel der Wurzelkanalfüllungen erhalten. Die klassische laterale Kondensation schnitt dagegen mit 85 % (34 von 40) der Fälle schlechter ab. Dieses lässt sich folgendermaßen erklären:

Das zentrale Instrument für die klassische laterale Kondensation ist der Speader, welcher der im Kanal befindlichen Guttaperchamasse nach lateral kondensiert und für akzessorische Stifte Platz schafft. Für die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung ist hierbei die Eindringtiefe des Spreaders ein wichtiger Factor (Allison et al. 1974, Yared et al. 1992). Auch Bauform und Material spielen hierbei eine Rolle. So konnte gezeigt werden, dass Spreader aus einer Nickel-Titan-Legierung eine deutlich größere Eindringtiefe zeigen als solche aus konventionellen Stahllegierungen (Berry et al. 1998). Die vorliegende Studie geht von der Annahme aus, dass ein modifizierter Speader aus Nickel-Titan für die Anwendung in einem Winkelstück für die apikale Kondensation einen Vorteil bringt. Hier wurden zwar unterschiedliche Eindringtiefen für die verschiedene Instrumente gefunden, die statistische Auswertung des Farbstoffpenetrationstests zeigte jedoch keine signifikanten Unterschiede in der Dichtigkeit der mit diesen Instrumenten gefertigten Wurzelkanalfüllungen.

In der Gruppe 3 (Thermafil®-Technik) wurden die Spaltpräparate mit den Röntgenkontrollaufnahmen der Zähne, bei denen die Wurzelkanalfüllungen bezüglich des Kriteriums der apikalen Ausdehnung negative Bewertungen zeigten, verglichen. Hinsichtlich des Kriteriums der Lokalisation der Farbstoffpenetration konnten 87,5 % aller Wurzelkanalfüllungen der Gruppe 3 (35 von 40) eine positive Bewertung erhalten.

Die Spaltpräparate lieferten in dieser Studie damit nur eingeschränkte Informationen. Aus diesem Grund wurde für die vergleichende Untersuchung der Untergruppen A, B, C, D nur die spektralphotometrische Methode herangezogen, die exakte Informationen über die Farbstoffpenetration liefert (Douglas & Zakariasen 1981).

7.2.3. Farbstoffpenetrationstest (Spektralphotometrische Methode)

Die spektralphotometrische Methode basiert auf der Freisetzung des Farbstoffes in Säure. Danach wird der Farbstoffgehalt mit einem Spektrophotometer gemessen (Douglas & Zakariasen 1981, Porkaew et al. 1990). Die Ergebnisse der spektralphotometrischen Untersuchung ermöglichen eine Aussage bezüglich der Dichtigkeit der untersuchten Wurzelkanalfüllungen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstests konnten innerhalb der Gruppen 1, 2, 3 (rotierende laterale Kondensation, Thermafil, klassische laterale Kondensation) keine statistisch signifikanten Unterschiede erkannt werden ($p > 0,05$). Jedoch konnte der Vergleich der drei verschiedenen Obturationstechniken eine Tendenz aufzeigen. Die besten Ergebnisse erzielte die Thermafil-Technik hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung (Mittelwert 0,3446). Die rotierende Kondensationstechnik zeigte dagegen auch gute Ergebnisse (Mittelwert 0,4281), und die klassische laterale Kondensatiostechnik schnitt schlechter als die beiden anderen Obturationstechniken ab (Mittelwert 0,4824). Die Ansicht einiger Autoren, dass die Dichtigkeit der mit Thermafil und lateraler Kondensation applizierten Wurzelfüllungen mindenstens gleichwertig (Schäfer & Olthoff 2002) oder sogar besser (Gencoglu et al. 2001, Pommel & Camps 2001) sei, wird kontrovers diskutiert. Die Versiegelungseigenschaften der Thermafil-Technik werden dadurch erklärt, dass die Adhäsion des Sealers AH Plus zum Kanalwanddentin mit bis zu 6,2 Mpa durch die Warmfülltechnik begünstigt wird (Gencoglu et al. 1993, Roggendorf 2006). Außerdem können seitliche Dentinkanälchen bei der Thermafil-Technik besser gefüllt werden als bei der lateralen Kondensationstechnik (Goldberg et al. 2001). Es gibt bei der Thermafil-Technik auch Kritikpunkte, die in dieser Studie bestätigt wurden. Die Beobachtung, dass Thermafil oft zum Überstopfen führt und der Kunststoffkern ohne Guttapercha oder Sealer frei der Kanalwand anliegt, wurde auch in anderen Studien beschrieben (Clark & El Deeb 1993,

Baumann 2005). Aus diesem Grund greift man oft zu anderen Alternativen, die auch gute Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen ermöglichen.

Die nach der klassischen lateralen Kondensationstechnik abgefüllten Wurzelkanäle zeigten innerhalb des Vergleiches der vorliegenden Studie die schlechtesten Ergebnisse, die wahrscheinlich auf die besondere Morphologie der Wurzelkanäle (ovale Querschnitte, Lakunen) zurückzuführen sind (Wu et al. 2001).

Die klassische laterale Kondensation gilt bis heute als Referenztechnik für vergleichende Studien neuer Wurzelfülltechniken. Mit Hilfe des Ni-Ti-Winkelstückspreaders als Modifikation des klassischen Spreaders konnte in der vorliegenden Studie eine Arbeitserleichterung beim Kondensieren von Guttapercha-Stiften erzielt werden.

Beim Vergleich der Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstests zwischen der Untergruppen (unterschiedliche Applikationsarten des Sealers) ergaben sich statistisch keine signifikanten Unterschiede. Im Rahmen dieser Untersuchung stellte sich jedoch heraus, dass die Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstest allgemein in der Untergruppe D (EZ-Fill) (Mittelwert 0,936) die besten und in der Untergruppe B (Masterpoint) (Mittelwert 1,4941) die schlechtesten waren. Die wichtige Eigenschaft der gegenläufigen EZ-Fill Spirale ist das praktisch vollständige Verhindern eines Überfüllens von Sealer über den Apex. Dies ermöglicht die Anwendung des EZ-Fills® bei fast allen Obturationstechniken (Musikant et al. 1999). Ramifikationen können mit dem EZ-Fill gut gefüllt werden, weil die gegenläufige Spirale die Paste auch seitlich „wegschleudert“ und die Kanalwände sehr nahe an der Füllspirale sind, so dass der Sealer auch in die Seitenkanäle gelangen kann. Dieser Effekt wird durch das Einbringen eines passenden Guttapercha-Stiftes noch verbessert (Buchanan 1998, Cohen et al. 1998). Dadurch wird die Haftungsfläche zwischen Wurzelkanalfüllungsmaterial und Wurzelkanalwand erheblich vergrößert. Diese wirkt sich steigernd auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung aus. So zeigte der Farbstoffpenetrationstest hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen die besten Ergebnisse in der Gruppe 1D (rotierende laterale

Kondensation und EZ-Fill). Die Penetration von Sealer in die Dentintubuli wurde durch den von dem Ni-Ti-Winkelstückspreader auf die Guttapercha-Stifte wirkenden Druck begünstigt. Außerdem gilt dieser Haftungsmechanismus zwischen Wurzelfüllungsmaterial und Wurzelkanalwand auch bei der Verwendung erwärmter Guttapercha, die durch die Erweichung ein Fließverhalten gewinnt, was es ermöglicht, in kleinere Räume einzudringen (Gencoglu et al. 1993, Goldberg et al. 2001). Die Ergebnisse des Farbstoffpenetrationstests bezüglich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen zeigten für die Gruppe 2D (Thermafil und EZ-Fill) sehr gute Mittelwerte, die die Aussagen der oben genannten Autoren auch bestätigen.

Die Gruppen 1B und 2B lieferten die schlechtesten Ergebnisse im Farbstoffpenetrationstest. Die Ursache für die schlechte Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen in diesen Gruppen im Vergleich zu anderen Gruppen (2A, 2C, 2D) konnte nicht geklärt werden.

Die Wurzelkanalfüllungen, die nach der klassischen lateralen Kondensationstechnik angefertigt wurden, zeigten gute Ergebnisse bezüglich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen bei Applikation des Sealer mit einem Lentulo (Gruppe 3C). Der Grund hierfür liegt wahrscheinlich in dem pumpenden Bewegungsmuster, mit dem der Lentulo den Sealer tief apikalwärts in den Hauptkanal und teilweise in die seitliche Dentinkanälchen verschiebt. Für den klinischen Alltag ist von Bedeutung, dass die Applikation des Sealer mit einem Lentulo bei einem zu weiten Foramen physiologicum oftmals zu Überfüllungen führt (Mayer et al. 2005). In einer von Agarwal & Jayalakshmi (2002) durchgeführten Untersuchung wurde ein Lentulo vor den K-Feilen und Ultrasonic-Feilen favorisiert, weil die Wurzelkanalfüllungen, die mit Hilfe dieser Applikationsmethode angefertigt waren, die beste Dichtigkeit aufwiesen. Die Unterschiede waren zwischen diesen drei Applikationsmethoden jedoch nicht signifikant. In einer früheren Studie von Wiedmann & Wilcox (1991) konnten auch keine signifikanten Unterschiede zwischen vier Applikationsmethoden festgestellt werden. Die Untersuchungen von Hall et al. (1996) haben diese Tatsache ebenso bestätigt.

Die Applikation des Sealers mit Hilfe der Papierspitze in der Gruppe 3 lieferte bezüglich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen die schlechtesten Ergebnisse. Das wird dadurch erklärt, dass der Wurzelkanaleingang zuerst mit Sealer benetzt wurde, während der weitere Kanal noch nicht mit dem Sealer versehen ist (Baumann 2001).

7.3. Schlussfolgerung

Ziel der vorliegenden Studie war es, die Eignung eines rotierenden, modifizierten Ni-Ti-Winkelstückspreaders, der in seiner Form einem konventionellen Spreader entspricht, im Vergleich zur konventionellen lateralen Kondensation und Thermafil-Wurzelfülltechnik zu untersuchen. Es wurden zwar keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen zwischen den drei untersuchten Obturationstechniken festgestellt, es konnte jedoch die Möglichkeit des erleichterten Kondensationsvorganges mit Hilfe dieses modifizierten Spreaders bei der rotierenden lateralen Kondensationstechnik im Vergleich zur klassischen lateralen Kondensation aufgezeigt werden. Dies dürfte im klinischen Alltag eine wesentliche Verbesserung der Arbeitsqualität bewirken.

Es wurde auch untersucht, ob die Applikationstechnik des Sealers die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen, die mit den drei verschiedenen Obturationstechniken angefertigt wurden, beeinflusst. Es konnte in der Tendenz aufgezeigt werden, dass die Kombination der rotierenden lateralen Kondensation mit Anwendung der EZ-Fill Spirale Vorteile hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen bringt. Allerdings konnte auf Grund der Dichtigkeitsergebnisse kein signifikanter Einfluss der Applikationsmethode auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen festgestellt werden.

Dem praktizierenden Endodontologen eröffnet die spezielle Applikationsmethode des Sealers mittels EZ-Fill neue Möglichkeiten zur Wurzelkanalfüllung. Jedoch soll anhand von

Nachuntersuchungen abgewartet werden, ob diese Applikationsmethode mit anderen Obturationstechniken kombinierbar ist.

8. Literaturverzeichnis

1. Abou-Rass M, Frank AL, Glick DH (1980) The anticurvature filing method to prepare the curved root canal. J Am Dent Assoc 110:792-794

2. Abou-Rass M, Oglesby SW (1981) The effects of temperature, concentration, and tissue type on the solvent ability of sodium hypochlorite. J Endod 7:376-77

3. Agarwal S, Jayalakshmi KB (2002) Comparative stereomicroscopic evaluation of three methods of sealer placement with and without obturating the root canals. J Endod 14:61-64

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. Alexander JB, Gordon TM (1985) A comparison of the apical seal produced by two calcium hydroxide sealers and a Grossman-type sealer when used with laterally condensed guttapercha. Quintessence Int 9:615-621

6. Al-Khatar N, Kunzelmann KH, Hickel R (1999) Dichtigkeit und Wandständigkeit verschiedener endodontischer Sealer in schmierschichtfreien Wurzelkanälen. Dtsch Zahnärztl Z 54:479-483

7. Allison DA, Weber CR, Walton RE (1974) The influence of the method of canal preparation on the quality of apical and coronal obturation. J Endod 5:298-304

8. Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM (1992) In vitro solubiliti of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. Endod Dent Traumatol 8:104-108

9. Attin T, Retting P, Hilgers RD, Hellwig E (1994) Die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen. Thermafil versus Zentralstifttechnik. Dtsch Zahnärztl Z 49:955-958

10. Attin T, Kielbassa AM, Lübke T, Schulte-Mönting J, Hellwig E (1996) Wurzelkanalfüllungen mit Glasionomerzement-Sealern. Acta Med Dent Helv 1:7-12

11. Barthel CR, Lösche GM, Zimmer S, Roulet JF (1994) Dye penetration in root canals filled with AH 26 in different consistencies. J Endod 20:436-439

12. Barthel CR, Noack MJ, Roulet JF (1994) Die Dichtigkeit von Ketac Endo und AH 26 in Abhängigkeit der Wurzelfülltechnik in vitro. Dtsch Zahnärztl Z 49:286-288

13. Barthel CR, Gruber S, Roulet JF (1999) Aufbereitung von Wurzelkanälen mit drei verschiedenen Aufbereitungssystemen in vitro. Dtsch Zahnärztl Z 54:474-478

14. Barthel-Zimmer R (2001) Untersuchungen zur Keimreduktion im Wurzelkanal. Med Diss, Volltext, Berlin

15. Baumann MA (2005) Obturation des Wurzelkanalsystems. Neue Techniken und Materialien. Quintessenz 56:1031-1041

16. Baumann MA (2003) FlexMaster. J Endod 3:6-11

17. Baumann MA (2001) Endodontie. Urban & Fischer, München Jena

18. Baumann MA (2001) Thermoplastische Wurzelkanalfüllung mit dem Thermafil-System. Quintessenz 52:351-357

19. Baumgartner JC, Braun C, Mader C, Peters D, Shulman J (1984) A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite and citric acid. J Endod 10:525-531

20. Beatty RG, Baker PS, Haddix J, Hart F (1989) The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apikal dye penetration. J Am Dent Assoc 119:633-637

21. Beatty RG, Vertucci FJ, Zakariasen KL (1986) Apikal sealing efficacy of endodontic obturation techniques. Int Endod J 19:237-241

22. Beatty RG, Zakariasen KL (1985) Apikal sealing efficacy of endodontic instrumentation and obturation techniques. J Dent Res 64:183 (Abstr. #76)

23. Beer R, Gängler P, Beer M (1986) In-vitro Untersuchungen unterschiedlicher Wurzelkanalfülltechniken und –materialien. Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 74:800-806

24. Beer R, Baumann MA (1997) Farbatlas der Endodontie. Thieme, Stuttgart

25. Beer R (1993) Maschinelle versus Handinstrumentierung des Wurzelkanals. ZWR 102:856-861

26. Beltz R, Torabinejad M, Pouresmail M (2003) Quantitative analysis of the solubilizing action of MTAD, sodium hypochlorite, and EDTA on bovine pulp and dentin. J Endod 29:334-337

27. Berry KA, Loushine RJ, Primack PD, Runyan DA (1998) Nickel-titanium versus stainless-steel finger spreaders in curved canals. J Endod 24:752-754

28. Bhambhani SM, Sprechman K (1994) Microleakage comparison of Thermafil versus vertical condensation using two different sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 78:105-108

29. Braun A, Schüttlöffel ME, Frentzen M (2003) Wurzelkanalbegradigung durch die Aufbereitung mit rotierenden NiTi-Systemen. Dtsch Zahnärztl 58:42-45

30. Brothman P (1981) A comparative study of the vertical and the lateral condensation of guttapecha. J Endod 7:27-30

31. Bruder M, Erdogan E, Schult A (2006) Materialien und Techniken zur Wurzelkanalfüllung – eine Übersicht. ZMK 22:114-118

32. Buchanan LS (1996) The Art of Endodontics. Files of Greater Taper. Dent Today:42-49

33. Burch JG, Hulen S (1972) The relationship of the apical foramen to the anatomic apex of the tooth root. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 34:262-268

34. Byström A, Sundqvist G (1985) The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. Int Endod J 18:35-40

35. Camps J, Pashley D (2003) Reliability of the Dye Penetration Studies. J Endod 9:592-594

36. Cantatore G (1998) Thermafil versus System B: differences, indications and limits of two popular obturation techniques. 4th Endodontic World Congress of the IFEA, Jerusalem

37. Chanteaux M, Baumann-Giedziella UA, Hellmich M, Baumann MA (2001) Cleaning and shaping efficiency of FlexMaster evaluated by SEM. Int Endod J 35:99 (Abstr. #60)

38. Chapman CE (1969) A microscopic study of the apical region of human anterior teeth. J Br Endod Soc 3:52-58

39. Chohayeb AA (1992) Comparison of conventional root canal obturation techniques with Thermafil obturators. J Endod 18:10-12

40. Clark DS, El Deeb ME (1993) Apical sealing ability of metal versus plastic carrier Thermafil obturators. J Endod 19:4-9

41. Clem WH (1969) Endodontics: the adolescent patient. Dent Clin North Am 13:483-493

42. Cohen S, Burns RC (1994) Pathway of the pulp. Mosby, St. Louis Baltimore Boston, 6. Aufl., 377-413

43. Cunningham WT, Balekjian AY (1980) Effect of temperature on collagen dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 49:175-177

44. Cvek M, Nord CE, Hollender L (1976) Antimicrobial effect of root canal debridement in teeth with immature root. A clinical and microbiologic study. Odont Revy 27:1-10

45. Dakin HD (1915) On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds. Brit Med J 2:318-320

46. Dakin HD (1916) The behavior of hypochlorites in intravenous infection and their action on blood serum. Brit Med J 1:852-854

47. Davies GE, Francis J, Martin AR, Rose FL, Swain G (1954) 1,6-Di-4`-chlorophenyldiguanidohexane (hibitane); laboratory investigation of a new antibacterial agent of high potency. Br J Pharmacol 9:192-196

48. De Almeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva SA (2000) Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. Int Endod J 33:25-27

49. D'Arcangelo C, Varvara G, De Fazio P (1999) An evaluation of the action of different root canal irrigants on facultative aerobic-anaerobic, obligate anaerobic, and microaerophilic bacteria. J Endod 25:351-353

50. De Cleen MJH, Schuurs AHB, Wesselink PR, Wu MK (1993) Periapical status and prevalence of endodontic treatment in an adult Dutch population. Int Endod J 26:112-119

51. De Moor RJ, De Bruyne MA (2004) The long-term sealing ability of AH 26 and AH Plus used with three gutta-percha obturation techniques. Quintessence Int 35:326-331

52. Diamond A, Carrel R (1984) The smear layer: a review restorative progress. J Pedod 8:219-226

53. Dickson SS, Peters DD (1993) Leakage evaluation with and without vacuum of halothane-dip vs laterally condensed gutta-percha fill techniques. J Endod 19:204 (Abstr. #4)

54. Dickson SS, Peters DD (1993) Leakage evaluation with and without vacuum of two gutta-percha fill techniques. J Endod 19:398-403

55. Douglas WH, Zakarieasen KL (1981) Volumetric assessment of apikal leakage utilizing a spectrophotometric, dye-recovery method. J Dent Res 60:434 (Abstr #512)

56. Dow PR, Ingle JI (1955) Isotope determination of root canal failure. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 8:1100-1104

57. Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM, Walton RE (1994) Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer. J Endod 20:78-82

58. Dummer PM, McGinn JH, Rees DG (1984) The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. Int Endod J 17:192-198

59. Dummer PM, Kelly T, Meghji A, Sheikh I, Vanitchai JT (1993) An in vitro study of the quality of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. J Endod 26:99-105

60. Dummer PM, Lyle L, Rawle J, Kennedy JK (1994) A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. Int Endod J 27:32-38

61. Ebert J, Loeffler T, Zels H, Petschelt A (1999) Sealing ability of roekoseal-automix under different conditions. J Dent Res 78:320 (Abstr. #1715)

62. Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S (2003) The effect of smear layer on shear bond strength of resin based endodontic sealer to dentin. ESE 2003. Int Endod J (in press), (Abstr.)

63. Emilson CG (1977) Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine. Scand J Dent Res 85:255-65

64. European Society of Endodontics (1994) Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung. Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontie. J Endod 3:263-276

65. Facer SR, Walton RE (2003) Intracanal distribution patterns of sealers after lateral condensation. J Endod 29:832-834

66. Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S (2004) Treatment outcome in endodontics - the Toronto Study. Phase II: Initial treatment. J Endod 30:302-309

67. Foulkes DM (1973) Some toxicological observations of chlorhexidine. J Periodontol Res 8:55-57

68. Gatot A, Peist M, Mozes M (1989) Endodontic overextension produced by injected thermoplasticized gutta-percha. J Endod 15:273-4

69. Gäbler S, Neise E, Eckelt U (2000) In vitro study on leakage in extracted teeth filled with Thermafil prior and following apicactomy. Oral Maxillofac Surg 1:27-32

70. Gencoglu N, Garip Y, Bas M, Samani S (2002) Comparison of different gutta-percha root filling techniques: Thermafil, Quick-Fill, System B, and lateral condensation. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 93:333-6

71. Gencoglu N, Samani S, Gunday M (1993) Dentinal wall adaptation of thermoplasticized gutta-percha in the absence or presence of smear-layer: a scanning electron microskopic study. J Endod 19:558-562

72. Georgopoulou MK, Wu MK, Nikolaou A, Wesselink PR (1995) Effect of thickness on the sealing ability of some root canal sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 80:338-344

73. Gettleman BH, Messer H, ElDeeb M (1991) Adhesion of sealer cement to dentin with and without the smear layer. J Endod 17:15-20

74. Gilhooly RM, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM (2000) Comparison of cold lateral condensation and a warm multiphase gutta-percha technique for obturating curved root canals. Int Endod J 33:415-420

75. Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH (1982) Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. J Endod 8:550-4

76. Goldberg F, Massone EJ, Artaza LP (1995) Comparison of the sealing capacity of three endodontic filling techniques. J Endod 21:1-3

77. Goldberg F, Artaza LP, de Silvio A (2001) Effectivveness of different obturation techniques in the filling of simulated lateral canals. J Endod 27:362-364

78. Goldman M, Sommonds S, Rush R (1989) The usefulness of dye-penetration studies reexamined. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 67:327-332

79. Greene HA, Wong M, Ingram TA (1990) Comparison of the sealing ability of four obturation techniques. J Endod 9:423-428

80. Gressmann G, Hülsmann M (2001) Automated root canal preparation using the FlexMaster-NiTi-System. J Endod 10:227-242

81. Gressmann G, Hülsmann M, Schäfers F (2002) A comparative study of FlexMaster and Hero 642 rotary nickel-titanium instruments. Int Endod J 35:97 (Abstract #52)

82. Griesinger HR, Hannig M, Albers HK (1995) Erfolgreiche Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle - Die korono-apikale Technik. Zahnärztl Welt 102:842-850

83. Guigand M, Glez D, Sibayan E, Cathelineau G, Vulcain JM (2005) Comparative study of two canal obturation techniques by image analysis and EDS microanalysis. Br Dent J 198:707-711

84. Gulabilava K, Holt R, Long B (1998) An in vitro comparison of thermoplasticized gutta-percha obturation techniques with cold lateral condensation. Endod Dent Traumatol 14:262-269

85. Guldener PHA, Langeland K (1993) Endodontologie. Georg Thieme, Stuttgart New York

86. Gutmann JL (1993) Adaption of injected thermoplasicized gutta-percha in the absence of the smear layer. Int Endod J 26:87-92

87. Gutmann JL (1995) Problem solving in endodontic working-length determination. Comp Cont Educ Dent 16:288-302

88. Habl C, Bodenwinkler A, Stürzlinger H (2005) Wurzelkanalbehandlung an Molaren. HTA-Bericht 18

89. Haddix JE, Jarell K, Mattison GD, Pink FE (1991) An in vitro investigation of the apical seal produced by a new thermoplasticized gutta-percha obturation technique. Quintessence Int 22:159-163

90. Haight Ponce E, Endo H, Horiuchi H (1999) Endotoxin activity measured by limulus assay. Endod Dent Traumathol 15:109-112

91. Hall MC, Clement DJ, Dove SB, Walker W (1996) A comparison of sealer placement techniques in curverd canals. J Endod 22:638-42

92. Hannig M (2003) In-vitro Untersuchung von vier Wurzelkanalfüllmethoden bei unterschiedlicher Konizität der Aufbereitung. Med Diss, Marburg

93. Hata G, Kawazoe S, Toda T, Weine FS (1995) Sealing ability of thermoplasticiized gutta-percha fill techniques as assessed by a new method of determining apical leakage. J Endod 21:167-172

94. Haupt E, Gäbler S, Eckelt U (2002) Intraoperative Wurzelkanalfüllung mit Thermafil. Quintessenz 53:447-451

95. Heidemann D (1989) Die Wurzelfüllung - manuell - maschinell. Dtsch Zahnärztl Z 44:414-416

96. Heidemann D (2001) Endodontie – Praxis der Zahnheilkunde. Urban & Fischer; München Jena

97. Hellwig E, Klimek J, Attin T (1995) Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Schwarzenberg, Münche Wien Baltimore

98. Hör D, Hannig M (2003) Endo-newsletter Thema: Spüllosung

99. Hör D, Attin T (2004) The accuracy of electronik working length determination. Int Endod J 37:125-131

100. Holcomb JQ, Pitt DL, Nicholls JI (1987) Furthes investigation of spreader load required to cause vertical root canal fractures durung lateral condensation. J Endod 13:277-284

101. Horning TG, Kessler JR (1995) A comparison of three different root canal sealers when used to obdurate a moisture-contaminated root canal cements. J Endod 21:345-347

102. Hoppe W, Schäfer E, Tepel J (1993) Instrumentarium und Konzept für die manuelle Wurzelkanalaufbereitung. Zahnärztl Welt 102:764-771

103. Hülsmann M (1991) Die Wurzelkanalfüllung: Materialien und Techniken. Zahnärztl Mitt 81:872

104. Hülsmann M, Meiert I (1994) Apikale Dichtigkeit thermoplastischer Wurzelkanalfüllungen. Dtsch Zahnärztl Z 49:507-511

105. Hülsmann M (1995) Die Wurzelkanalfüllung mit Silberstiften. J Endod 5:49-62

106. Hülsmann M (1997) Die Wurzelkanalspülung – Ziele, Mittel, Techniken. J Endod 1:47-62

107. Hülsmann M (2002) Die Wurzelkanalpräparation – manuell oder maschinell ? Hessisches Zahnärzte Magazin 10:18-27 (2002).

108. Ishley DJ, elDeeb ME (1983) An in vitro assessement of the quality of apical seal of thermomechanically obturated canals with and without sealer. J Endod 9:242-5

109. Jacobsen EL, Shugars KA (1990) The sealing efficacy of a zinc oxide-eugenol cement, a cyanoacrylate, and a cavity varnish used as a root canal cements. J Endod 16:516-519

110. Johnson WB (1978) A new gutta-percha technique. J Endod 4:184-188

111. Juhlin JJ, Walton RE, Dovgan JS (1993) Adaptation of Thermafil components to canal walls. J Endod 19:130-5

112. Jung C, Baumann MA, Hilgers RD (1999) Apical leakage of Thermafil versus lateral condensation after treatment with ProFile .04. J Dent Res 78:533 (Abstr. #3423)

113. Karagös-Kücükay I, Karagös-Kücükay S, Bayirli G (1993) Factors affecting apical leakage assessment. J Endod 19:362-365

114. Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO (2003) An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system. J Endod 29:658-661

115. Kennedy WA, Walker WA, Gough RW (1987) Smear layer removal effects on apical leekage. J Endod 12:21-27

116. Kersten HW, Moorer WR (1989) Particles and molecules in endodontic leakage. Int Endod J 22:118-124

117. Koçkapan C (1995) Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung - Eine Übersicht. J Endod 4:33-48

118. Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR (1997) Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study. Int Endod J 30:307-312

119. Kos WL, Anlozzi DP, Gerstein H (1982) A comparative bacterial microleakage of refilling materials. J Endod 8:355-358

120. Kröncke A (1981) Die Aufbereitung des Wurzelkanals als Voraussetzung für die Applikation des Füllmaterials. Dtsch Zahnärztl Z 36:201-207

121. Kuttler Y (1955) Microscopic investigation of root apexes. J Am Dent Assoc 50:544-552

122. Kuttler Y (1979) Analysis and comparison of root canal filling techniques. Oral Surg Oral Med Oral Path 48:153-159

123. La Combe JS, Campbell AD, Hichs ML, Pellen B (1988) A comparison of the apical seal produced by two thermoplasticized injectable gutta-percha techniques. J Endod 14:445-450

124. Lares C, elDeeb ME (1990) The sealing ability of the Thermafil obturation technique. J Endod 16:474-479

125. Limkangwalmongkol S, Abott PV, Sander AB (1992) Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning. J Endod 18:535-539

126. Lussi A, Imwinkelried S, Stich H (1999) Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology. Int Endod J 32:17-23

127. Lutz M, Klimek J, Hellwig E (1986) Vergleich thermomechanischer und konventioneller Wurzelfülltechniken. Dtsch Zahnärztl Z 41:788-791

128. Machnick TK, Torabinejad M, Munoz CA, Shabahang A (2003) Effect of MTAD on flexural strength and modulus of elasticity of dentin. J Endod 29:747-750

129. Machnick TK, Torabinejad M, Munoz CA, Shabahang A (2003) Effect of MTAD on the bond strength to enamel and dentin. J Endod 29:818-821 M. Hülsmann, Göttingen.

130. Mann SR, Mc Walter GM (1987) Evaluation of apical seal and placement control in straight and curved canals obturated by laterally condensed and thermoplasticized gutta-percha. J Endod 13:10-17

131. Master J, Higa R, Torabinejad M (1995) Effects of vacuuming on dye penetration patterns in root canals and glass tubes. J Endod 21:332-334

132. Matloff JR, Jensen JR, Singer L, Tabibi A (1982) A comparison of methods used in root canal sealabitity studies. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 53:203-208

133. Mayer B, Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R (2005) Influence of sealer placement on apical extrusion of two root canal sealers. Int Endod J 38:928-929

134. McMichen FR, Pearson G, Rahbaran S, Gulabivala K (2003) A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers. Int Endod J 36:629-635

135. McMurtrey LG, Krell KV, Wilcox LR (1992) A comparison between Thermafil and lateral condensation in highly curved canals. J Endod 18:68-71

136. Möller AJR, Fabricius L, Dahlen G, Öhman AE, Heyden G (1981) Influence of periapical tissues of indigenous oral bacteria and necrotic pulp tissue in monkeys. Scand J Dent Res 89:475-84

137. Morgan LF, Montgomery F (1984) An avaluation of the crown-down pressureless technique. J Endod 10:491-498

138. O´Connell MS, Morgan LA, Beeler WJ, Baumgartner JC (2000) A comparative study of smear layer removal using different salts of EDTA. J Endod 26:739-743

139. Oksan T, Aktener W, Sen B, Tezel H (1993) The penetration of root canal sealers into dentinal tubules. A scanning electron microscopic study. Int Endod J 26:301-305

140. Orstavik D, Mjör IA (1988) Histopathologic and X-ray microanalysis of the subcutaneous tissue response to endodontic sealers. J Endod 14:13-22

141. Pallares A, Faus V (1995) A comparative study of the sealing ability of two root canal obturation techniques. J Endod 21:449-450

142. Palmer MJ, Weine FS, Haeley HJ (1971) Position of the apical foramen in relation to endodontic therapy. J Can Dent Assoc 8:305-308

143. Petschelt A, Oberschachtsiek H (1985) Über die Schmierschicht ("Smear-Layer") nach der Wurzelkanalaufbereitung (REM-Untersuchung). Dtsch Zahnärztl Z 40:845-849

144. Petschelt A, Stumpf B, Raab W (1987) Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit und ohne Schmierschicht („Smear -Layer"). Dtsch Zahnärztl Z 42:743-746

145. Pitt Ford TR (1979) The leakage of root fillings using glass ionomer cement and other materials. Brit Dent J 146:273-278

146. Porkaew P, Retief H, Barfield RD, Lacefield WR, Soong SJ (1990) Effect on calcium hydroxide paste as an intracanal medicament on apikal seal. J Endod 16:369-374

147. Roane JB, Sabala CL, Duncason MG (1985) The „balanced force“ concept for instrumentation of curved canals. J Endod 11:203-11

148. Robertson DC, Leeb JJ (1996) A clearing technique for the study of root canal system. J Endod 6:421-424

149. Roggendorf MJ (2006) AH Plus und AH Plus Jet in der praktischen Anwendung. ZMK 22:144-145

150. Roggendorf M, Ebert J, Frankenberger R, Petschelt A (2003) Apical leakage and sealer extrusion folllowing seven different methods of sealer placement. Int Endod J 36:941 (Abstr. #62)

151. Sachs W (1893) Bericht über die Abteilung für Zahnfüllung des zahnärztlichen Instituts der Königl. Universität Breslau. Dtsch Monatsschr Zahnheilk 11:271-281

152. Schäfer E (1998) Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz: Schneideleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte. Quintessenz, Berlin

153. Schäfer E, Zapke K (1999) Vergleichende rasterelektronmikroskopische Untersuchung manuell und maschinell aufbereiteter Wurzelkanäle. Dtsch Zahnärztl Z 54:551-558

154. Schäfer E, Lohmann D (2001) Efficiency and cleaning effectiveness of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofiles. Int Endod J 35:98 (Abstr. #56)

155. Schäfer E, Lohmann D (2002a) Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. Int Endod J 35:505-513

156. Schäfer E, Lohmann D (2002b) Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severly curved root canals of extrakted teeth. Int Endod J 35:514-521

157. Schäfer E, Olthoff G (2002) Effect of thee different sealer on the sealing ability of both thermafil obturators and cold laterally compacted Gutta-Percha. J Endod 28:638-642

158. Schäfer E, Zandbiglari T (2003) Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. Int Endod J 36:660-669

159. Schäfer E, Schlingemann R (2003) Efficiency of rotary nickel-titanium K3 instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. Int Endod J 36:208-217

160. 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

161. Schilder H (1967) Filling root canals in three dimension. Dent Clin North Am 11:723-744

162. Schilder H, Goodman A, Aldrich W (1985) The thermomechanical properties of gutta-percha. Part V. Volume changes in bulk guttapercha as a funktion of temperature and its relationship to molekular phase transformation. Oral Surg Oral Med Oral Path 59:285-296

163. Schroeder A (1954) Mitteilungen über die Abschlussdichtigkeit von Wurzelfüllmaterialien und erster Hinweis auf ein neuartiges Wurzelfüllmittel. Schweiz Monatsschr Zahnheilk 64:921

164. Schroeder A (1981) Endodontie. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Quintessenz, Berlin

165. Seltzer S (1988) Endodontology, Biologic Consideration in Endodontic Prozedures, 2nd ed. Lea&Felbiger, Philadelphia

166. Shipper G, Orstavik D, Teixeira FB, Trope M (2004) An evaluation of microbial leakage in roots filled with a thermoplastic synthetic polymerbased root canal filling material (Relision). J Endod 30:342-347

167. Shabahang S, Pouresmail M, Torabinejad M (2003) In vitro antimicrobial effiacy of MTAD: and sodium hypochlorite. J Endod 29:450-452

168. Shabahang S, Torabinejad M (2003) Effect of MTAD on Enteroccoccus faecalis-contaminated root canals of extracted human teeth. J Endod 29:576-579

169. Sigurdson A, Stancill R, Madison S (1992) Intracanal placement of $Ca(OH)_2$:a comparison of techniques. J Endod 18:367-370

170. Siqueira JF Jr, Rôças IN, Favieri A, Lima KC (2000) Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2,5% and 5,25% sodium hypochlorite. J Endod 26:331 – 334

171. Slaus G, Vandewijngaert S, Bittenberg P (2001) Qualitätskontrolle von Wurzelkanalfüllungen. Eine in vitro-Studie. Dtsch Zahnärztl Z 56:177-180

172. Smith DW, Wong M (1992) Comparison of apical leakage in theeth obturated with a polyamide varnish or zinc oxide and eugenol cement using lateral condensation. J Endod 18:25-27

173. Sonntag D (2003) Schneidengeometrie und Effizienz voll rotierender Nickel-Titan-Feilen. J Endod 12:229-242

174. Sonntag D, von Abendroth N, Stachniss V (2005) Wurzelkanalaufbereitung mit NiTi-FlexMaster- und M-File-Instrumenten. Dtsch Zahnärztl 60:268-274

175. Spangberg LSW, Acierno TG, Youblum CB (1989) Influence of entrapped air on the accuracy of leakage studies using dye penetration methods. J Endod 15:548-551

176. Spradling R, Senia ES (1982) The relative sealing ability of pastetype filling materials. J Endod 8:543-549

177. Starkey DL, Anderson RW, Pashley DL (1993) An evaluation of the effect of methylene blue dye pH on apical leakage. J Endod 19:435-9

178. Stellungnahme der DGZMK/DGZ (2000) Wurzelkanalfüllpasten und –füllstifte. Dtsch Zahnärztl Z 55:9

179. Stewart G, Cobe H, Rappaport H (1961) A study of a new medicament in the chemomechanical preparation of infected root canals. J Am Dent Assoc 63:33-7

180. Stewart G, Kapsimalas P, Rappaport H (1969) EDTA and urea peroxide for root canal preparation. J Am Dent Assoc 78:335-338

181. Strindberg LZ (1956) The dependence of the results of pulp therapy on certain Factors; an Analytic study Based on Radiografphic and Clinical Follow-up Examination. Acta Odontol Scand 14, Supp. 21, Stockholm

182. Tagger M, Tamse A, Katz A (1983) An improved method of three dimensional study of apical leakage. Quint Int 10:981-6

183. Tepel J (1998) Experimentelle Untersuchungen zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung. Dtsch Zahnärztl Z 53:101-113

184. Teixeira FB, Teixeira ECN, Thompson JY, Trope M (2004) Fracture Resistance of endodontically treated roots using a new type of filling material. J Am Dent Assoc 135:646-652

185. The SE, Maltha JC, Plasscaert AJM (1980) Reactions of guinea pig subcutaneous connective tissue following exposure to sodium hypochlorite. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 49:460-466

186. The SD (1979) The solvent action of sodium hypochlorite on fixed and unfixed necrotic tissue. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 47:558 – 561

187. Thoden van Velzen SK, Genet JM, Kersten HW, Moorer WR, Wesselink PR (1988) Endodontie. Deutscher Ärzte Verlag, Köln

188. Torabinejad M, Cho Y, Khademi A, Bakland L, Shabahang S (2003) The effect of various concentrations of sodium hypochlorite on the ability of MTAD to remove the smear layer. J Endod 29:233-239

189. Torabinejad M, Khademi A, Babagoli J, Cho Y, Johnson WB, Bozhilov K, Kim J, Shabahang S (2003) A new solution for the removal of the smear layer. J Endod 29:170-175

190. Torabinejad M, Shabahang S, Aprecio RM, Kettering JD (2003) The antimicrobial effect of MTAD: an in vitro investigation. J Endod 29:400-403

191. Torabinejad M, Skobe Z, Trombly PL, Krakow AA, Gron P, Marlin J (1978) Scanning electron microskopic study of root canal obturation using thermoplasticized gutta-percha. J Endod 4:245-250

192. Turpin YL, Chagneau F, Vulcain JM (2000) Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models. J Endod 26:414-419

193. Unverdorm D, Petschelt A, Hickel R (1992) Dichte von Wurzelkanalfüllungen. Dtsch Zahnärztl Z 47:486-489

194. Van de Voorde HE, Bjoerndahl AM (1969) Estimating endodontic „working length“ with paralleling radiographs. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 27:106-110

195. Weiger R, ElAyouti A, Brückner M, Löst C (2002) Preparation of curved root canals with rotary FlexMaster instruments. Int Endod J 35:98 (Abstr. #58)

196. Weine FS (1995) Canal filling with semosolid materials. in: Weine FS.: Endodontie therapie. Mosby, St. Louis, 423-477

197. Weine FS (1996) Controversies in clinical endodontics. The significance and filling of lateral canals. Compendium 17:1028-1044

198. Weine FS (1997) Controversies in clinical endodontics, Filling from the open position. Compendium 18:906-918

199. Weine FS (1995) Endodontic therapy. Mosby, St. Louis-Toronto

200. Weis MV, Parashos P, Messer HH (2004) Effect of obturation on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration. Int Endod J 37:653-663

201. Wennberg A (1980) Biological ealuation of root canal antiseptics using in vitro and in vivo methods. Scand J dent Res 88:46-52

202. Wesselink PR (1995) Die Wurzelkanalfüllung. J Endod 4:181-192

203. White RE, Janer LR, Hays GL (1999) Residual antimicrobial activity associated with a chlohexidine endodontic irrigant used with sodium hypochlorite. Am J Dent 12:148-50

204. Wiemann AH, Wilcox LR (1991) In vitro evaluation of four methods of sealer placement. J Endod 17:444-447

205. Wiener BH, Schilder H (1971) A comparative study of important physical properties of various root canal sealers. II. Evaluation of dimensional changes. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 32:928-937

206. Wong M, Peters DD, Lorton L (1981) Comparison of guttapercha filling techniques, compaction (mechanical), vertical (warm) and lateral condensation techniques. Part 1. J Endod 7:551-60

207. Wong M, Peters DD, Lorton L, Bernier WE (1982) Comparison of guttapercha filling techniques: three chloroform-guttapercha filling techniques. Part 2. J Endod 8:4-9

208. Wu MK, de Gee AJ, Wesselink PR (1994) Leakage of four root canal sealers at different thicknesses. Int Endod J 27:304-308

209. Wu MK, Kastakova A, Wesselink PR (2001) Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars. Int Endod J 34:485-491

210. Wu MK, Wesselink PR, Boersma J (1995) A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. Int Endod J 28:185-189

211. Wu MK, Wesselink PR (1993) Endodontic leakage studies reconsidered. Part 1. Methodology, applikation and relevance. Int Endod J 26:37-43

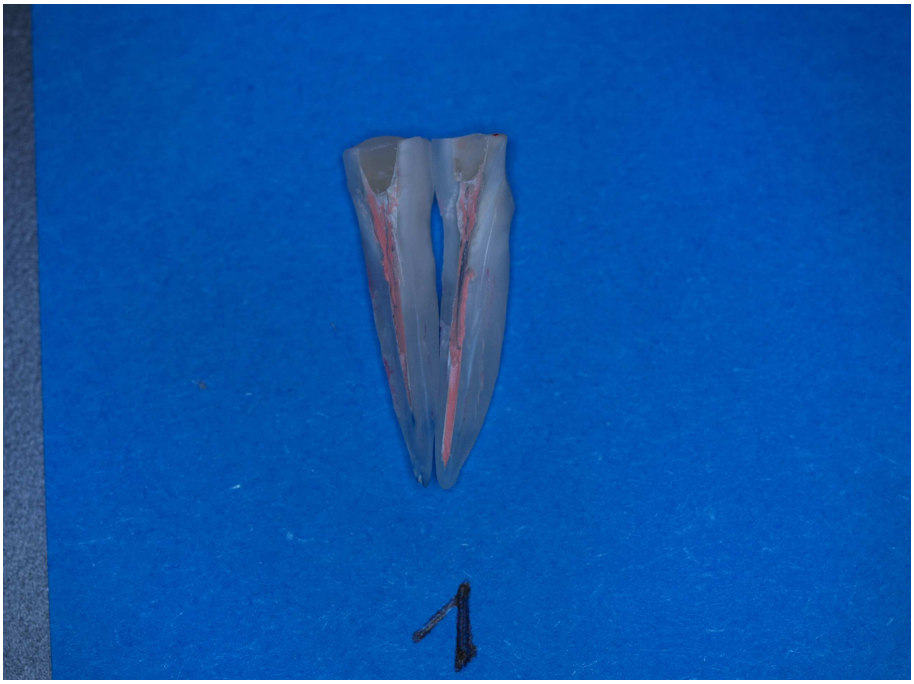
212. Yared MG, Chanine TI, Bou-Dagher FE (1992) Master cone apical behaviour under in vitro compaktion. J Endod 18:318-321

213. Youngson CC, Nattress BR, Manogue M, Speis AF (1995) In vitro radiographic representation of the extent of voids withhin obturated root canals. Int Endod J 28:77-81

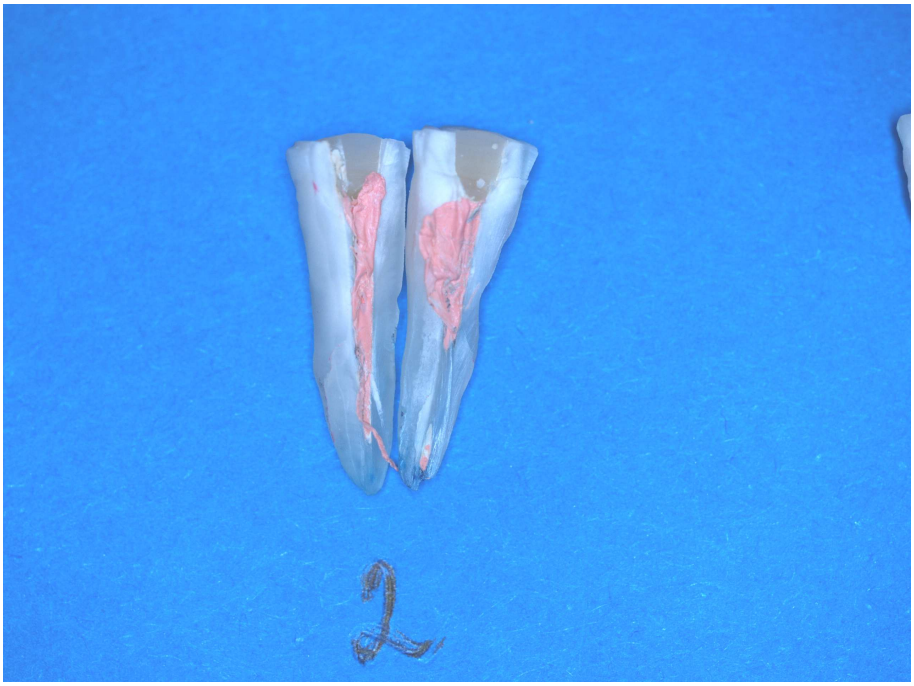
214. Zhang W, Torabinejad M, Li Y (2003) Evaluation of Cytotoxicity of MTAD using the MTT-tetrazolium method. J Endod 29:654-657

9. Anhang

9.1. Spaltpräparate (rotierende laterale Kondensation)

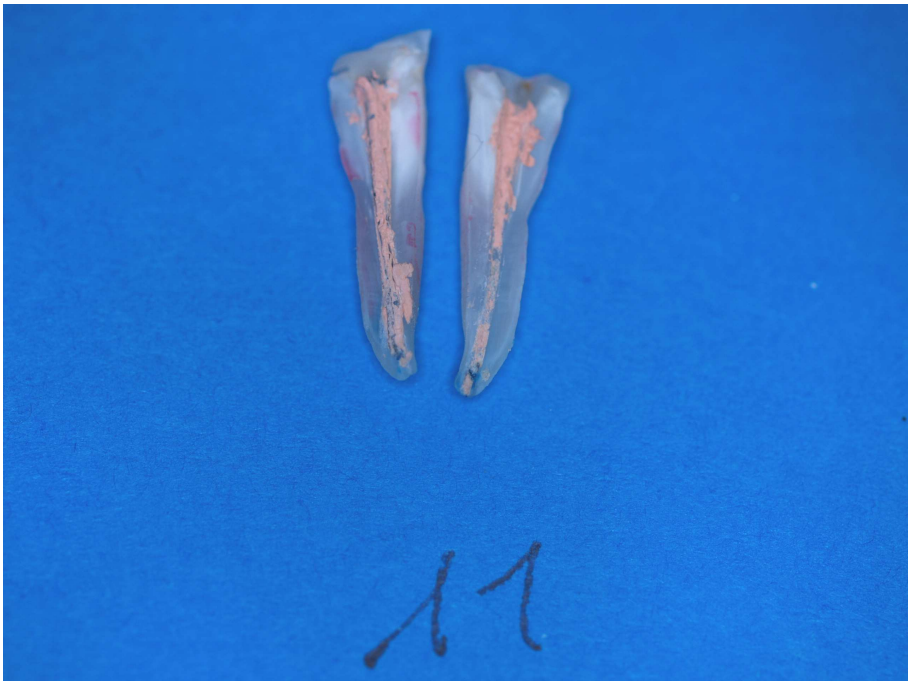


Spaltpräparat nach der Farbstoffpenetration, Versuchsgruppe 1D (Zahn Nr. 1), keine Farbpenetration der Wurzelfüllung und des angrenzenden Dentins.

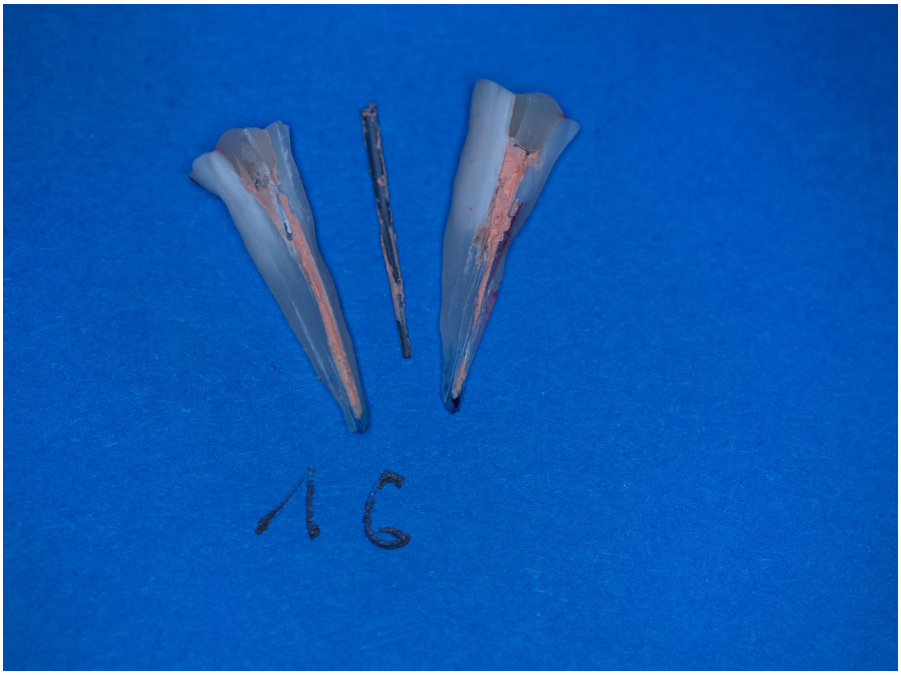


Spaltpräparat nach der Farbstoffpenetration, Versuchsgruppe 1D (Zahn Nr. 2), keine Farbpenetration der Wurzelfüllung und des angrenzenden Dentins.

9.2. Spaltpräparate (Thermafil)

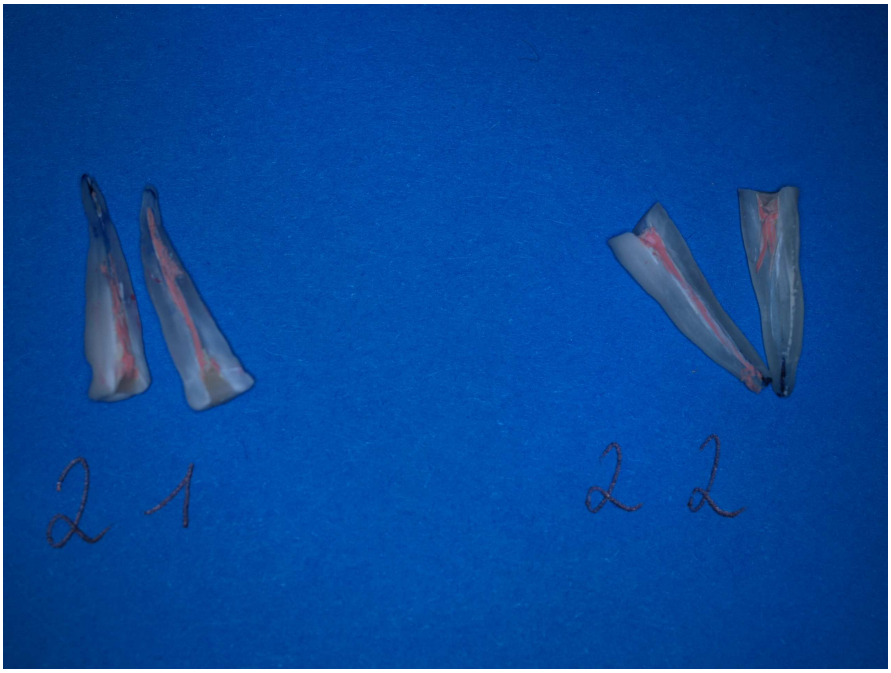


Spaltpräparat nach der Farbstoffpenetration, Versuchsgruppe 2D (Zahn Nr. 11), keine Farbpenetration der Wurzelfüllung und des angrenzenden Dentins.

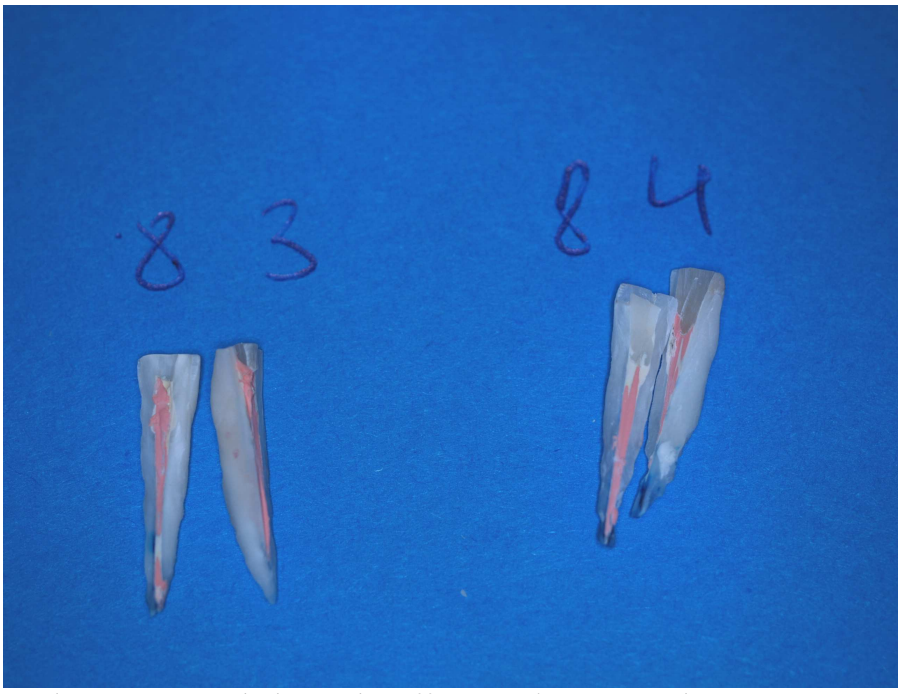


Spaltpräparat nach der Farbstoffpenetration, Versuchsgruppe 2D (Zahn Nr. 16), der gelöste Wurzelkanalstift, keine Farbpenetration der Wurzelfüllung und des angrenzenden Dentins.

9.3. Spaltpräparate (klassische laterale Kondensation)

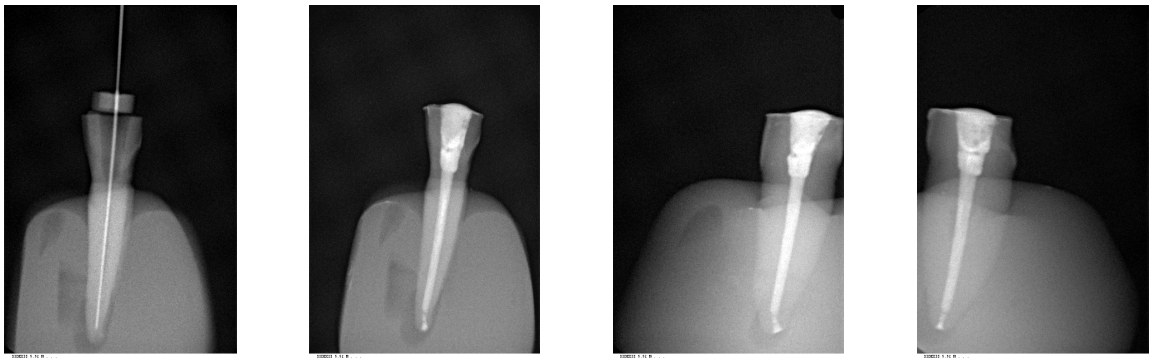


Spaltpräparate nach der Farbstoffpenetration, Versuchsgruppe 3D (Zähne Nr. 21, 22), leichte Penetration des Wurzelzements, keine Farbpenetration der Wurzelfüllung und des angrenzenden Dentins.

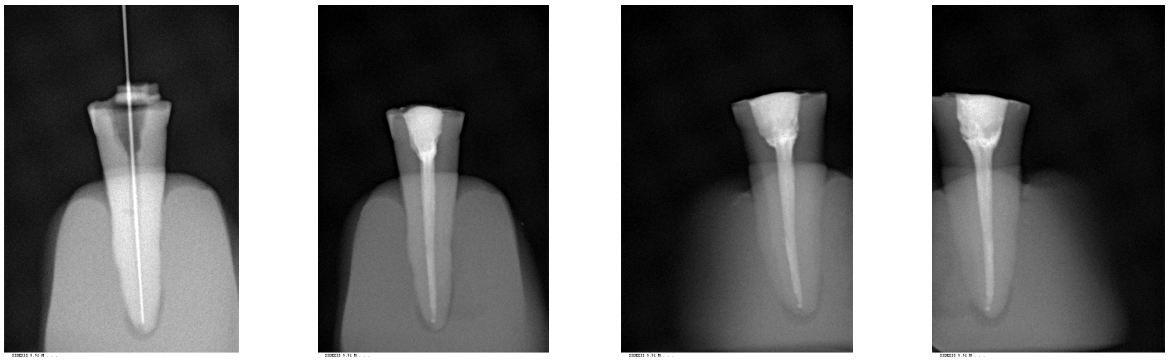


Spaltpräparate nach der Farbstoffpenetration, Versuchsgruppe 3A (Zähne Nr. 83, 84), keine Farbpenetration der Wurzelfüllung und des angrenzenden Dentins.

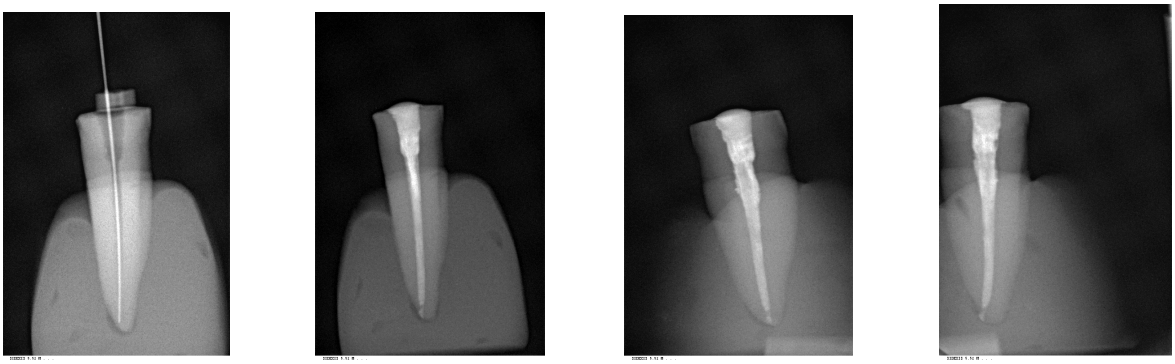
9.4. Röntgenbilder (rotierende laterale Kondensation)



Zahn 1: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)

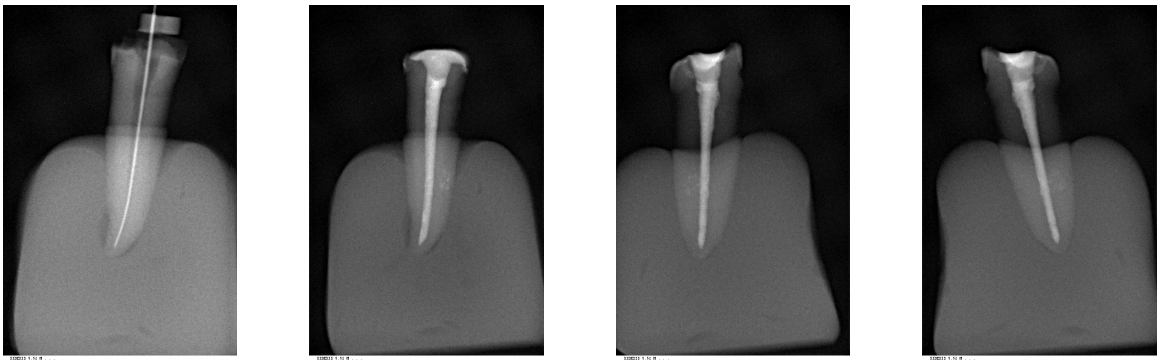


Zahn 2: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)

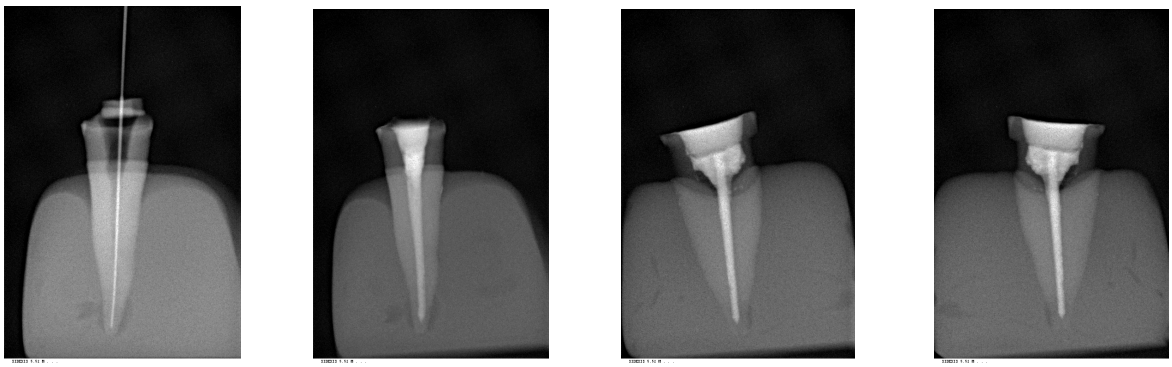


Zahn 3: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)

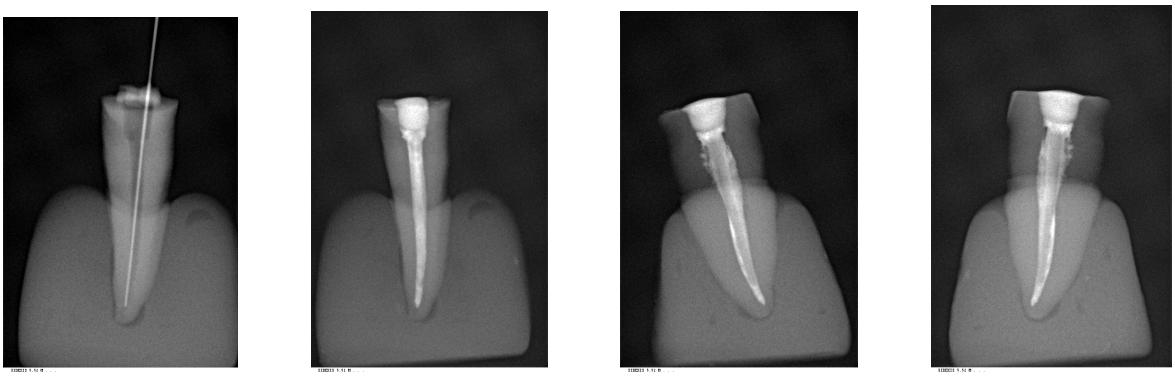
9.5. Röntgenbilder (Thermafil)



Zahn 11: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)



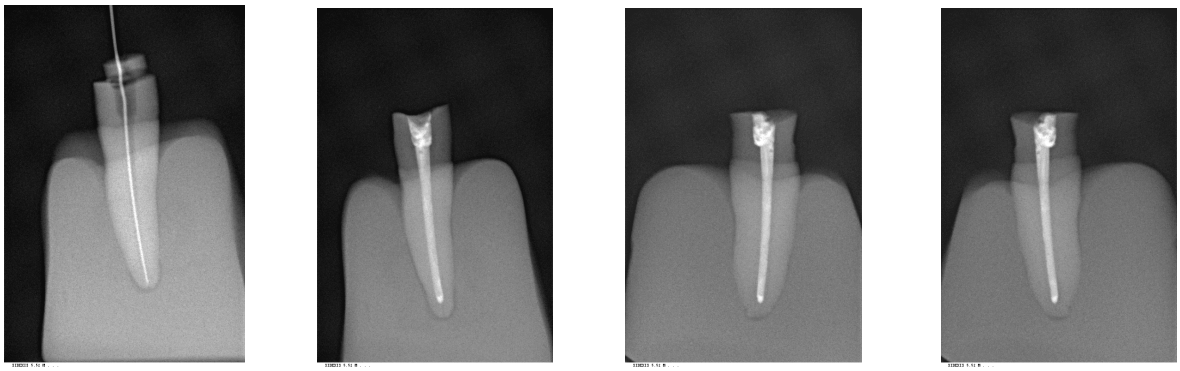
Zahn 12: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)



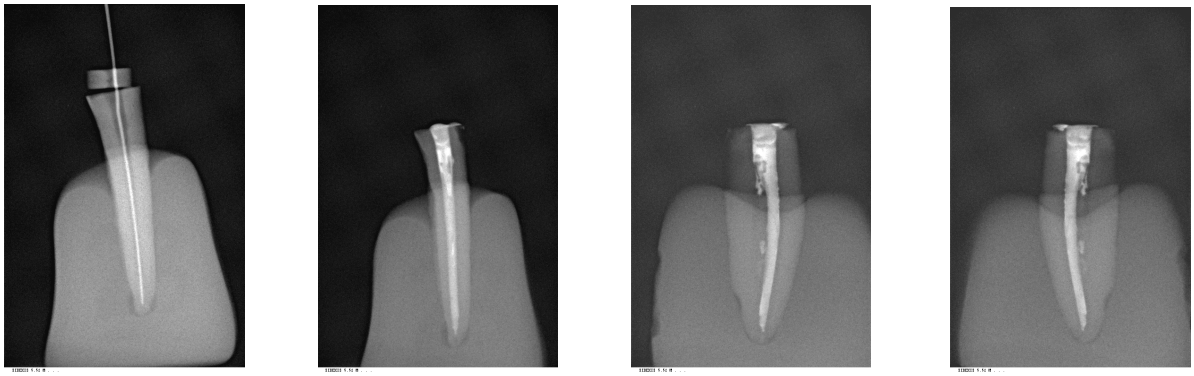
Zahn 13: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)

9.6. Röntgenbilder (klassische laterale Kondensation)

Zahn 21: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)



Zahn 22: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)



Zahn 23: Meßaufnahme, Kontrollaufnahmen (vetibulo-orale, mesio-distale, disto-mesiale Strahlenrichtungen)

9.7. Ergebnisse der spektralphotometrischen Messungen (Relativwerte)

	Lat. Kondensation rotierend							
	Zähne	Papierspitze	Zähne	Masterpoint	Zähne	Lentulo	Zähne	EZ-Fill
	51	0,666	31	0,522	61	0,109	1	0,154
	52	0,532	32	0,542	62	0,267	2	0,306
	53	0,189	33	0,305	63	0,763	3	0,196
	54	0,268	34	0,202	64	0,634	4	0,148
	55	0,149	35	0,493	65	0,31	5	0,16
	56	0,416	36	0,623	66	0,247	6	0,23
	57	0,186	37	1,207	67	0,125	7	0,52
	58	0,089	38	0,222	68	2,091	8	0,208
	59	0,245	39	0,186	69	0,34	9	0,244
	60	1,43	40	1,248	70	0,212	10	0,14
Gesamtwert		4,17		5,55		5,098		2,306
Mittelwert		**0,417**		**0,555**		**0,5098**		**0,2306**
	Thermafil							
	101	0,816	91	0,972	111	0,153	11	0,191
	102	0,129	92	0,289	112	0,116	12	0,163
	103	0,115	93	0,195	113	0,191	13	0,259
	104	0,291	94	0,341	114	0,189	14	0,249
	105	0,298	95	0,296	115	0,183	15	0,395
	106	0,185	96	0,205	116	1,537	16	0,185
	107	0,414	97	0,305	117	0,101	17	0,284
	108	0,202	98	0,351	118	0,339	18	0,173
	109	0,145	99	0,366	119	0,516	19	0,158
	110	0,351	100	1,156	120	0,701	20	0,28
Gesamtwert		2,946		4,476		4,026		2,337
Mittelwert		**0,2946**		**0,4476**		**0,4026**		**0,2337**
	Lat. Kondensation Fingerspreader							
	81	0,218	41	0,114	71	0,489	21	0,424
	82	0,182	42	0,18	72	0,16	22	0,542
	83	0,177	43	0,152	73	1,493	23	0,179
	84	0,252	44	0,246	74	0,295	24	0,736
	85	0,379	45	0,634	75	0,195	25	0,562
	86	0,269	46	0,132	76	0,082	26	0,351
	87	0,282	47	2,136	77	0,084	27	0,21
	88	0,668	48	1,022	78	0,237	28	0,491
	89	2,362	49	0,142	79	0,137	29	0,687
	90	1,063	50	0,157	80	0,642	30	0,535
Gesamtwert		5,852		4,915		3,814		4,717
Mittelwert		**0,5852**		**0,4915**		**0,3814**		**0,4717**

10. Danksagung

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

Bei Herrn Dr. Hör bedanke ich mich für seine Hilfe bei der Durchführung der experimentellen Aufgabestellung.

Ebenfalls danke ich Herrn Dr. Al Marrawi für die großzügige und unermüdliche Betreuung bei der statistischen Auswertung.

Herzlichen Dank auch an die Zahnärzte, die mich bei der Sammlung der extrahierten Zähne unterstützt haben.

Herrn Dr. Hahn gilt mein Dank für die kollegiale Unterstützung.

Bei Frau Katarius, Biochemie Uniklinik Homburg, bedanke ich mich für Ihre Hilfe bei der Durchführung der Farbstoffpenetrationsanalyse.

Für den lieben Beistand und die vielen motivierenden Worte danke ich meiner Frau, Alina Weber, besonders herzlich.

Bei meinen Eltern bedanke ich mich dafür, dass sie stets für mich da waren und mich moralisch unterstützt haben.

11. Tabellarischer Lebenslauf

Name	Arthur Weber
Geburtsdatum	08. März 1975
Geburtsort	Najman / Kirgisien
Staatsangehörigkeit	deutsch
Familienstand	verheiratet, eine Tochter
Eltern	Juri und Larissa Weber
Schulbildung	
1981 – 1984	Grundschule in Najman/ Kirgisien
1984 – 1991	Realschule „38“ in Frunse/ Kirgisien
Berufsausbildung	
1991 – 1996	Medizinische Hochschule in Bischkek/ Kirgisien Beruf: Zahnarzt
07.07.96	Übersiedlung nach Deutschland
01.04.97 – 30.09.97	Integrationskurs in Carl Duisberg Colleg in Mannheim Sprache: Deutsch
Mai 2000	Gleichwertigkeitsprüfung als Zahnarzt
1997 – 2002	Tätigkeit als Zahnarztassistent
Januar 2003	Niederlassung in Gemeinschaftspraxis
Seit Januar 2003	Beginn mit der vorliegenden Doktorarbeit