

Aus der Universitätspoliklinik für Zahnerhaltungskunde und Parodontologie
an der Martin-Luther-Universität Halle- Wittenberg
(Direktor: Univ.- Prof. Dr. H.- G. Schaller)

**Einfluss verschiedener Obturationstechniken und Sealer
auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen**

Dissertation

zur Erlangung des akademischen Grades
Doktor der Zahnmedizin (Dr. med. dent.)

vorgelegt

der Medizinischen Fakultät
der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg

von Thomas Krüger
geboren am 24.10.1971 in Magdeburg

Gutachter:

1. Prof. Dr. H.-G. Schaller
2. PD Dr. D. Sonntag (Marburg)

verteidigt am: 18.11.2009 in Halle / Saale

Meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Literaturübersicht	3
2.1	Anatomie des Zahnes	3
2.2	Erkrankungen der Zahnpulpa	3
2.3	Endodontische Behandlung	6
2.3.1	Ziele der Wurzelkanalaufbereitung	7
2.4	Aufbereitungsmethoden	8
2.4.1	Manuelle Aufbereitung	10
2.4.2	Maschinelle Aufbereitung	11
2.5	Wurzelkanalspülung und Gleitmittel	13
2.5.1	Medikamentöse Wurzelkanaleinlage	15
2.6	Wurzelkanalfüllung	15
2.6.1	Sealer	17
2.6.2	Obturationstechniken	18
2.7	Risiken, Folgen und Prognose von Wurzelkanalbehandlungen	22
2.8	Dichtigkeitsuntersuchungen	24
3.	Material und Methode	26
3.1	Material	26
3.1.1	Untersuchungszähne	26
3.1.2	Sealer	26
3.1.3	Guttapercha	27
3.1.4	Thermafil®	27
3.1.5	Farbstofflösung	27
3.1.6	Spüllösungen und Gleitmittel	28
3.1.7	Instrumente und Hilfsmittel	29
3.2	Methode	30
3.2.1	Vorbereitung der Versuchszähne	31
3.2.2	Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Hero 642®	31
3.2.3	Wurzelkanalfüllmethoden	32

3.2.4	Koronaler Verschluss	35
3.2.5	Vorbereitung der Proben	36
3.2.6	Aufbereitung der Proben	38
3.2.7	Statistische Analyse	49
4	Ergebnisse	39
4.1	Ergebnisse Penetrationsversuche	39
4.2	Ergebnisse Horizontalschnittebenen	41
4.3	Statistische Analyse	49
4.3.1	Längsschnitte	49
4.3.2	Querschnitte	51
5	Diskussion	52
5.1	Versuchsdurchführung	52
5.2	Ergebnisse	54
5.2.1	Ergebnis der Penetrationsversuche	55
5.2.2	Ergebnis der Querschnittsuntersuchungen	57
6	Schlussfolgerung	58
7	Zusammenfassung	58
8	Literaturverzeichnis	61
9	Thesen	78

Die Wurzelkanalfüllung (Obturation) ist ein wichtiger Faktor für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung. Ziel ist ein dichter dreidimensionaler Verschluss der Wurzelkanäle. Für die Obturation stehen dafür verschiedene Methoden zur Verfügung. Ziel dieser Studie war es, die apikale Dichtigkeit von unterschiedlichen Obturationstechniken (Laterale Kondensation, Zentralstifttechnik, Vertikale Kondensation, Thermafil®) unter Verwendung der Sealer AH Plus® und EndoREZ® zu untersuchen. Dazu wurden 216 humane Zähne unter standardisierten Bedingungen aufbereitet. Die Zähne wurden in die Hauptgruppen A (AH Plus®) und B (EndoREZ®) zu je 108 Proben aufgeteilt. Die Gruppen A und B wurden in 4 Untergruppen für die einzelnen Obturationen (AL, AZ, AV, AT und EL, EZ, EV, ET) mit jeweils 27 Probenzähnen unterteilt. Für die Penetrationsversuche wurden die Proben zahnachsengerecht geschliffen und unter einem Auflichtmikroskop die apikale Eindringtiefe nach Lagerung in einer Methylenblaufarbstofflösung gemessen. Für die Querschnittsuntersuchungen wurden die Zähne von apikal in 1mm Schritten vier Mal geschnitten und auf die prozentuale Verteilung von Guttapercha/Carrier, Sealer und Luft (Undichtigkeit) in 4 den Schnittebenen untersucht. In Gruppe A wurden signifikant geringere Penetrationstiefen als in Gruppe B gemessen. Die Gruppe AV ($49,72\mu\text{m} \pm 24,10$) hatte signifikant geringere Penetrationstiefen als die Gruppen AT ($103,33\mu\text{m} \pm 70,44$), AL ($179,44\mu\text{m} \pm 77,40$) und AZ ($223,33\mu\text{m} \pm 67,15$). In der Hauptgruppe B zeigte die Gruppe ET ($604,89\mu\text{m} \pm 169,95$) und EV ($954,06\mu\text{m} \pm 345,47$) signifikant geringere Eindringtiefen als Gruppe EL ($1501,33\mu\text{m} \pm 275,15$) und EZ ($1830,00\mu\text{m} \pm 885,67$). Bei den Querschnittsuntersuchungen wurden signifikant mehr Luftanteile bei der lateralen Kondensation als bei vertikalen Kondensation und Thermafil® gemessen. Der Sealer EndoREZ® bringt bei der Obturation keine Vorteile zum Sealer AH Plus®. Die vertikale Kondensation und Thermafil® schaffen einen dichten Verschluss der Wurzelkanäle, und stellen eine Alternative zur klinisch bewährten lateralen Kondensation dar. Das Ergebnis ermutigt zu weiteren Studien mit Focus auf die Obturation mittels Verarbeitung warmer Guttapercha.

Krüger, Thomas: Einfluss verschiedener Obturationstechniken und Sealer auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen. Halle, Univ., Med. Fak., Diss., 79 Seiten, 2009

Verzeichnis der verwendeten Abkürzungen

µm	Mikrometer
mm	Millimeter
s	Sekunde
AL	Arbeitslänge
IAF	Initial apical file
MAF	Master apical file
FF	Final file
UDMA	Urethanethylendimethacrylat
NaCl	Natriumchlorid, physiologische Kochsalzlösung
CHX	Chlorhexidindigluconat
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
FG	Friction Grip
H	chemisches Element, Wasserstoff
C	chemisches Element, Kohlenstoff
Cl	chemisches Element, Chlor
N	chemisches Element, Stickstoff
O	chemisches Element, Sauerstoff
U/min	Umdrehungen pro Minute
VEB	Volkseigener Betrieb
VDW	Vereinigte Dental Werke
%	Prozent
ISO	International Organization for Standardization
sog.	so genannt
Min	Minimum
Max	Maximum

1. Einleitung

Neben der Reinigung und Formgebung des Wurzelkanals ist eine dichte dreidimensionale Füllung des Wurzelkanalsystems ein entscheidender Faktor für eine erfolgreiche endodontische Behandlung (Nagy et al., 1997). Dadurch werden das Eindringen von Mikroorganismen und deren Toxine verhindert und die Gefahr einer Reinfektion durch verbliebene Bakterienreste minimiert (Wu und Wesselink, 1993; Delivanis et al., 1983). Als Standard für die Wurzelkanalfüllung gilt die Verwendung von Guttapercha und Sealer (Ingle und Bakland, 2002). Dem Behandler stehen bei der Anwendung von Wurzelfüllmaterialien verschiedene Möglichkeiten für die dichte Obturation des Wurzelkanals zur Verfügung. Es wird die Verwendung von kalter Guttapercha (z.B. Zentralstifttechnik, Laterale Kondensation) oder warmer Guttapercha (z.B. warme vertikale Kondensation, Thermoplastische Kondensation auf hartem Kern, thermoplastische Injektion) unterschieden. Die kalte laterale Kondensation stellt heute in Kliniken und Zahnarztpraxen die am weitesten verbreitete Methode dar und gilt als Goldstandard (Heidemann, 1989; Schäfer, 2000). Der heutige Trend geht in Richtung der Verarbeitung warmer Guttapercha, da dabei gerade im apikalen Bereich vorhandene Seitenkanäle und Ausbuchtungen des Wurzelkanals gut erreicht werden können. Auch bei stark gekrümmten Kanälen werden unter Verwendung warmer Guttapercha gute Ergebnisse erzielt (Gutmann und Rakusin, 1987). Bei allen Wurzelkanalfülltechniken steht die Schaffung eines bakteriendichten Verschlusses des gesamten Wurzelkanalsystems im Vordergrund, um ein späteres Eindringen von Bakterien über den Wurzelkanal ins periapikale Gewebe zu vermeiden.

Aus diesem Grund wurde in der vorliegenden Arbeit die apikale Dichtigkeit von verschiedenen Obturationstechniken (Laterale Kondensation, Vertikale Kondensation, Thermafil[®]-System und Zentralstifttechnik) in Abhängigkeit von unterschiedlichen Sealer untersucht. Bei der Obturation der Wurzelkanäle wurde zum einen der Sealer AH Plus[®] (Dentsply DeTrey, Konstanz, D) angewendet, der als klinisch erprobter und bewährter Sealer gilt. Mit dem EndoREZ[®] (Ultradent Corp., South Jordan, USA) wurde ein Sealer der neueren Generation, welcher auf Komposit (UDMA) basiert,

eingesetzt. Als Untersuchungsmaterial wurden 216 humane Zähne benutzt. Diese wurden dazu im Rahmen dieser Untersuchung unter standardisierten Bedingungen mit dem maschinellen Aufbereitungssystem Hero 642[®] (Micro Mega, Besancon, Frankreich) aufbereitet. Für die zu bestimmende apikale Dichtigkeit kamen zwei verschiedene Auswertungsverfahren zum Einsatz. Im ersten Verfahren wurden Probenlängsschnitte nach passiver Farbstoffpenetration von Methylenblau untersucht. In einem zweiten Auswertungsverfahren wurden Horizontalschnitte hergestellt, um diese auf die prozentuale Verteilung von Guttapercha, Sealer und Luft (Undichtigkeit) zu untersuchen.

2 Literaturübersicht

2.1 Anatomie des Zahnes

Der menschliche Zahn besteht aus der Zahnkrone und den Zahnwurzeln. Mit diesen ist der Zahn fest im Knochen verankert. Die Krone besteht aus der äußeren Schicht, dem Zahnschmelz, und der inneren Schicht, dem Dentin. In der Zahnkrone umgibt das Dentin die Kronenpulpa. Im Bereich der Wurzeln umgibt das Dentin die Wurzelkanäle mit der Wurzelpulpa. Die Kanäle folgen der Wurzelachse und nehmen dabei verschiedene Formen und Variationen an (Kaffe et al., 1985). Sie stehen an der Wurzelspitze über ein oder mehrere Foramina apicalia sowie über akzessorische Seitenkanäle mit dem umliegenden Parodontium in Verbindung.

Die Kronen- und Wurzelpulpa stellen ein gallertiges Gewebe in Form eines lockeren, spezialisiertem Bindegewebe dar. Bei den Zellen handelt es sich um Odontoblasten, Fibroblasten, Ersatzzellen und Abwehrzellen. Diese sind von einer interzellulären Grundsubstanz mit Oxytalan-, Retikulär- und Kollagenfasern, sowie Blutgefäßen und Nerven umgeben. Im Inneren des Pulpagewebes befindet sich die zellkernreiche, bipolare Zone, die zur Peripherie hin in die zellkernarme, Weilsche Zone, übergeht. Im Anschluss daran befindet sich eine Odontoblastenreihe, die mit ihren Fortsätzen durch das Prädentin ins Dentin bis zur Schmelz-Dentin-Grenze reicht und die Dentinkanälchen bildet (Schröder, 1992). Durch Reizdentinbildung und Mineralisationsprozesse verkleinern sich die Dentinkanälchen von der Pulpa-Dentin-Grenze bis zur Schmelz-Dentin-Grenze von 2-3,2µm auf 0,5-1,2µm (Garberoglio und Brännström, 1976).

2.2 Erkrankungen der Zahnpulpa

Bei einem Zahn mit einem kariösen Defekt, welcher sich durch den Zahnschmelz bis weit ins Dentin ausgedehnt hat, kommt es häufig zu Pulpairritationen. Kariesassoziierte Bakterien der Mundhöhle sind zu 95% für diese Pulpaerkrankungen

verantwortlich (Schäfer, 2001). Weitere Gründe für eine Pulpaerkrankung können physikalische, chemische und thermische Reize sowie Zahntraumata sein.

Diese Erkrankungen der Zahnpulpa stellen sich als eine reversible oder irreversible Pulpitis dar und können durch Vitalitäts- und Perkussionstests sowie einer röntgenologischen Untersuchung diagnostiziert werden. Guldener stellte 1987 eine Einteilung der Pulpaveränderungen nach klinischen Gesichtspunkten auf:

- | | |
|-----------------------------|--|
| Gesunde, symptomlose Pulpa: | • Reaktion auf Sensibilitätstest normal, keine weitere Symptomatik |
| Reversible Pulpitis: | • Schmerz auf kalt provozierbar, dauert nur solange an, wie die Noxe auf den Zahn wirkt |
| Irreversible Pulpitis: | • Schmerz ist langandauernd, anfangs Schmerz auf kalt, später auch auf warm, Kälte lindert den Schmerz |
| Pulpanekrose: | • je nach Zustand der Pulpa noch Schmerzen, meistens jedoch ist der betreffende Zahn desensibel |

Solche so genannten Pulpitiden verlaufen nach den gleichen Gesetzmäßigkeiten wie Entzündungen in anderen Bindegeweben im Körper. Als erstes kommt es zu einer Gefäßreaktion in Form einer Hyperämie und einer Gefäßdilatation. In dieser Phase der Entzündung handelt sich um eine Pulpitis acuta serosa.

Beschränkt sich diese Entzündung nur auf einen Teil der Pulpa, spricht man von der Pulpitis acuta serosa partialis, bei gesamter Pulpabeteiligung von der Pulpitis acuta serosa totalis. Es hat sich ein Pulpaödem gebildet. Eine Ausdehnung der Pulpa ist aufgrund der anatomischen Gegebenheit nicht möglich. Es kommt zu Einschränkungen der Blutzirkulation in der Pulpa. Wird der Reiz zum Beispiel durch Entfernen der Karies beseitigt, kann es zur Ausheilung kommen. In diesem Fall sind in der Regel nur die peripheren Bereiche der Pulpa betroffen.

Ist der Reiz auf die Pulpa sehr stark und besteht über einen längeren Zeitraum, so breitet sich die Entzündung auf zentrale Teile der Kronenpulpa und der Wurzelpulpa

aus. Die zelluläre Antwort auf einen solchen Reiz äußert sich anfänglich in einem dominierenden Auftreten neutrophiler Granulozyten, später kommen Lymphozyten, Makrophagen und Plasmazellen dazu. Leukozyten treten durch die Blutgefäße ins Gewebe über. Da die neutrophilen Granulozyten eine kurze Lebensdauer haben, setzen sie nach ihrem Zerfall zelltoxische Bausteine und proteolytische Enzyme frei. Im weiteren Verlauf kann sich eine Pulpitis acuta purulenta entwickeln (Hellwig et al., 2003). Hinzu kommen Abbauprodukte aus dem Stoff- und Energiewechsel der Bakterien, die den Zustand einer irreversiblen Pulpitis forcieren (Langeland, 1981). Folglich kommt es zu einer irreversiblen Nekrose, d.h. zum Zell- und Gewebestod der Pulpa (Lin, 1981).

Davon abzugrenzen ist die Pulpitis aperta. Durch einen großen kariösen Defekt oder durch eine Zahnfraktur entsteht eine Verbindung der Pulpa zur Mundhöhle und deren Bakterienmilieu. Als Folge daraus kann sich eine offene Pulpitis chronica ulcerosa aperta und letztendlich eine Pulpitis chronica aperta granulomatosa entwickeln.

Häufig kommt es im Anschluss an einer Pulpitis zu einer Parodontitis apikalis. Dies ist eine Entzündung des periapikalen Gewebes, welche anfänglich mit einem verbreiterten Parodontalspalt gekennzeichnet ist und im späteren, chronischen Verlauf zu Granulomen und Zysten führen kann. Die Parodontitis apicalis kann wie folgt eingeteilt werden:

- Parodontitis apicalis acuta
- Parodontitis apicalis chronica (Granulom, Zyste)
- Akuter apikaler Abszess
- Chronischer apikaler Abszess

Neben der Pulpitis können ein Trauma, Parodontopathien und Fehler einer endodontischen Behandlung in Form von Überpressen von Spüllösungen und Wurzelfüllmaterialien sowie eine unvollständige Aufbereitung des Wurzelkanals Ursachen für eine Parodontitis apicalis sein.

2.3 Endodontische Behandlung

Langanhaltende Reizzustände mit hoher Intensität stören die physiologischen Stoffwechselfvorgänge der Zahnpulpa irreversibel. Die Erhaltung der Vitalität des Zahnes ist in dem Fall nicht mehr möglich. Eine Wurzelkanalbehandlung ist jetzt die einzige Möglichkeit einen funktionstüchtigen Zahn zu erhalten. Bakterien, deren Stoffwechselprodukte und infizierte Pulpa- und Dentinbestandteile müssen aus dem Wurzelkanalsystem entfernt werden (Hellwig et al., 2003).

Die Schwierigkeiten einer endodontischen Behandlung liegen in erster Linie in der Reinigung und Aufbereitung des Kanalsystems (Hülsmann, 2001), woraus sich die Notwendigkeit der Kenntnis der genauen Lage der Wurzelkanäle ergibt (Miller, 1903). Dabei muss beachtet werden, dass Bakterien und deren Abfallprodukte nicht nur im Wurzelkanallumen, sondern auch im angrenzenden Dentin und dessen Kanälen vorhanden sind (Perez et al., 1993; Peters, 1993). Insofern ist eine gewissenhafte mechanische Bearbeitung aller Kanalwände insbesondere der Kanalkrümmungen von großer Bedeutung. Entsprechende Anforderungen stellen sich an die Wurzelkanalinstrumente und deren Materialien. Bei der Herstellung unterscheidet man Rohlegierungen aus Chrom-Nickel-Stahl, Titan, Nickel-Titan und Aluminium-Titan. Daraus resultieren physikalische Eigenschaften die in Verbindung mit verschiedenen Herstellungsverfahren die unterschiedlichen Merkmale der Wurzelkanalinstrumente wie Biegeverhalten, Bruchfestigkeit und Torsionsfestigkeit bestimmen. Instrumente aus Chrom-Nickel-Edelstahllegierungen sind relativ starr und werden somit effektiv bei der Reinigung und Formgebung gerade bei wenig gekrümmten Kanälen eingesetzt. Um die ursprüngliche Kanalform gerade bei stärker gekrümmten Kanälen zu erhalten, wurden flexible Instrumente aus Edelstahl entwickelt. Vertreter hierfür sind zum Beispiel die Flexicut Feilen (VDW, München, D) und FlexFile (DentsplyMaillefer, Schweiz, Ballaigues). Durch den geringeren Elastizitätsmodul ist die Gefahr der Kanalverlegung im Bereich der Wurzelkanalkrümmung geringer (Hellwig et al., 2003).

Die Entwicklung von Nickel-Titan-Instrumenten stellt eine deutliche Verbesserung in der endodontischen Therapie dar, da sie ein besseres Biege- und Torsionsverhalten

haben und somit weniger fraktur anfällig sind als Instrumente aus herkömmlichen Stahllegierungen (Walia et al., 1988). Der Gehalt an Nickel liegt dabei bei 55% und der von Titan bei 45% (Lautenschlager und Monaghan, 1993).

Wichtige Merkmale der Nickel- Titan- Instrumente sind die nicht-schneidenden Instrumentenspitzen, variierende Konizitäten, variierende Längen der Arbeitsteile und die seitlichen Führungsflächen, sog. `radial lands` (Hülsmann, 2002). Sie zeichnen sich durch ein pseudoelastisches Verhalten aus, sie können nicht verbogen werden und nehmen nach der Bearbeitung wieder ihre Ausgangsform an (Memory Effect). Frühere Untersuchungen konnten zeigen, dass die Begradigungen der Kanäle bei Verwendung von Nickel-Titan-Instrumenten reduziert wurden (Frick et al., 1997; Schäfer und Tepel, 1993). Dies haben neuere Studien bestätigen können (Rödig et al., 2007; Liu et al., 2006). Die maschinelle Aufbereitung von gekrümmten Kanälen sollte daher mit Nickel-Titan-Instrumenten erfolgen, eine Verwendung von Stahllegierungen ist dafür nicht zu empfehlen (Hülsmann et al., 2000). In den folgenden Abschnitten wird differenzierter auf die einzelnen Parameter einer endodontischen Behandlung eingegangen.

2.3.1 Ziele der Wurzelkanalaufbereitung

Die Ziele einer Wurzelkanalaufbereitung sind (Schäfer et al., 2000):

- Entfernung des vitalen und nekrotischen Gewebes
- Eliminierung der Mikroorganismen und des durch sie geschädigten Gewebes
- Beibehaltung des originalen Wurzelkanalverlaufes
- Konische Form des aufbereiteten Kanals von apikal nach koronal, die engste Stelle sollte apikal liegen, ohne zu starke Wurzelschwächung
- Apikale Konstriktion soll erhalten bleiben
- Endgültige Arbeitslänge soll mit der vorher ermittelten übereinstimmen,
- keine Überinstrumentierung

2.4 Aufbereitungsmethoden

Die Schaffung einer optimalen Zugangskavität ist nicht nur wichtig für die korrekte Kanalaufbereitung, sondern erleichtert die spätere Spülung und Füllung des Kanalsystems (Burns und Herbranson, 2002). Dazu werden das kariöse Gewebe, sowie das Pulpdach entfernt und die Kanaleingänge dargestellt. Im Anschluss kann die Arbeitslänge bestimmt werden. Die Arbeitslänge sollte 0,5 bis 1mm vor dem physiologischen Apex enden (Voß, 1993). Andere Autoren halten dagegen eine Aufbereitungslänge bis 2mm vor dem Apex für sinnvoll (Wu et al., 2000). Ein Überinstrumentieren in Richtung Apex ist dabei unbedingt zu vermeiden, da hierdurch die Erfolgsquote erheblich vermindert wird (Schäfer, 2005).

Für die Ermittlung der richtigen Arbeitslänge (AL) stehen drei Möglichkeiten zur Verfügung. Dies sind die digital-taktile, die röntgenologische oder die elektrische Längenbestimmung. Die digital-taktile Bestimmung der AL ist als alleinige Methode obsolet, da sie ganz allein auf die Erfahrung des Behandelnden beruht. Hierbei wird mit der Hand ein dünnes Wurzelkanalinstrument in den Kanal eingeführt, bis man am physiologischen Foramen zum stehen kommt. Bei der röntgenologischen Längenbestimmung wird ebenfalls ein Instrument bis zum Widerstand und unter Beachtung einer theoretischen Zahnlänge in den Kanal eingebracht. Anschließend wird die Arbeitslänge aus der tatsächlichen Nadellänge zu einem Referenzpunkt und der röntgenologischen Nadel- und Zahnlänge über eine Formel berechnet. Diese Nadel-Messaufnahme ist aus forensischen Gründen notwendig. Bei der elektrischen Längenbestimmung wird über ein Gerät, welches den Widerstand zwischen einem Kontakt an der Wange des Patienten und der in den Kanal eingeführten Nadel misst, die Tiefe der Nadel und somit die Arbeitslänge über eine Skala am Gerät ermittelt (Hör und Attin, 2001). Beim Überinstrumentieren über den Apex hinaus warnt ein visuelles und akustisches Signal. Die Kombination aus der röntgenologischen und der elektrischen Längenbestimmung ergibt derzeit die besten Ergebnisse (Voß et al., 2004; Kim et al., 2008).

Die Art der Aufbereitung kann man in apikal-koronale und in koronal-apikale Methoden unterscheiden. Bei der ersten Methode wird nach dem Festlegen der

Arbeitslänge der Kanal mit zunehmender Instrumentengröße in koronaler Richtung konisch aufbereitet. Dazu zählt zum Beispiel die Step-back Technik. Charakteristisch für die zweite Methode sind das anfängliche Aufbereiten des koronalen Anteils und das anschließende Bestimmen der Arbeitslänge. Erst dann wird der Kanal in apikaler Richtung konisch aufbereitet (Griesinger et al., 1995). Vertreter hierfür sind die Step-down, die Crown-down-pressureless- und die Double-flared-Technik.

Step-back Technik

Die Step-back Technik wird meist nicht als eigenständige Aufbereitungsmethode gesehen, da sie nur die Bearbeitung des apikalen Wurzelkanaldrittels vorsieht. Aus diesem Grund wird diese Technik in Verbindung mit anderen apikal-koronalen oder koronal-apikalen Methoden verwendet. Die erste auf Arbeitslänge eingeführte und klemmende Feile ist die IAF, die initiale apikale Feile. Die ISO-Größe der IAF entspricht dem jeweiligen Kanaldurchmesser. Bei breiteren Kanälen wie im Frontzahnbereich kann die IAF größere ISO-Größen annehmen. Anschließend wird der Kanal von apikal ausgehend von der IAF um 3 bis 5 ISO-Größen erweitert. Dies sollte mindestens bis auf ISO-Größe 30 bis 35 erfolgen, um später eine dichte Wurzelkanalfüllung zu erreichen. Die letzte auf Arbeitslänge eingebrachte Feile heißt MAF, die apikale Master Feile. Von dieser ISO Größe ausgehend erfolgt die konische Erweiterung des Kanals. Dazu werden 3 bis 4 Feilen steigender ISO-Größen in Abhängigkeit von der Krümmung der Kanäle mit jeweils um 0,5 bis 1mm verkürzter Arbeitslänge feilend benutzt. Die letzte Feile ist die FF, die Finalfeile. Nach jedem Feilenwechsel wird der Kanal mit einer Headström-Feile vorhergehender ISO-Größe rekapituliert und der Kanal gespült, um Verblockungen durch Dentinspäne zu verhindern (Clem, 1969; Weine et al., 1975; Hellwig et al., 2003).

Step-down Methode

Bei der Step-down Methode wird zunächst die Durchgängigkeit des Kanals überprüft. Im Anschluss wird mit Headström Feilen der ISO Größe 15, 20 und 25 der koronale Teil bis maximal zum Beginn der Wurzelkrümmung erweitert. Anschließend wird dieser Teil mit Gates-Glidden-Bohrern geglättet und nach Bestimmung der

Arbeitslänge der apikale Teil mit der Step-back Technik aufbereitet (Goerig et al., 1982).

Crown-down-pressureless-Technik

Die Crown-down-pressureless-Technik beginnt mit dem Einführen einer K-Feile der ISO-Größe 35 oder kleiner bis ca. 16mm. Jetzt wird der Kanal mit abnehmenden Instrumentengrößen bis auf einer provisorische Arbeitslänge von 3mm vor dem röntgenologischen Apex bearbeitet. Dies erfolgt ohne apikalen Druck auszuüben. Wenn die provisorische Arbeitslänge erreicht ist, wird die tatsächliche Arbeitslänge ermittelt und mit Instrumenten zunehmender ISO-Größen 40, 45 und 50 der Vorgang wiederholt bis der Kanal vollständig aufbereitet ist (Morgan und Montgomery, 1984).

Double-flared-Technik

Die Double-flared-Technik beginnt mit dem Ermitteln der Arbeitslänge. Dann wird eine K-Feile bis ca. 14mm eingebracht, die locker im Kanal liegen soll. Mit Instrumenten kleinerer ISO-Größen wird jetzt jeweils 1mm tiefer gegangen, bis die AL erreicht ist. Anschließend bekommt der Kanal mit der Step-back-Technik seine endgültige Form. Diese Methode ist bei Zähnen mit weitem Foramen apikale nicht zu empfehlen (Fava, 1983). Weitergeführt wurde diese Methode als modifizierte Double-flared-Technik (Saunders und Saunders, 1992),

2.4.1 Manuelle Aufbereitung

Die manuelle Wurzelkanalaufbereitung gilt als sichere Methode zur Reinigung und Glättung der Kanäle. Innerhalb dieser Aufbereitungsart kommen mehrere Wurzelkanalinstrumente zum Einsatz. Diese Handinstrumente bestehen aus einem Griff, einem Schaft und dem Arbeitsteil. Der Griff ist entsprechend der ISO-Größe farblich gekennzeichnet. Das Arbeitsteil hat immer eine Länge von 16mm. Die Schaftlänge ist variabel, sodass daraus unterschiedliche Instrumentenlängen von 21, 25, 28 und 31mm resultieren. Der Durchmesser der Handinstrumente nimmt von der Spitze bis zum Ende des Arbeitsteiles um 0,32mm zu. Ein Handinstrument der ISO-

Größe 10 hat an der Spitze einen Durchmesser von 0,10mm. Nach 16mm ist der Durchmesser auf 0,42mm gestiegen. Daraus ergibt sich bei Handinstrumenten nach der ISO-Norm ein Konizität von 2%. In der ISO EN 3630 sind Vorgaben für Verdrehungswinkel, Torsionsfestigkeit und Biege­widerstand festgelegt.

Zu den Standardinstrumenten gehören Reamer, K-Feilen und Headström-Feilen. Diese unterscheiden sich in Herstellung, Aufbau und Funktionsweise. Die Herstellung von Reamer und K-Feilen erfolgt aus Rohlingen mit drei- oder viereckigem Querschnitt durch Verwinden. K-Feilen haben mehr Verwindungen pro Millimeter Arbeitslänge als Reamer. Beide Instrumente arbeiten drehend-schabend. Headström-Feilen werden durch Fräsen von runden Rohlingen hergestellt und werden nur linear ziehend und stoßend angewendet.

2.4.2 Maschinelle Aufbereitung

Die maschinellen Aufbereitungssysteme werden eingeteilt:

1. nach Antriebsart:
 - durch Rotation
 - durch Hubbewegung
 - durch Schwingung
2. nach Arbeitsweise:
 - winkel-begrenzte Rotation
 - vollständige Rotation
 - drehmoment-begrenzte Rotation
 - feilend
 - schallvibrierend (1500-6500 Hz)
 - Ultraschall (25-40 KHz)

Schall- und Ultraschall unterstützende Aufbereitungsmethoden sind zur Formgebung und Glättung der Kanäle nicht geeignet, bei anschließenden schallunterstützten Spülungen hingegen kann die Effizienz und Wirksamkeit der Spüllösungen gesteigert werden (Schäfer et al., 2000).

Bei den rotierenden maschinellen Systemen werden aufgrund ihrer Materialeigenschaften Instrumente aus Nickel-Titan-Legierungen angewendet. Diese Instrumente stehen mit Konizitäten von 2%, 4%, und 6% zur Verfügung. Manche Hersteller bieten größere Konizitäten von 6% bis 20% an. Ein Vorteil dieser Aufbereitungsmethode liegt zum einem in der unkomplizierten, auch für unerfahrene Behandler einfachen und schnell erlernbaren Anwendung (Gluskin et al., 2001). Die kürzeren Aufbereitungszeiten bei maschinellen Systemen kommen maßgeblich durch die Anwendung weniger Instrumente zustande (Hülsmann et al., 2006).

Als Nachteil wird die höhere Frakturanfälligkeit gegenüber den manuellen Kanalinstrumenten diskutiert (Yared und Kulkarni, 2002; Pruett et al., 1997). Dies kann durch regelmäßiges Auswechseln der Instrumente verhindert werden (Hübscher et al., 2003). Eine klinische Untersuchung von Parashos und Messer zeigte das bei nur 1% der Nickel-Titan-Instrumente, sowie 1,6% der Handinstrumente Instrumentenfrakturen aufgetreten sind (Parashos und Messer, 2006). Ein weiteres Kriterium um Instrumentenfrakturen zu verringern, ist die Einhaltung systemspezifischer Umdrehungszahlen. In den Anfängen wurde mit Endodontie-Handstücken gearbeitet, heute besitzen Motoren neuerer Generation Rutschkupplungen und programmierbare individuelle Torque-Kontrollen. Dadurch wird bei Überschreitung des Drehmomentes entsprechend der ausgewählten Feile, der Aufbereitungsschritt gestoppt und das Instrument selbständig entgegen der Drehrichtung ausgedreht. In der vorliegenden Studie wurde das HERO 642[®] System (Micro Mega, Besancon, Frankreich) in Kombination mit dem Endo-IT-Motor (VDW, München, D) angewendet.

HERO 642[®]

Das maschinelle Wurzelkanalaufbereitungssystem HERO 642[®] ermöglicht eine relativ schnelle und effektive Aufbereitung der Wurzelkanäle. Dieses System realisiert eine Reinigungswirkung, die vergleichbar mit der einer Handaufbereitung ist.

Bei diesem System teilt man die Kanäle entsprechend dem Schwierigkeitsgrad in drei Gruppen ein. Diese werden dann entsprechend den Farbmarkierungen abgearbeitet. Die erste Gruppe mit der blauen Linie steht für einfache Wurzelkanäle mit

Krümmungen bis 5 Grad. Feilen mit einer Konizität von 6% werden ein halb bis zwei Drittel der Arbeitslänge eingeführt. Im Anschluss wird mit einer Feile der Konizität von 4% bis 2mm vor Arbeitslänge aufbereitet. Die dritte Feile der Konizität von 2% erfasst dann die vollständige Arbeitslänge. Für schwierige Kanäle mit Krümmungen von 10 bis 25 Grad steht die rote Linie zur Verfügung und für Biegungen der Kanäle von über 25 Grad wird die gelbe Linie benutzt. Während der Aufbereitung werden die Feilen mit leichten Auf- und Abbewegungen im Kanal geführt. Zuletzt werden Feilen der ISO-Größe 35, 40 und 45 für die apikale Präparation benutzt.

In Untersuchungen wurde gezeigt, dass HERO 642[®] im Vergleich zu älteren maschinellen Systemen wie Endolift[®] (Kerr, Karlsruhe, D) oder Excalibur[®] (W&H, Bürmoos, A) eine deutlich bessere Entfernung des infizierten Gewebes schafft. Durch die stark konische Aufbereitungsform wird nicht nur das Spülen in der Tiefe gewährleistet, sondern das Einbringen des Füllstoffes und somit das Abfüllen des Kanals erleichtert (Schilder, 1974).

Bei der Aufbereitung mit HERO 642[®] besteht nur eine geringe Gefahr die Kanäle durch Perforationen zu schädigen, oder den anatomischen Verlauf der Kanäle zu verlegen (Thompson und Dummer, 2000). Es wird für eine schnelle und effiziente Aufbereitung von Wurzelkanälen empfohlen und führt dabei zu guten Ergebnissen (Schäfer, 2002). Auch in klinischen Untersuchungen konnte sich HERO 642[®] als sichere und effektive Aufbereitungsmethode behaupten (Xu et al., 2005).

2.5 Wurzelkanalspülung und Gleitmittel

Trotz der mechanischen Reinigung des Wurzelkanalsystems ist es notwendig die Kanäle von infiziertem Gewebe und Bakterien durch antibakterielle Spüllösungen zu befreien. Dem Spülen der Kanäle wird heute immer mehr Bedeutung beigemessen. Untersuchungen zeigten, dass dadurch die vorhandene Keimzahl deutlich reduziert wird (Bystrom und Sundqvist, 1981). Ziel ist es, Keime und bakterielle Toxine zu eliminieren, Pulpagewebe aufzulösen und abzutransportieren sowie die mechanische Reinigung zu unterstützen (Haapsalo et al., 2005). Dabei werden folgende Anforderungen an Spüllösungen in der Zahnmedizin gestellt:

- ausreichende Desinfektionswirkung
- biologische Verträglichkeit
- gewebeauflösende Wirkung
- einfache Applizierbarkeit

Zu den am häufigsten verwendeten Spülmitteln, die diesen Anforderungen gerecht werden, gehören Natriumhypochlorid und Chlorhexidin. Natriumhypochlorid stellt das wirkungsvollste Spülmittel in der Endodontie dar und wird in einer Konzentration von 0,5 bis 2% empfohlen (Moorer und Wesselink, 1982; Bystrom und Sundqvist, 1983). Schon bei einer Konzentration von 1% führt es zu einer guten, gewebeauflösenden und desinfizierenden Wirkung (Sirtes et al., 2005). Durch das Spülen der Kanäle mit Natriumhypochlorid kommt es zu einer Bakterienfreiheit von bis zu 50%. Chlorhexidin (CHX) ist ein Chlorhexidin-Diglukonat und wird innerhalb der endodontischen Behandlung als Spüllösung in einer Konzentration von 2% empfohlen (Zamany et al., 2003). Ein Vorteil ist die gute Wirkung von CHX auf den gramnegativen Problemkeim *E. faecalis* (Khademi et al., 2006), auf die bei Infektionen im Wurzelkanal vorherrschenden Grampositiven Bakterien wirkt es dagegen nur eingeschränkt (Emilson, 1977). Da CHX keine gewebeauflösende Wirkung besitzt, wird es als alleinige Wurzelkanalspülung nicht empfohlen (Naenni et al., 2005). Durch das Spülen werden auch Bereiche wie zum Beispiel die Seitenkanäle, die für Instrumente und damit für die Aufbereitung sehr schwer zugänglich sind, von Bakterien, Dentinspänen und Kanalrückständen befreit (Staribratova-Reister et al., 2003). Ziel ist es auch, die während der Aufbereitung der Kanäle entstehende Schmierschicht (Smear layer) durch Spüllösungen zu entfernen (Baugh und Wallace, 2005). Die Kombination von Spüllösungen mit Ultraschallanwendung zeigte in neueren Untersuchungen eine höhere Effizienz beim Entfernen von Bakterien und Debris (Van der Sluis et al., 2007).

Durch die Anwendung von Gleitmittel bei maschinellen Wurzelkanalaufbereitung rotiert das Instrument einerseits leichter in den Kanal, andererseits unterstützt es die Entfernung von Debris und des Smear layers (Calt und Serper, 2000). Zur Entfernung des Smear layers kommen heute vorrangig EDTA (Ethyldiamintriacetat) und

Zitronensäure zur Anwendung. In der Wirkung wurde bei Untersuchungen zwischen beiden keine signifikanten Unterschiede ermittelt (Scelza et al., 2000). Durch die Entfernung des Smear layers wird ein besserer bakterien-dichter Verschluss des Sealers und des Wurzelkanalfüllstoffes mit den Kanalwänden beschrieben (von Fraunhofer et al., 2000). Das in dieser Untersuchung verwendete Gleitmittel Glyde® (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) enthält EDTA.

2.5.1 Medikamentöse Wurzelkanaleinlage

Ist es nicht möglich die endodontische Behandlung in einer Sitzung abzuschließen, ist der Wurzelkanal mit einer desinfizierenden, temporären Einlage zu versorgen. Zu diesen Einlagepräparaten gehören Phenole (ChKM), Aldehyde, Kortikoid- und Kalziumhydroxidpräparate (Calxyl).

Phenole und Aldehyde werden heute aufgrund von systemischen Sensibilisierungs- und Unverträglichkeitsreaktionen selten genutzt. Bei den Kortikoidpräparaten ist Ledermix® (Riemser, Greifswald, D) ein bekannter Vertreter. Diesen konnten in Studien eine antibakterielle Wirkung nachgewiesen werden (Briseño Marroquin et al., 2004). Die Kalziumhydroxidpräparate haben sich in der Praxis durchgesetzt. Durch ihren stark alkalischen pH-Wert wirken sie bakterizid (Lin et al., 2003). Nach Spülung der Kanäle werden diese Präparate mit einem Lentulo einrotiert und verbleiben dort einige Tage unter einem dichten temporären Verschluss. Da die Wirkung dieser Präparate rasch nachlässt, kann diese medikamentöse Wurzelkanaleinlage bei Bedarf wiederholt werden.

2.6 Wurzelkanalfüllung

Die Wurzelkanalfüllung hat die Aufgabe, das gesamte Kanalsystem hermetisch zu verschließen und das Eindringen und Vermehren von Mikroorganismen zu verhindern. Durch den dichten dreidimensionalen Verschluss der Kanäle können darin verbliebene Bakterien am Übertritt ins periapikale Gewebe gehindert und die Gefahr einer möglichen Infektion des angrenzenden Parodonts minimiert werden.

Nach Schilder kann eine Wurzelfüllung als dicht bewertet werden, wenn keine Diffusion über den Apex stattfinden kann (Schilder, 1967). Eine homogene, dichte Wurzelfüllung ist eine wichtige Voraussetzung, um eine erneute Infektion des Wurzelkanals zu verhindern (Ahlberg und Tay, 1998).

Allgemeine Richtlinien für eine Wurzelkanalfüllung und damit für eine erfolgreiche endodontische Behandlung lauten:

1. dimensionsstabil
2. biokompatibel
3. undurchlässig für Flüssigkeiten
4. bakteriostatisch und bakterizid
5. unlöslich in Gewebeflüssigkeiten
6. dichter Verschluss des gesamten Kanalsystems
7. gute Haftung an der Zahnhartsubstanz
8. radioopak
9. ausreichende Verarbeitungszeit
10. keine Verfärbung der Zahnhartsubstanz
11. aus dem Wurzelkanal entfernbar

(Europäische Gesellschaft für Endodontologie, 1994)

Als Füllmaterial kommen häufig Sealer und Guttapercha zur Verwendung, da sie eine gute Biokompatibilität besitzen (Spångberg, 1969). Das bei der endodontischen Behandlung für verschiedenste Obturationstechniken verwendete Guttapercha ist ein Naturprodukt, welches aus dem Isonandra-Gutta-Baum gewonnen wird (Guldener und Langeland, 1993). Um die verarbeitungsspezifischen Eigenschaften zu erreichen, werden Zinkoxid, Wachse oder Kunststoffe beigefügt. Um die Wurzelfüllung röntgenologisch beurteilen zu können, werden radioopake Zusätze wie zum Beispiel das Metallsulfat Bariumsulfat zugesetzt. Das Guttapercha wird in alpha (α)- und beta (β)- Form verwendet. Konventionelle Guttaperchastifte liegen bei Zimmertemperatur als β -Guttapercha vor. Bei der Erwärmung auf ca. 42 bis 47 ° C geht die β -Form in die α -Form über. Erhitzt man das Guttapercha weiter, geht es bei ca. 59°C in eine amorphe Form über. Das β -Guttapercha wird bei den Obturationstechniken mittels

kalter Guttapercha (z.B. Zentralstift, laterale Kondensation) und das α -Guttapercha bei der Verarbeitung warmer Guttapercha (z.B. Thermoplastische Kondensation mit harten Kern, Thermafil[®]) verwendet.

Grundlegend gibt es folgende Möglichkeiten den Wurzelkanal zu füllen:

- mit Pasten und Zementen ohne harte Kernmasse
- ein Zentralstift mit einem Sealer
- lateral kondensierte Guttaperchapoints mit einem Sealer
- vertikal kondensiertes, erwärmtes Guttapercha und Sealer
- thermoplastisches Guttapercha mit hartem Kernmaterial
- thermoplastische Injektion mit Guttapercha

Alleinige Wurzelkanalfüllungen mit pastenartigen Materialien, wie Sealer, sind nicht zu empfehlen, da hier ungenügende Ergebnisse im Randspaltverhalten und Hohlräume durch Resorptionen entstehen (Langeland, 1974).

2.6.1 Sealer

Sealer sind Pasten, die Unebenheiten zwischen der Kanalwand und dem Kernmaterial ausgleichen und den Verschluss lateraler akzessorischer Kanäle gewährleisten sollen. Ziel ist, eine randdichte Verbindung zwischen Stift und Kanalwand zu erreichen (Europäische Gesellschaft für Endodontologie, 1994). Die Verwendung von Sealer ohne Wurzelkanalfüllstiften wird nicht empfohlen (European Society of Endodontology, 1992). Gleichermassen zeigten Untersuchungen, dass bei Wurzelfüllungen ohne Verwendung eines Sealers größere Undichtigkeiten entstehen können (Schäfer und Olthoff, 2002). Um einen randdichten Verschluss zu gewährleisten, sollten Sealer nicht resorbierbar sein, eine gute Gewebeverträglichkeit besitzen und dadurch am Übergang zum periapikalen Gewebe als Wundverband fungieren können (Schäfer, 2000). Sie sollten im Idealfall sehr dünn zwischen Guttapercha und Kanalwand sein (Wu et al., 2000), da durch anschließende

Resorptionen Spalten zwischen Kanalwand und Wurzelfüllung entstehen können (Peters, 1986).

Man unterscheidet Sealer auf unterschiedlicher Basis mit unterschiedlichen Materialeigenschaften (Georgopoulou et al., 1995; Kontaktiotis et al., 1997; Wu et al., 1994; Wu et al., 1995). Daher kann folgende Einteilung gemacht werden:

- Zinkoxid- Eugenol- Basis
- Epoxidharzbasis
- Methacrylatbasis
- Polyketonbasis
- Polydimethylsiloxanbasis
- Salicylatbasis mit Kalziumhydroxid
- Glasionomerezementbasis
- Guttaperchabasis
- Komposit (UDMA)

Röntgenopake Zusätze in den Sealern lassen eine röntgenologische Beurteilung der Wurzelkanalfüllung zu.

2.6.2 Obturationstechniken

Laterale Kondensation

Die laterale Kondensation stellt im europäischen Raum die gebräuchlichste Form der Wurzelkanalfüllung dar. Sie ist zusammen mit der Zentralstifttechnik die immer noch bevorzugte Obturationstechnik in Deutschland. Im Vergleich zu anderen Abfülltechniken schafft sie eine dichtere Füllung als sie mit anderen Techniken erreicht wurde (Hülsmann und Meiert, 1994). Diese Technik stellt den Goldstandard dar und wird bei Studien als Referenztechnik gegenüber anderen Obturationstechniken benutzt (Ingle und Bakland, 2002; Dummer, 1991; Peak et al., 2001; Levitan et al., 2003).

Nachdem der Kanal aufbereitet und die exakte Arbeitslänge ermittelt wurde, wird ein Masterpoint, der mit dem Sealer benetzt wurde, in den Kanal eingebracht. Mit einem Spreader wird dieser an die laterale Kanalwand kondensiert. Im Anschluss werden weitere Guttaperchastifte in den Kanal eingeführt und jeweils lateral kondensiert, bis eine über den gesamten Kanal vorhandene dichte Wurzelkanalfüllung vorhanden ist. Als abschließender Test lässt sich ein Spreader kaum noch in die Guttaperchafüllung einführen. Eine abschließende Röntgenkontrolle überprüft die Vollständigkeit und Dichtigkeit. Durch das fortlaufende Einbringen von Guttaperchastifte kommt es beim Betrachten der gesamten Wurzelkanalfüllung zu Inhomogenitäten, welche nach koronal zunehmen (Unverdorn et al., 1992). Hier sorgt der Sealer für einen randdichten Verschluss und soll Unebenheiten der Kanalwand ausgleichen. Nach dem Einbringen des Guttaperchastiftes soll der Spreader, durch die laterale Kondensation der Guttapercha an die Kanalwand, die Dichtigkeit zur Wand realisieren (Gound et al., 2001).

Zentralstift

Die Zentralstifttechnik kommt mit nur einem Guttaperchastift aus. Dieser wird entsprechend der aufbereiteten ISO-Größe und Arbeitslänge der MAF in den Kanal bis zum Apex vorgeschoben, wo er dann klemmen sollte. Zuvor wird der Sealer mit einem Lentulo in den Kanal einrotiert und der Guttaperchapoint entsprechend der Arbeitslänge eingebracht. Der Stift kann aus anderen Materialien wie Metall oder Kunststoff sein. Der Anteil an Guttapercha bei Verwendung eines solchen Stiftes sollte bei Wurzelkanalfüllungen bei 90% liegen (Beer, 1993). Aufgrund von Herstellungstoleranzen kann die Passgenauigkeit der Guttaperchastifte deutlich variieren. Die ISO-Norm 6877 erlaubt dafür eine Toleranz von +/- 0,05mm.

Der Teil des Wurzelkanals, in dem der Guttaperchastift nicht randständig anliegt, wird durch den Sealer ausgeglichen. Durch eine nachfolgende Resorption des Sealers werden Randspaltbildungen beobachtet (Peters, 1986). Jedoch gibt es bei dieser 'Single cone techniques' in Verbindung mit dem Sealer AH Plus® sehr gute Ergebnisse bei den Mikroleakageuntersuchungen (Kardon et al., 2003). Es konnte in

Studien gezeigt werden, dass mit der Zentralstifttechnik genauso gute Werte wie mit der lateralen Kondensation erzielt werden können (Wu et al., 2003).

Vertikale Kondensation

Diese Kondensationstechnik wurde 1967 von Herbert Schilder erstmalig beschrieben. Dabei wird thermisch plastifizierte Guttapercha mit einem Sealer in den Kanal nach apikal kondensiert. Diese Technik lässt sich in zwei Phasen einteilen. Der erste Teil der vertikalen Kondensation wird als „Downpack-Phase“ bezeichnet. Es wird zunächst ein Guttaperchapoint entsprechend der ISO-Größe mit Sealer benetzt und in den Kanal eingebracht. Mit einem erwärmten Plugger mit einer um ca. 3mm verkürzten Arbeitslänge wird der Guttaperchapoint erwärmt. Die erwärmte Guttapercha wird durch den aufgebauten Druck an die Kanalwand und in die Seitenkanäle gepresst. Die Sequenz von Erwärmen und Kondensieren wird solange wiederholt, bis der apikale Bereich mit Guttapercha gefüllt ist.

Zur besseren Übersicht des Füllvorganges können intermittierende Röntgenaufnahmen (Downpackaufnahme) hilfreich sein, diese stellen allerdings ein Problem in Bezug auf die Strahlenbelastung des Patienten dar.

Den folgenden Abschnitt bezeichnet man als „Backfill-Phase“. Der restliche Teil des Wurzelkanals wird dabei durch Plastifizierung und Kondensation mit Guttaperchastücke vollständig aufgefüllt.

Neben einem speziellen Instrumentarium erfordert diese Technik auch eine gewisse Übung. Eine weitere Voraussetzung ist eine stark konische Form des Wurzelkanals. Dadurch wird ein Überpressen des Füllmaterials in das periapikale Gewebe verhindert und die Handhabung der Plugger erleichtert. Diese Technik wird heute auch als modifizierte Methode (System B) mittels Plugger und Spreader unter den Namen `Continuous Wave Techniques` weiter geführt (Buchanan, 1996). Durch die Erwärmung mit speziellen „heat carrier“ wird das Guttapercha durch den Druck der Plugger wie eine Welle in Richtung Kanalwand gedrängt, wodurch diese Methode ihren Namen fand. Diese Obturationstechnik zeigte in jüngeren Untersuchungen unter Auswertung von Farbstoffpenetrationsversuchen geringere Penetrationstiefen

im Vergleich zu der als Goldstandard geltenden kalten lateralen Kondensation (Wei et al., 2008).

Thermoplastische Guttapercha auf harten Kern

Bei diesen Systemen wird ein Zentralstift, der aus Edelstahl, Titan oder Kunststoff bestehen kann, mit einem zuvor erwärmten Guttaperchamantel in den aufbereiteten Wurzelkanal eingebracht. Ein bekannter Vertreter ist Thermafil[®] (Dentsply Maillefer, Konstanz, D). Wurzelkanalfüllungen mit dieser Methode wurden erstmals 1978 beschrieben (Johnson, 1978). Das hierfür verwendete Guttapercha ist das α -Guttapercha (Gulabivala und Leung, 1994). Nach der erfolgten Aufbereitung wird der Kanal mit einem Verifier auf Passung des Thermafil[®]-Obturator überprüft. Anschließend wird dieser Thermafil[®]-Obturator in den Thermo-Prep[®]-Heizofen eingeführt und auf die notwendige Temperatur erhitzt.

Nach Erreichen der entsprechenden Temperatur wird der Obturator mit Sealer beschickt und in den Kanal eingebracht. Der herausstehende Anteil wird abschließend mit dem ThermoCut[®]-Bohrer in Höhe des Kanaleinganges abgetrennt.

Vorraussetzung für diese Technik ist, dass der Kanal konisch aufbereitet wurde. Untersuchungen zeigten, dass gerade im Vergleich mit der lateralen Kondensation sehr gute Ergebnisse mit dieser Technik erreicht werden konnte (De Moor und De Boever, 2000; Gencoglu et al., 2002; Dummer et al., 1994). Bei der Obturation mit dem Thermafil[®]-System werden auch die Seitenkanäle gut mit dem Wurzelfüllmaterial erreicht (Reader et al., 1993; Clinton und Van Himel, 2001; Goldberg et al., 2001). Im Bereich von gekrümmten Kanälen des Seitenzahnggebietes konnten Thermafil[®] gefüllte Kanäle bessere Ergebnisse aufzeigen als Kanäle, die mit der lateralen Kondensation obturiert wurden (Abarca et al., 2001).

Nachteilig wird bei der Thermafil[®]-Methode das Überpressen von Wurzelkanalfüllmaterialien in den periapikalen Bereich beschrieben (Scott et al., 1993; Gutmann et al., 1993; Goldberg et al., 2001). Eine andere Studie konnte diese Extrusionen bei der Obturation mit dem Thermafil[®]-System nicht bestätigen (Beatty et al., 1989).

Thermoplastische Injektion

Bei dieser Injektionstechnik wird entsprechend des jeweiligen Systems das Guttapercha in einem Aufwärmgerät außerhalb des Mundes auf eine bestimmte Temperatur erhitzt. Ein Vertreter hierfür ist das 1984 entwickelte Ultrafil[®]-System (Coltene/Whaledent, Langenau, D). Bei diesem System soll der Wurzelkanal in einem Schritt mit der zuvor erwärmten Guttapercha gefüllt werden. Bei der Anwendung dieser Techniken wurden von Städler und Mitarbeiter keine Vorteile gegenüber anderen Obturationstechniken ermittelt (Städtler et al., 2004).

Ein weiteres System der thermoplastischen Injektion ist das 2006 von VDW vorgestellte BeeFill[®] (VDW, München, D), wodurch das Füllen von Wurzelkanälen mit thermoplastischer Guttapercha vereinfacht wurde. Über ein schlankes und leichtes Handstück erfolgt die Mikromotor-gesteuerte Guttaperchaabgabe aus einer Kartusche. Temperatur und Fließgeschwindigkeit der Guttapercha lassen sich individuell einstellen. Die aktuelle Version BeeFill[®] 2 in 1 wurde um eine Komponente der thermischen vertikalen Kondensation erweitert. Im Zusammenspiel beider Geräte kann die Downpack Phase mit warmen Pluggern und die Backfill Technik abwechselnd angewendet werden, wodurch die Wurzelfüllung schichtweise aufgebaut werden kann.

2.7 Risiken, Folgen und Prognose von Wurzelkanalbehandlungen

Folgende Einteilung bezüglich der Heilung nach einer endodontischen Behandlung wurde durch die Empfehlung der „European Society of Endodontology“ in Verbindung mit der aktuellen Literatur aufgestellt:

- vollständige Heilung, der Zahn ist klinisch symptomfrei und hat keinerlei röntgenologische Auffälligkeiten
- unvollständige Heilung, der Zahn ist klinisch symptomfrei, röntgenologisch verkleinerte Läsion vom Ausgangszustand

- keine Heilung, klinische Symptome einer apikalen Parodontitis, röntgenologisch nicht nachweisbare Verringerung der Läsion bis hin zu progressiver Entwicklung.

Die Zeit bis zur vollständigen Ausheilung wird mit ungefähr 4 bis 5 Jahren angegeben. Der wurzelkanalbehandelte Zahn sollte mit einer geeigneten Restauration versorgt werden, um einen bakteriendichten Verschluss zu gewährleisten (Weiger et al., 2001). Ausdruck einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung sind das Fehlen sämtlicher Symptome einer apikalen Parodontitis sowie eine röntgenologisch zu erkennende Ausheilungstendenz des Parodontalspalt und des periapikalen Bereiches.

Trotzdem kommt es bei einem geringen Prozentsatz zu Misserfolgen von Wurzelkanalbehandlungen. Studien haben gezeigt, dass eine vollständige Reinigung der Kanäle im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung nur angestrebt werden kann (Wimonchit et al., 2002). Die Ursachen liegen u.a. in der Persistenz von Mikroorganismen, unbehandelten, schwer zugänglichen Wurzel- und Seitenkanälen, undichten koronalen Restaurationen, Fremdkörperreaktionen sowie extraradikulären Infektionen. (Friedman, 2007; Siqueira jr, 2001; Tronstad et al., 1987; Saunders und Saunders, 1994). In dem Fall ist eine Revision der Wurzelkanalfüllung mit anschließender Spülung der Kanäle sowie medikamentöser Einlage notwendig. Die Indikationen für eine Revision sind:

- Wurzelkanalbehandelte Zähne mit röntgenologischen Zeichen oder neu entstandener Parodontitis apicalis
- Wurzelkanalbehandelte Zähne mit klinischen Symptomen einer endodontisch bedingten Parodontitis apicalis
- Wurzelkanalbehandelte Zähne mit radiologisch oder klinisch insuffizienter Wurzelfüllung
- Nicht behandelte Wurzelkanalabschnitte oder Kanäle
- Wurzelkanalbehandelte Zähne mit progressiv verlaufenden, externen Resorptionen

- Wurzelkanalfüllungen mit Exposition zur Mundhöhle
(Heidemann et al., 2004)

Wenn die Ursache für den Misserfolg nicht in der endodontischen Behandlung liegt, der Zahn nicht erhaltungswürdig oder keine Verbesserung des Ausgangszustandes zu erwarten ist, ist eine Revision kontraindiziert (Kvist, 2001; Weiger et al., 1994; Hülsmann und Schriever, 2001).

2.8 Dichtigkeitsuntersuchungen

Die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung kann mit aufwändigen Versuchsaufbauten wie zum Beispiel durch elektrochemische Methoden oder mittels relativ einfachen Penetrationsuntersuchungen beurteilt werden. Für diese Penetrationsversuche können radiomarkierte Isotope, Bakterien- oder Farbstofflösungen benutzt werden. Da Versuche mit radiomarkierten Isotopen größeren Aufwand benötigen, haben sich Untersuchungen mit Farbstoff durchgesetzt.

Bei den Farbstoffpenetrationsversuchen unterscheidet man aktive (Überdruck/ Unterdruck) und passive Methoden (Dalat und Spangberg, 1994). Bei solchen Untersuchungen wird, wie auch in dieser Studie, häufig Methylenblau angewendet, da es nicht mit der Wurzelfüllung reagiert und durch die Farbe leicht erkennbar ist (Ahlberg et al., 1995). Dieser Farbstoff kann durch sein niedriges Molekulargewicht sehr gut penetrieren (Tamse et al., 1998). Desweiteren wird diese Art der Messung durch ihre einfache Durchführung bei vielen Untersuchungen bevorzugt. Für die Beurteilung, ob eine Wurzelkanalfüllung dicht ist, sodass keine Bakterien und Toxine eindringen können, wird als Indikator die Penetrationstiefe bestimmt (Barthel et al., 1994). Nach der Lagerung der Versuchszähne in der Farbstofflösung werden die Zähne gespalten oder wie in dieser Untersuchung geschliffen bis die Wurzelfüllung sichtbar ist. Es konnte gezeigt werden, dass es einen Zusammenhang zwischen den Farbstoffpenetrationstiefen und den Erfolgsquoten bei der Wurzelkanalbehandlung gibt. Es gibt Überlegungen, ob man die Penetration aktiv mit Überdruck, Unterdruck oder per Zentrifugalkraft unterstützen sollte, wobei eine aktive Unterstützung keinen

Vorteil gegenüber dem passiven Verfahren bringt (Antonopoulos et al., 1998; Wu et al., 1994). Andere Untersuchungen beinhalten Versuche mit Bakterien. Doch Farbstoffpartikel sind kleiner und diffundieren dementsprechend leichter in Spalten zwischen Füllung und Kanalwand. Bakterientoxine sorgen bei endodontischen Untersuchungen für Misserfolgsquoten (Wu et al., 1994).

3 Material und Methode

3.1 Material

3.1.1 Untersuchungszähne

Für die Untersuchungen wurden 216 extrahierte, einwurzlige menschliche Zähne verwendet. Diese wurden sofort nach der Extraktion in 0,9%iger Kochsalzlösung bei Zimmertemperatur gelagert. Die Verweildauer in der NaCl-Lösung betrug nicht länger als 14 Tage. Alle Zähne wiesen keine kariösen Läsionen auf, waren nicht endodontisch behandelt und im Bereich der Wurzel nicht frakturiert.

3.1.2 Sealer

AH Plus®

In der vorliegenden Arbeit wurde der in Zahnarztpraxen bewährte Sealer AH Plus® benutzt. AH Plus® ist ein Zweikomponenten-Pasten-System. Er basiert auf Epoxid-Amin-Polymer-Basis und besteht aus einer Aktivatorpaste und einer Katalysatorpaste. Die Paste A setzt sich zusammen aus Epoxidharz, Calciumwolframat, Zirkoniumoxid, Aerosil und Eisenoxid. Die Paste B besteht aus Aminen, Calciumwolframat, Zirkoniumoxid, Aerosil und Silikonöl. Beide Pasten werden vor der Verarbeitung im Verhältnis 1:1 vermischt. AH Plus® zeichnet sich durch seine gute Röntgenopazität aus. Die Aushärtungszeit wird mit 24 h angegeben. AH Plus® erfüllt die Forderungen der ISO-Norm 687:1986 (E) für dentale Wurzelkanalfüllungsmaterialien.

EndoREZ®

EndoREZ® ist ein Zweikomponenten Pasten-System, welches auf Kompositbasis (UDMA) beruht. Die Paste A und die Paste B werden über eine Doppelspritze automatisch angemischt. Er soll laut Herstellerangaben durch hydrophile Eigenschaften einen besseren Kanalverschluss gewährleisten.

3.1.3 Guttapercha

Für die Untersuchungen wurden normierte Guttaperchastifte (Roeko, Langenau, D) verwendet. Sie setzen sich entsprechend den Herstellerangaben aus Guttapercha, Zinkoxid, Bariumsulfat und Farbstoffen zusammen. Die Guttaperchastifte gehören zur Gruppe der β -Guttapercha.



Abbildung 1: Guttaperchaspitzen

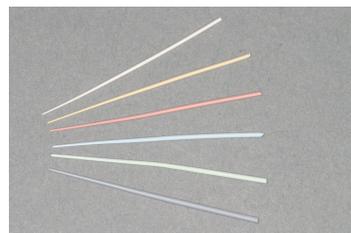


Abbildung 2: Guttapercha ISO15-40

3.1.4 Thermafil[®]

Das Thermafil[®]-System besteht aus den Kanalobturatoren in unterschiedlichen ISO-Größen. Diese besitzen einen harten Kunststoffkern und sind mit Guttapercha ummantelt. Sie besitzen am oberen Ende einen Fingergriff und sind zum unteren Ende hin konisch gestaltet. Zwischen Griff und Guttaperchamantel sind Rillen zum Markieren der Arbeitslänge mittels Stopper vorhanden. Zur Überprüfung des aufbereiteten Kanals und der Passung der Thermafil[®]-Stifte dienen Verifierer. Hierbei handelt es sich um Plastestifte entsprechender ISO-Größen ohne Guttaperchamantel. Zum Erhitzen der Thermafil[®]-Stifte dient der ThermaPrep[®]-Ofen. Dieser besteht aus zwei voneinander getrennten Heizkammern. Über entsprechende Tasten kann eine Vorauswahl entsprechend der ISO-Größe gewählt werden. Ein Thermacut[®]-Bohrer ist zum Abtrennen des überstehenden Thermafil[®]-Obturators vorhanden.

3.1.5 Farbstofflösung

Bei der Farbstofflösung handelt es sich um eine 5-prozentige, auf Wasserbasis hergestellte Methylenblaulösung.

3.1.6 Gleitmittel und Spüllösungen

Glyde®

Glyde® wurde aus einer 3ml Einmalpritze verwendet. Es besteht aus 10% Carbamidperoxid und 15% EDTA. Es dient während der maschinellen Aufbereitung als Gleitmittel, ermöglicht die chemische Entfernung der Schmierschicht und ist in der Lage organische Verblockungen aus den Kanälen zu lösen.

Chlorhexidin

CHX ist ein Chlorhexidindigluconat, das in der Konzentration von 0,1-0,2% eingesetzt wurde. Es besteht aus Ethanol, Glycerol, Macrogol-Glycerolhydroxystearat, Aromastoffen, Farbstoff Cochenillrot A (E124) und Wasser.

Natriumhypochlorid

Natriumhypochlorit besteht aus undissoziierten HOCL-Molekülen. Diese sind für die oxydierende und chlorierende Wirkung verantwortlich. Es wurde in einer wässrigen Lösung zu 1% angewendet. In 1000ml Spüllösung sind 10,5 g Natriumhypochlorit enthalten.

3.1.7 Instrumente und Hilfsmittel

Tabelle 1: Hilfsmittel

Instrument	Hersteller	Land	Ort
Rotes Winkelstück (Übersetz. 1:5)	Kavo	Deutschland	Biberach
Zylindrischer Diamantbohrer ISO 14	Komet	Deutschland	Lemgo
Grünes Winkelstück(Übersetz. 5,4 : 1)	Kavo	Deutschland	Biberach
Rosenbohrer	Komet	Deutschland	Lemgo
K – Feile ISO 10	VDW	Deutschland	München
Headström Feile ISO 10 - 35	VDW	Deutschland	München
Messlehre	DentsplyMaillefer	Schweiz	Ballaigues
Chlorhexamed 0,1 %	GlaxoSmithKline	Deutschland	Bühl
Histolith® Natriumhypochlorid	Lege artis	Deutschland	Dettenhausen
Spülkanülen 0,5 x 40mm	Hager & Werken	Deutschland	Duisburg
Sterile Papierspitzen	Roeko	Deutschland	Langenau
Einmalspritzen 5ml	B. Braun	Deutschland	Melsungen
Glyde®	DentsplyMaillefer	Schweiz	Ballaigues
Präparationsscheibe	Komet	Deutschland	Lemgo
Fingerspreader	DentsplyMaillefer	Schweiz	Ballaigues
Lentulo	DentsplyMaillefer	Schweiz	Ballaigues
Kugelstopfer	HU- Friedy	USA	Chicago
Ätzgel®	Ivoclar Vivadent	Deutschland	Ellwangen
Bonding Excite®	Ivoclar Vivadent	Deutschland	Ellwangen
Tetric Ceram® A2	Ivoclar Vivadent	Deutschland	Ellwangen
Technovit 7100	Heraeus Kulzer	Deutschland	Wehrheim
Zementspatel	HU- Friedy	USA	Chicago
Nagellack	Loreal Paris	Deutschland	Düsseldorf
Tesa® Klebeband	Tesa AG	Deutschland	Hamburg

3.2 Methode

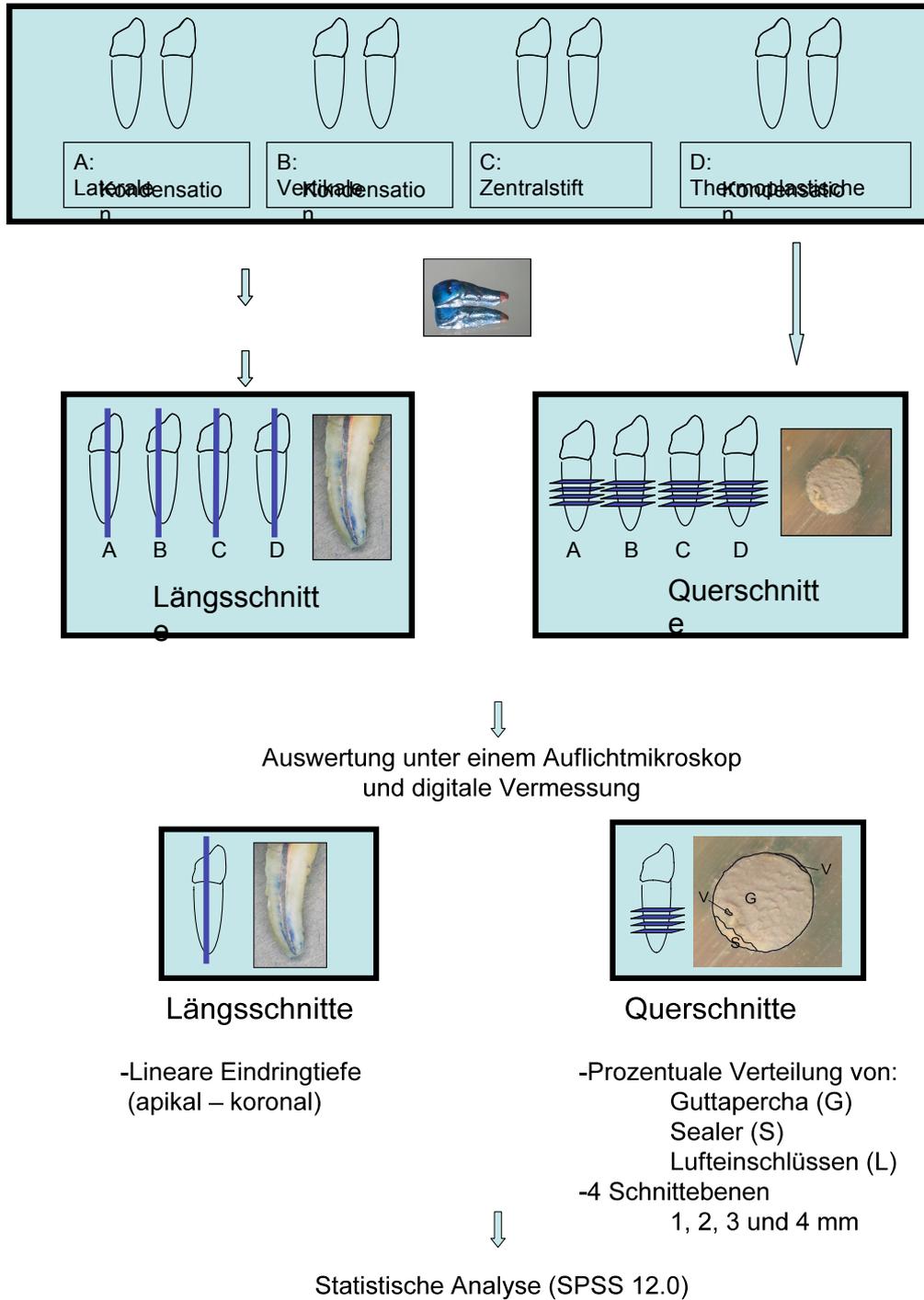


Abbildung 3: Schema Methodik

3.2.1 Vorbereitung der Versuchszähne

Für die Untersuchungen wurden die 216 Zähne in 2 Hauptgruppen A (AH Plus[®]) und B (EndoREZ[®]) entsprechend den benutzten 2 Sealer nach dem Zufallsprinzip aufgeteilt. Innerhalb dieser Hauptgruppen wurden dann jeweils 108 Zähne in weitere Gruppen entsprechend den unterschiedlichen Obturationstechniken L (laterale Kondensation), V (vertikale Kondensation), T (Thermafil[®]) und Z (Zentralstift) unterteilt. Daraus ergaben sich dann entsprechend dem Sealer AH Plus[®] die Gruppen AL, AV, AT, AZ und für den Sealer EndoREZ[®] die Gruppen EL, EV, ET und EZ mit jeweils 27 Zähne. Davon wurden 18 Probenzähne Penetrationstests unterzogen, von 9 Probenzähnen wurden Horizontalschnitte hergestellt.

Im Anschluss wurden die Zähne mit physiologischer Kochsalzlösung gereinigt und mit einem FG-Winkelstück (Kavo, Biberach, D) und einem zylindrischen Diamant (Komet, Lemgo, D) der ISO-Größe 14 trepaniert. Anschließend wurden das Pulpdach, sowie sämtliche Überhänge in der Pulpakammer entfernt. Die apikale Durchgängigkeit des Wurzelkanals wurde mit einer K-Feile ISO 10 (VDW, München, D) überprüft. Hiermit wird gleichzeitig ein späteres Eindringen der Farbstofflösung über das Foramen apikale bei allen Versuchszähnen sichergestellt (Barthel et al., 1994). Die noch vorhandene Kronen- und Wurzelpulpa wurde mit einer Headström Feile (VDW, München, D) entfernt.

Die Arbeitslänge wurde auf die Zahnlänge minus 1mm festgelegt. Hierzu wurde der Kanal mit einer K-Feile der ISO-Größe 10 sondiert, bis die Spitze am Foramen Apikale zu sehen war. Die abgemessene Länge auf einer Messlehre (Dentsply Maillefer, Schweiz, Ballaigues) zum Referenzpunkt minus 1mm ergab die Arbeitslänge.

3.2.2 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit Hero 642[®]

Das System Hero 642[®] besteht aus Nickel-Titan Feilen. Die Feilen enthalten ungefähr bei 55% Nickel und etwa 45% Titan (Schäfer, 1985). Dieses System besteht aus Feilen mit einer Konizität von 6, 4 und 2%. Die Einteilung des Schwierigkeitsgrades

der Kanäle erfolgt über 3 Farblinien innerhalb derer die unterschiedlichen Konizitäten gewählt werden können. In der vorliegenden Arbeit erfolgte die Aufbereitung der Zähne mit den Feilen der blauen Linie für leicht gekrümmte Kanäle. Die Bearbeitungstiefe betrug für die Konizität von 6% ca. 1/2 bis 2/3 der Arbeitslänge. Für die Konizität von 4% wurde eine Bearbeitungstiefe gleich der Arbeitslänge minus 2mm festgelegt. Die Feilen der 2%igen Konizität wurden anschließend für die vollständige Arbeitslänge benutzt. Für die apikale Aufbereitung wurden Feilen von der ISO-Größe 35 bis abschließend 40 entsprechend der Arbeitslänge verwendet. Während der gesamten Aufbereitung der Kanäle wurden mit Natriumhypochloridlösung (NaOCl) und Chlorhexidin (CHX) Wechsspülungen durchgeführt. An jedem Ende der Aufbereitung wurde eine Abschlusspülung mit CHX durchgeführt und die Kanäle mit Papierspitzen getrocknet. Das Hero 642[®] System kam der Endo-IT-Motor (VDW, München, D) zur Anwendung.



Abbildung 4: Das Aufbereitungssystem Hero 642.



Abbildung 5: Der Endo IT-Motor.

3.2.3 Wurzelkanalfüllmethoden

Für den Sealer AH Plus[®] wurden die Pasten A und B zu gleichen Teilen auf dem mitgelieferten Anrührblock angemischt. Für den Sealer EndoREZ[®] steckte man dafür auf die mitgelieferte Doppelspritze einen Mischansatz, der die Paste A und die Paste B automatisch zu gleichen Teilen vermischt. Die beiden Sealer wurden für jede Obturationsmethode in der gleichen Art und Weise verwendet.

Laterale Kondensation

Bei der lateralen Kondensation wurde ein Masterpoint der ISO-Größe 40 auf Passung überprüft. Vor dem Einführen des Masterpoints in den Kanal wurde dieser mit dem jeweiligen Sealer benetzt und im Anschluss daran in den aufbereiteten Kanal eingebracht. Dieser Point wurde mit einem Spreader (VDW, München, D) kleinerer ISO-Größe sowie mit einer um 3 bis 4mm verkürzter Arbeitslänge an die Wand des Kanals kondensiert. Im Anschluss wurden akzessorische Stifte kleiner werdender ISO-Größen eingebracht, und ebenfalls lateral kondensiert. Dieser Vorgang wurde solange wiederholt, bis ein Spreader kleinerer ISO-Größe noch nur noch gering ins obere Drittel des Kanals einzustechen. Die herausstehenden Teile der Guttaperchastifte wurden mit einem heißen Instrument abtrennt.



Abbildung 6: Die laterale Kondensation.

Der Kanaleingang sowie die koronale Pulpakammer wurden abschließend vom überschüssigen Füllungsmaterial gereinigt.

Vertikale Kondensation

Die vertikale Obturation der Wurzelkanäle wurde mit dem EndoTwin[®]-System (VDW, München, D) durchgeführt. Dieses Gerät hat verschiedene Aufsätze, sog. Plugger. Der Guttaperchastift entsprechender ISO-Größe mit Sealer benetzt, und mit der ermittelten Arbeitslänge eingebracht. Danach konnte der Stift koronal abgetrennt werden.



Abbildung 7: Das Endotwinn-System

Der Plugger wurde ca. 3 bis 5mm kürzer als die Arbeitslänge eingestellt, dann 2s erwärmt, und für ungefähr 8s in den Kanal eingeführt. Das im Kanal befindliche Guttapercha wurde dadurch bis zum plastischen Zustand erwärmt, wodurch die Kanalwände, selbst Seitenkanäle, mit Guttapercha ausgefüllt werden. Der restliche Teil des Kanals wurde mit plastifizierten Guttapercha Stücken aufgefüllt und mit einem dickeren Plugger kondensiert.

Zentralstift

Der Wurzelkanal wurde mit einem Lentulo (Dentsply Maillefer, Schweiz, Ballaigues) mit dem Sealer (AH Plus®/EndoREZ®) gefüllt. Anschließend wurde ein Guttaperchstift der ISO-Größe 40 auf Arbeitslänge in den Kanal eingeführt. Im Anschluss wurde das überschüssige Guttapercha, sowie der restliche Sealer entfernt.



Abbildung 8: Die Zentralstifttechnik.

Thermafil®

Der aufbereitete Kanal wurde mit einem Verifier ISO 40 überprüft. Darauf hin wurde der passende Thermafilstift ausgewählt. Der auf dem Stift sitzende Stopper wurde dann auf die Arbeitslänge eingestellt. Anschließend ist der Stift in dem zum Thermafil®-System gehörenden ThermaPrep®-Ofen erhitzt worden. Nach Erreichen der Temperatur wurde der Stift mit dem entsprechenden Sealer benetzt und unmittelbar in den Kanal eingeführt, bis der Stopper mit den Referenzpunkt übereinstimmte. Im Anschluss ist der restliche Thermafilstift am Kanaleingang mit einem Thermacut®-Bohrer abgetrennt worden.



Abbildung 9: Das Thermafil® System

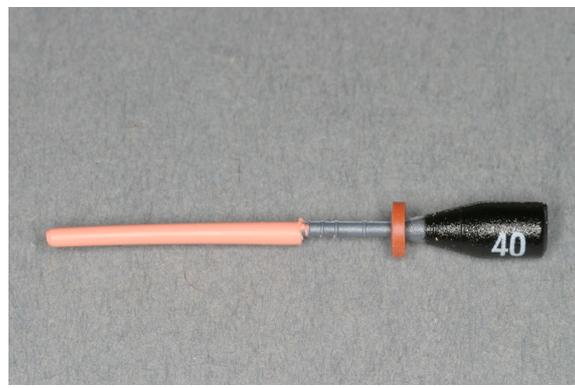


Abbildung 10: Thermafil® Point ISO 40

3.2.4 Koronaler Verschluss

Im Anschluss erfolgte eine Röntgenaufnahme der wurzelgefüllten Zähne, um eine vollständige Wurzelfüllung sicher zu stellen. Jetzt wurden die Proben entsprechend den Herstellerangaben mit 37%iger Phosphorsäure für ca. 45 Sekunden entsprechend der Säure-Ätz-Technik geätzt und mit Excite®-Bonding vorbehandelt. Das Bonding wurde im Anschluss leicht mit der Unispritze verblasen und lichtgehärtet. Anschließend erfolgte der koronale Verschluss der Zähne mit dem Füllungsmaterial Tetric ceram®. Es handelt sich dabei um ein lichthärtendes Hybridcomposite, welches aus einer organischen Matrix und anorganischen Füllstoffen besteht.



Abbildung 11: Füllungsmaterial Tetric[®] Ceram, Ätzgel und Excite[®]

Der Füllstoffanteil setzt sich aus konventionellen Makrofüllern und Mikrofüllstoffen zusammen. Das Komposit wurde mittels der Incrementtechnik in die Kavität eingebracht und entsprechend den Herstellerangaben lichtgehärtet.

3.2.5 Vorbereitung der Proben

Bis zur Weiterverarbeitung wurden die Proben in physiologischer Kochsalzlösung aufbewahrt. Im Anschluss sind die Zähne für den Farbstoffpenetrationstest vorbereitet worden.



Abbildung 12: Zahn nach Einstreichen mit Nagellack und Lagerung in Farbstofflösung

Dazu wurden die Zähne mit einem handelsüblichen, schnell trocknenden Nagellack in zwei Schichten bestrichen, sodass nur noch apikal der Bereich um des Foramen apicale frei blieb. Somit wurde sichergestellt, dass die Farbstofflösung vom Foramen

apicale retrograd in Richtung Wurzelfüllung wandert. Dazu wurden die Zähne für 7 Tage in einer 5%igen Methylenblaulösung bei 37° C in einem Melag-Inkubator (PromedAg, Zollikon, Schweiz) aufbewahrt. Im Anschluss wurden die Proben mit physiologischer Kochsalzlösung abgespült und bis zur Weiterverarbeitung darin aufbewahrt.

3.2.6Aufbereitung der Proben

Längsschnitte

Die Zähne der ersten Versuchsreihe wurden von apikal 5mm vertikal mittels einer Trennscheibe (Komet, Lemgo, D) geschliffen. Dabei musste die individuelle Lage des Foramen apicale beachtet werden. Nach Darstellung der Wurzelfüllung wurde die Probe mit Pinkwachs auf die Grundplatte des Lichtmikroskopes ausgerichtet und fixiert.

Die Messung der Penetrationsstrecke der Farbstofflösung erfolgte mit einem Lichtmikroskop (VEB Carl Zeiss, Jena, D), welches ein Objektiv mit einem genormten Raster besitzt. Dieses Raster besteht aus Quadraten, deren Seiten bei bestimmten Vergrößerungen einer Strecke in µm (siehe Tabelle 2) entsprechen. Die Drehbarkeit des Objektivs um 360 Grad ermöglichte ein Anlegen des Rasters achsengerecht an den Probenkörper. Durch anschließende Addition der Quadrate konnte die Penetrationstiefe ermittelt werden.

Tabelle 2: Raster – Quadrat - Vergrößerungen

Mögliche Vergrößerung	Lichtmikroskop	Seitenlängen des Quadrates in µm
1		500
2		250
4		125
5		100

Horizontalschnitte

Für die zweite Versuchsreihe wurden die Zähne in einem Kunststoffblock aus Technovit 7100 (Heraeus Kulzer, Wehrheim, D) eingebettet, sodass nur noch das

apikale Drittel unbedeckt blieb. Dann wurde der Kunststoffblock mit dem zu schneidenden Zahn in den beweglichen Schlitten einer modifizierten Kopfräsvorrichtung eingesetzt. Über diesen beweglichen Schlitten wurde mit Hilfe einer Einstellschraube mit Millimetereinteilung die vertikale und horizontale Lage einer Präparierscheibe (Komet, Lemgo, D) zum Zahn eingestellt. Nachdem die Unterfläche der Präparierscheibe am Zahn anlag wurde über das Einstellrad die jeweilige Schnittebene eingestellt. Die Präparierscheibe hat eine Stärke von 300µm. Der erste Schnitt wurde nach Nulleinstellung des Einstellrades bei 850µm durchgeführt, um die Wurzelfüllung 1mm vom Apex zu betrachten. Es wurde dabei angenommen, dass der Substanzverlust von 300µm jeweils hälftig der Schnittebene aufgetreten ist. Die folgenden Schnitte wurden dann entsprechend bei 1850, 2850 und 3850µm durchgeführt. Die Proben wurden jeweils auf der Unterseite vermessen. Die entstandenen Proben wurden zur Vermessung und Auswertung auf handelsüblichem Klebeband fixiert.

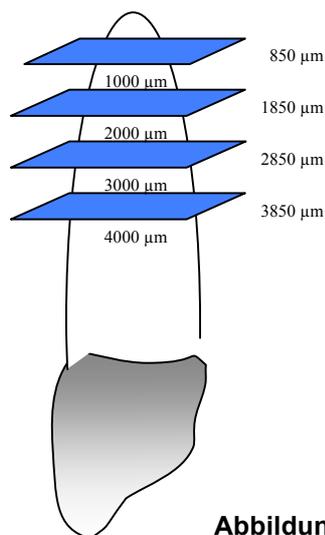


Abbildung 13: Darstellung Schnittebenen

Digitalisierung der Präparate

Die fertigen Präparate für die Querschnittsuntersuchungen wurden jetzt über ein Stereomikroskop vom Typ Zeiss STEMI 2000-C entsprechend der Reihenfolge der Schnitte von apikal fotografiert. Als Digitalkamera diente eine Canon Power Shot G5

(Canon, Tokio, Japan). Zur Speicherung und Verarbeitung diente ein Laptop vom Typ Sony Vaio VGN FS 315H (Sony Corporation, China).

Vermessen der digitalisierten Horizontalschnitte

Zum Vermessen der digitalisierten Präparate wurde die Software AxioVision AC (Carl Zeiss Vision GmbH, München, Deutschland) verwendet. Anschließend konnte der prozentuale Anteil von Guttapercha und Stift, Sealer sowie Luft in den unterschiedlichen Schnittebenen ermittelt werden.

3.2.7 Statistische Analyse

Für die statistische Auswertung wurde das Programm SPSS 12.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) verwendet. Bei der Auswertung der Ergebnisse kamen folgende Tests zur Anwendung:

- Oneway ANOVA
- Tukey's Studentized Range Test
- Bonferoni Holm Analyse

4 Ergebnisse

4.1 Ergebnisse der Penetrationsversuche

Nach dem Schleifen der Probenzähne wurden die zu messenden Hälften unter einem Auflichtmikroskop betrachtet. Durch das Anlegen eines Rasters von Quadraten und der nachfolgenden Umrechnung wurden die Penetrationstiefen ermittelt. In allen Gruppen konnte eine lineare Penetration gemessen werden. Tabelle 3 gibt die Penetrationstiefen für die Proben der mit dem Sealer AH Plus[®] gefüllten Zähne an. Die längsten Penetrationstiefen wurden bei der lateralen Kondensation mit 350µm und bei der Zentralstifttechnik mit 320µm gemessen. Die geringsten Penetrationstiefen ergaben die mit dem Thermafil[®]-System mit 0µm und der vertikalen Kondensation obturierten Kanäle mit 25µm.

Tabelle 3: Penetrationstiefen (μm) Sealer AH Plus[®]

Probe	Zentralstift	Laterale Kondensation	Vertikale Kondensation	Thermafil [®]
1	200	280	25	65
2	200	125	75	0
3	300	350	25	190
4	280	190	65	0
5	200	185	25	25
6	250	120	50	85
7	200	120	50	185
8	150	90	50	175
9	80	190	25	180
10	100	200	50	45
11	225	125	25	190
12	275	190	25	80
13	310	80	75	175
14	250	85	25	25
15	250	125	100	75
16	180	250	50	85
17	320	275	75	100
18	250	200	80	180

Tabelle 4 zeigt die Penetrationstiefen für die Proben der mit dem Sealer EndoREZ[®] gefüllten Zähne. In dieser Gruppe hatte die Zentralstifttechnik mit 3687 μm die längste Penetrationstiefe. Die kürzesten Penetrationstiefen wurden bei der vertikalen Kondensation mit 310 μm und dem Thermafil[®]-System mit 312 μm gemessen.

Tabelle 4: Penetrationstiefen (μm) Sealer EndoREZ[®]

Probe	Zentralstift	Laterale Kondensation	Vertikale Kondensation	Thermafil [®]
1	1125	1324	1125	568
2	1300	1094	1312	814
3	1073	1063	1063	687
4	1031	1567	937	812
5	968	1587	563	564
6	1750	1780	875	630
7	1625	1492	1320	312
8	1370	1325	1385	688
9	1530	1687	1322	834
10	2500	1812	937	437
11	1062	1630	814	397
12	1437	1880	310	564
13	3310	1812	688	813
14	2125	1437	379	785
15	2430	1030	565	567
16	1187	1312	1378	343
17	3687	1362	1233	435
18	3430	1830	967	638

Bei der Betrachtung der Mittelwerte (Tabelle 5) hatte die vertikale Kondensation innerhalb der Gruppe A (AH Plus®) mit $49,72\mu\text{m} \pm 24,10$ die geringsten Penetrationstiefen zu verzeichnen. Für die Zentralstifttechnik wurde mit einem Mittelwert von $223,33\mu\text{m} \pm 67,15$ die größten Penetrationstiefen gemessen.

Innerhalb der Gruppe B (EndoREZ®) hatte das Thermafil®-System mit $604,88\mu\text{m} \pm 169,95$ und die vertikale Kondensation mit $954,06\mu\text{m} \pm 345,47$ die geringsten Penetrationstiefen. Die längsten Penetrationstiefen wurden bei der Zentralstifttechnik mit einem Mittelwert von $1880,00\mu\text{m} \pm 885,67$ gemessen.

Tabelle 5: Darstellung aller 8 Versuchsgruppen (A) AH Plus®, (E) EndoREZ®, (Z) Zentralstift, (L) Laterale Kondensation, (V) Vertikale Kondensation, (T) Thermafil®

Gruppe	Mittelwert in μm	Standard- abweichung	Median	Maximum	Minimum
AZ	223,33	67,15	237,50	320,00	80,00
AL	179,44	77,40	187,50	350,00	80,00
AV	49,72	24,10	50,00	100,00	25,00
AT	103,33	70,40	85,00	190,00	0,00
EZ	1830,00	885,67	1483,50	3687,00	968,00
EL	1501,33	275,15	1529,50	1880,00	1030,00
EV	954,06	345,47	952,00	1385,00	310,00
ET	604,89	169,95	599,00	834,00	312,00

4.2 Ergebnisse der Horizontalschnitte

Die Tabellen 6 und 7 zeigen die Ergebnisse der Querschnittsuntersuchungen der mit AH Plus® als Sealer verwendeten Obturationstechniken. Die warme vertikale Kondensation sowie die Obturationsmethode mit dem Thermafil® System zeigten signifikant weniger Lufteinschlüsse als bei der lateralen Kondensation und der Obturationstechnik mittels Zentralstift.

Tabelle 6: Werte (%) Laterale Kondensation u. Vertikale Kondensation für Guttapercha, Sealer AH Plus®, Luft abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, S = Sealer, L= Luft

Laterale Kondensation				Vertikale Kondensation		
	1 mm			1 mm		
Probe	G	S	L	G	S	L
1	83,21	15,16	1,64	92,84	7,16	0
2	75,23	23,99	0,78	89,10	10,90	0
3	76,47	21,10	2,43	95,45	4,55	0
4	87,17	10,92	1,91	92,70	7,30	0
5	91,66	4,67	3,66	93,81	6,19	0
6	90,61	7,38	2,02	93,34	6,66	0
7	80,99	15,67	3,33	93,13	6,87	0
8	81,54	15,66	2,80	89,72	10,28	0
9	80,15	14,48	5,37	93,35	5,63	1,02
	2 mm			2 mm		
	G	S	L	G	S	L
1	79,44	17,37	3,19	94,6	5,40	0
2	83,84	14,13	2,03	95,47	4,63	0
3	91,77	3,39	4,84	95,41	4,59	0
4	86,51	11,04	2,45	94,00	6,00	0
5	88,34	9,37	2,30	96,03	3,97	0
6	81,25	13,57	5,18	96,31	3,69	0
7	88,24	9,40	2,37	93,79	6,21	0
8	78,11	19,64	2,25	94,76	5,24	0
9	79,67	17,74	2,59	95,95	4,05	0
	3 mm			3 mm		
	G	S	L	G	S	L
1	85,02	14,00	0,98	97,11	2,89	0
2	75,12	23,76	1,12	96,31	3,69	0
3	75,18	21,28	3,54	96,18	3,82	0
4	84,83	14,05	1,12	96,71	1,59	1,7
5	79,06	20,26	0,69	96,36	2,64	1
6	90,31	7,12	2,57	95,11	4,89	0
7	85,64	13,49	0,87	96,97	3,03	0
8	94,98	3,57	1,45	96,17	3,83	0
9	87,72	9,89	2,40	96,62	3,38	0
	4 mm			4 mm		
	G	S	L	G	S	L
1	90,63	7,96	1,42	98,18	1,82	0
2	73,81	22,71	3,49	97,13	2,87	0
3	82,71	15,18	2,11	96,23	3,77	0
4	83,97	12,02	4,01	96,10	3,90	0
5	85,65	12,05	2,30	97,99	2,01	0
6	87,52	10,79	1,69	97,30	2,70	0
7	87,35	9,91	2,73	96,04	3,96	0
8	89,59	6,90	3,51	96,83	3,17	0
9	88,38	5,23	6,39	98,57	1,43	0

Tabelle 7: Werte (%) Thermafil® u. Zentralstift für Guttapercha, Sealer AH Plus®, Luft abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, S = Sealer, G / C = Guttapercha + Carrier, L = Luft

Probe	Thermafil			Zentralstift		
	1 mm		L	1 mm		L
	G/C	S		G	S	
1	95,07	4,93	0	94,25	5,75	0,00
2	98,51	1,49	0	95,76	4,24	0,00
3	96,34	3,66	0	94,59	3,70	1,70
4	98,26	1,74	0	96,40	3,14	0,47
5	96,67	3,33	0	93,05	6,95	0,00
6	94,45	5,55	0	96,93	3,07	0,00
7	91,37	3,96	4,67	93,27	6,73	0,00
8	97,32	2,68	0	96,96	3,04	0,00
9	95,14	4,86	0	95,37	4,63	0,00
	2 mm		L	2 mm		L
	G/C	S		G	S	
1	92,05	5,68	2,26	96,43	2,78	0,78
2	94,35	5,65	0	95,79	4,21	0,00
3	97,31	2,69	0	95,60	3,23	1,17
4	98,75	1,25	0	94,30	3,73	1,96
5	97,43	2,57	0	95,64	4,36	0,00
6	96,05	1,45	2,5	93,47	6,53	0,00
7	94,37	3,30	2,33	90,58	9,42	0,00
8	97,51	2,49	0	92,32	7,68	0,00
9	96,86	3,14	0	89,89	9,27	0,84
	3 mm		L	3 mm		L
	G/C	S		G	S	
1	91,22	8,27	0,51	85,23	10,31	4,46
2	100	0	0	78,90	21,10	0,00
3	94,91	5,09	0	80,21	19,79	0,00
4	94,48	3,20	2,33	89,54	8,78	1,68
5	95,96	4,04	0	72,17	26,71	1,13
6	92,34	6,60	1,06	87,95	9,07	2,98
7	93,42	6,58	0	87,71	12,29	0,00
8	96,40	2,28	1,33	87,41	11,51	1,09
9	95,97	1,59	2,44	78,95	19,37	1,68
	4 mm		L	4 mm		L
	G/C	S		G	S	
1	91,07	9,93	0	83,93	11,94	4,13
2	100	0	0	58,10	41,90	0,00
3	97,57	1,61	0,82	65,04	34,96	0,00
4	97,24	2,76	0	89,72	6,86	3,42
5	94,55	3,86	1,59	67,65	28,55	3,80
6	94,07	4,92	1,01	79,98	16,42	3,60
7	94,61	5,39	0	80,83	14,85	4,32
8	94,03	5,97	0	83,34	12,95	3,71
9	97,34	2,66	0	67,34	27,10	5,56

Die Tabellen 8 und 9 zeigen die prozentuale Verteilung von Guttapercha, Sealer und Luft bei den unter Verwendung des Sealer EndoREZ® verwendeten Obturationstechniken. Innerhalb dieser Gruppe hatten die vertikale Kondensation und

das Thermafil®-System die geringsten Lufteinschlüsse. Die Zentralstifttechnik und die laterale Kondensation wiesen die höchsten Werte für Lufteinschlüsse auf.

Tabelle 8: Werte (%) Laterale Kondensation u. Vertikale Kondensation für Guttapercha, Sealer EndoREZ®, Luft abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, S = Sealer, L = Luft

Probe	Laterale Kondensation			Vertikale Kondensation		
	G	S	L	G	S	L
	1 mm			1 mm		
1	91,74	8,26	0	90,52	9,48	0
2	92,49	7,51	0	94,82	5,18	0
3	89,01	8,05	2,94	92,54	7,46	0
4	91,19	8,81	0	84,34	15,66	0
5	91,64	8,36	0	95,71	4,29	0
6	89,11	10,89	0	95,57	4,43	0
7	85,31	13,25	1,44	94,23	5,77	0
8	89,01	8,05	2,94	97,19	2,81	0
9	89,33	10,67	0	96,74	3,26	0
	2 mm			2 mm		
1	94,01	5,99	0	90,58	1,97	7,45
2	95,09	4,91	0	92,85	7,15	0
3	94,24	5,76	0	95,52	4,48	0
4	78,16	19,45	2,39	91,52	8,48	0
5	93,99	6,01	0	96,41	3,59	0
6	93,37	6,63	0	96,71	3,29	0
7	84,27	11,96	3,77	95,40	4,60	0
8	94,09	3,70	2,21	96,88	3,12	0
9	95,21	4,79	0	97,21	2,79	0
	3 mm			3 mm		
1	95	3,32	1,68	94,79	4,35	0,87
2	81,07	11,45	7,48	96,12	3,49	0,39
3	96,33	3,67	0	96,10	3,90	0
4	95,56	4,44	0	96,08	3,92	0
5	94,89	5,11	0	94,55	3,35	2,1
6	94,70	5,30	0	97,70	2,30	0
7	97,37	2,63	0	97,53	2,47	0
8	95,2	3,45	1,34	97,67	1,93	0,4
9	92,55	2,97	4,48	97,38	2,62	0
	4 mm			4 mm		
1	95,65	2,66	1,69	96,30	3,70	0
2	83,97	9,28	6,75	97,15	1,97	0,87
3	96,58	3,42	0	97,71	2,29	0
4	97,63	2,37	0	97,53	2,47	0
5	95,20	4,80	0	97,10	2,90	0
6	96,48	3,52	0	96,80	1,71	1,49
7	97,60	2,40	0	98,11	1,89	0
8	82,57	10,04	7,39	98,44	1,56	0
9	97,10	2,90	0	98,16	1,33	0,51

Tabelle 9: Werte (%) Thermafil® und Zentralstift für Guttapercha, Sealer EndoREZ®, Luft abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, G / C = Guttapercha + Carrier, S = Sealer, L = Luft

Probe	Thermafil			Zentralstift		
	1 mm			1 mm		
	G/C	S	L	G	S	L
1	98,66	1,34	0	85,90	16,04	3,07
2	97,77	2,23	0	81,78	14,00	4,22
3	96,96	3,04	0	79,32	19,20	1,48
4	97,04	1,45	1,51	89,85	18,83	3,32
5	98,49	1,51	0	83,89	14,29	1,82
6	85,76	14,24	0	92,46	20,68	1,86
7	85,71	14,29	0	81,88	15,40	2,72
8	96,20	3,80	0	77,55	18,35	4,10
9	95,47	3,41	1,12	80,68	15,19	4,13
	2 mm			2 mm		
	G/C	S	L	G	S	L
1	98,24	1,76	0	88,52	7,62	3,86
2	97,65	2,35	0	80,67	16,54	2,79
3	97,91	2,09	0	79,36	17,60	3,04
4	98,72	1,28	0	74,48	22,40	3,12
5	96,86	3,14	0	83,32	15,03	1,64
6	92,69	7,31	0	80,67	16,49	2,84
7	96,04	3,96	0	73,80	21,91	4,29
8	97,79	2,21	0	81,47	16,32	2,21
9	98,16	1,84	0	76,83	21,24	1,93
	3 mm			3 mm		
	G/C	S	L	G	S	L
1	96,50	3,50	0	77,20	19,85	2,95
2	98,66	1,34	0	84,60	14,47	0,92
3	100	0	0	75,10	20,91	3,99
4	97,94	2,06	0	81,15	15,80	3,05
5	97,65	2,35	0	75,38	20,80	3,82
6	98,03	1,97	0	81,76	16,30	1,94
7	98,42	1,58	0	70,70	26,94	2,36
8	98,19	1,81	0	80,76	17,00	2,23
9	98,14	1,86	0	79,59	15,83	4,59
	4 mm			4 mm		
	G/C	S	L	G	S	L
1	98,81	1,19	0	69,71	27,39	2,90
2	98,47	1,53	0	83,27	13,70	3,03
3	98,64	1,36	0	76,49	20,65	2,86
4	97,74	2,26	0	80,32	18,63	1,05
5	98,87	1,13	0	75,05	19,05	5,90
6	97,66	2,34	0	69,34	27,79	2,87
7	98,79	1,21	0	82,92	11,56	5,52
8	97,32	1,59	1,09	77,25	19,53	3,22
9	99,48	0,52	0	70,37	20,24	9,39

Die Tabellen 10 bis 17 fassen die Mittelwerte aller Gruppen bei der Untersuchung der horizontalen Verteilung von Guttapercha, Sealer und Luft auf allen vier Schnittebenen zusammen.

Tabelle 10: Mittelwerte Zentralstift für Guttapercha, Sealer AH Plus®, Luft in % abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, S = Sealer, L = Luft

		Mittelwerte in %	Standardabweichung	Median	Max	Min
AZ 1	G	85,18	1,48	95,37	96,96	93,05
	S	4,58	1,55	4,24	6,95	3,04
	L	0,24	0,57	0,00	1,70	0,00
AZ2	G	93,78	2,39	94,30	96,43	89,89
	S	5,69	2,59	4,36	9,42	2,78
	L	0,53	0,71	0,00	1,96	0,00
AZ3	G	83,12	5,83	85,23	89,54	72,17
	S	15,44	6,42	12,29	26,71	8,78
	L	1,45	1,50	1,13	4,46	0,00
AZ4	G	75,10	10,74	79,98	58,10	89,72
	S	21,73	11,87	16,42	41,90	6,86
	L	3,17	1,90	3,71	5,56	0,00

Tabelle 11: Mittelwerte Laterale Kondensation für Guttapercha, Sealer AH Plus®, Luft in % abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, S = Sealer, L = Luft

		Mittelwerte in %	Standardabweichung	Median	Max	Min
AL 1	G	83,00	5,78	81,54	91,66	75,23
	S	14,34	6,09	15,16	23,99	4,67
	L	2,66	1,34	2,43	5,37	0,78
AL2	G	84,13	4,81	83,84	91,77	78,11
	S	12,85	5,12	13,57	19,64	3,39
	L	3,02	1,17	2,45	5,18	2,03
AL3	G	84,21	6,70	85,02	94,98	75,12
	S	14,16	6,71	14,00	23,76	3,57
	L	1,64	0,97	1,12	3,54	0,69
AL4	G	85,51	5,07	87,35	90,63	73,81
	S	11,42	5,19	10,79	22,71	5,23
	L	3,07	1,52	2,73	6,39	1,42

Tabelle 12: Mittelwerte Vertikale Kondensation für Guttapercha, Sealer AH Plus®, Luft in % abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G= Guttapercha, S= Sealer, L= Luft

		Mittelwerte in %	Standardabweichung	Median	Max	Min
AV 1	G	92,60	1,99	93,13	95,45	89,10
	S	7,28	2,06	6,87	10,90	4,55
	L	0,11	0,34	0,00	1,02	0,00
AV2	G	95,15	0,91	95,41	96,31	93,79
	S	4,86	0,90	4,63	6,21	3,69
	L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
AV3	G	96,39	0,59	96,36	97,11	95,11
	S	3,31	0,92	3,38	4,89	1,59
	L	0,30	0,62	0,00	1,70	0,00
AV4	G	97,15	0,94	97,13	98,57	96,04
	S	2,85	0,94	2,87	3,96	1,43
	L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

Tabelle 13: Mittelwerte Thermafil®, für Guttapercha, Sealer AH Plus®, Luft in % abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G/C= Guttapercha/Carrier, S= Sealer, L= Luft

		Mittelwerte in %	Standardabweichung	Median	Max	Min
AT1	G/C	95,90	2,21	96,34	98,51	91,37
	S	3,58	1,42	3,66	5,55	1,49
	L	0,52	1,56	0,00	4,67	0,00
AT2	G/C	96,10	2,10	96,86	98,75	92,05
	S	3,14	1,59	2,69	5,68	1,25
	L	0,79	1,18	0,00	2,50	0,00
AT3	G/C	94,97	2,57	94,91	100,00	91,22
	S	4,18	2,69	4,04	8,27	0,00
	L	0,85	1,00	0,51	2,44	0,00
AT4	G/C	95,61	2,65	94,61	100,00	91,07
	S	4,12	2,89	3,86	9,93	0,00
	L	0,38	0,60	0,00	1,59	0,00

Tabelle 14: Mittelwerte Zentralstift für Guttapercha, Sealer EndoREZ[®], Luft in % abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, S = Sealer, L = Luft

		Mittelwerte in %	Standardabweichung	Median	Max	Min
EZ 1	G	83,70	4,91	81,88	92,46	77,55
	S	16,89	2,41	16,04	20,68	14,00
	L	2,97	1,07	3,07	4,22	1,48
EZ2	G	79,90	4,55	80,67	88,52	73,80
	S	17,24	4,53	16,54	22,40	7,62
	L	2,86	0,86	2,84	4,29	1,64
EZ3	G	78,47	4,26	79,59	84,60	70,70
	S	18,66	3,90	17,00	26,94	14,47
	L	2,87	1,15	2,95	4,59	0,92
EZ4	G	76,08	5,45	76,49	83,27	69,34
	S	19,84	5,36	19,53	27,79	11,56
	L	4,08	2,47	3,03	9,39	1,05

Tabelle 15: Mittelwerte Laterale Kondensation für Guttapercha, Sealer EndoREZ[®], Luft in % abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, S = Sealer, L = Luft

		Mittelwerte in %	Standardabweichung	Median	Max	Min
EL1	G	89,87	2,19	89,33	92,49	85,31
	S	9,32	1,89	8,36	13,25	7,51
	L	0,81	1,29	0,00	2,94	0,00
EL2	G	91,38	5,99	94,01	95,21	78,16
	S	7,69	4,99	5,99	19,45	3,70
	L	0,93	1,46	0,00	3,77	0,00
EL3	G	93,63	4,89	95,00	97,37	81,07
	S	4,70	2,69	3,67	11,45	2,63
	L	1,66	2,64	0,00	7,48	0,00
EL4	G	93,64	5,95	96,48	97,63	82,57
	S	4,60	2,97	3,42	10,04	2,37
	L	1,76	3,07	0,00	7,39	0,00

Tabelle 16: Mittelwerte Vertikale Kondensation für Guttapercha, Sealer EndoREZ[®], Luft in % abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G = Guttapercha, S = Sealer, L = Luft

		Mittelwerte in %	Standardabweichung	Median	Max	Min
--	--	------------------	--------------------	--------	-----	-----

EV1	G	93,52	4,02	94,82	97,19	84,34
	S	6,48	4,02	5,18	15,66	2,81
	L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
EV2	G	94,79	2,49	95,52	97,21	90,58
	S	4,39	2,13	3,59	8,48	1,97
	L	0,83	2,48	0,00	7,45	0,00
EV3	G	96,44	1,22	96,12	97,70	94,55
	S	3,15	0,84	3,35	4,35	1,93
	L	0,42	0,70	0,00	2,10	0,00
EV4	G	97,48	0,70	97,53	98,44	96,30
	S	2,20	0,74	1,97	3,70	1,33
	L	0,32	0,54	0,00	1,49	0,00

Tabelle 17: Mittelwerte Thermafil® für Guttapercha, Sealer EndoREZ®, Luft in % abhängig von Schnittebene 1 – 4 mm, G/C = Guttapercha/Carrier, S = Sealer, L = Luft

		Mittelwerte in %	Standardabweichung	Median	Max	Min
ET1	G/C	94,67	5,17	96,96	98,66	85,71
	S	5,03	5,31	3,04	14,29	1,34
	L	0,29	0,59	0,00	1,51	0,00
ET2	G/C	97,12	1,84	97,79	98,72	92,69
	S	2,88	1,84	2,21	7,31	1,28
	L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ET3	G/C	98,17	0,92	98,14	100,00	96,50
	S	1,83	0,92	1,86	3,50	0,00
	L	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ET4	G/C	98,42	0,70	98,64	99,48	97,32
	S	1,46	0,57	1,36	2,34	0,52
	L	0,12	0,36	0,00	1,09	0,00

4.3 Statistische Analyse

4.3.1 Längsschnitte

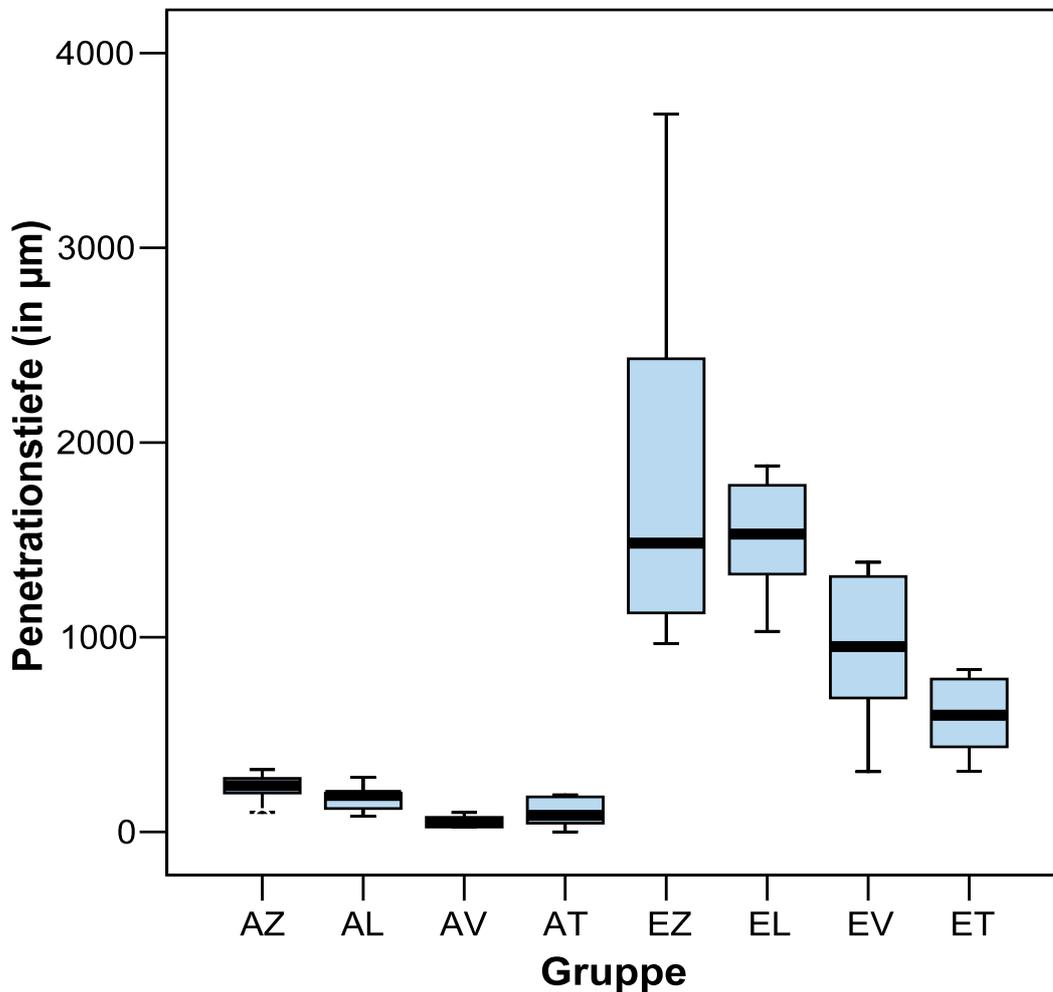


Diagramm 1: Boxplot Darstellung aller 8 Versuchsgruppen (A) AH Plus[®], (E) EndoREZ[®], (Z) Zentralstift, (L) Laterale Kondensation, (V) Vertikale Kondensation, (T)Thermafil[®]

Gruppe A - Sealer AH Plus[®]

Innerhalb der Gruppe A mit dem Sealer AH Plus[®] wurden bei der statistischen Analyse (Oneway Anova) folgende Werte ermittelt ($p < 0,05$, Tukey's Test). Zwischen der lateralen Kondensation und dem Thermafil[®]-System gab es keine signifikanten

Unterschiede. Die vertikale Kondensation hatte signifikant geringere Penetrationstiefen als die laterale Kondensation ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Zwischen der lateralen Kondensation und der Zentralstifttechnik gab es keine signifikanten Unterschiede, tendenziell zeigte die laterale Kondensation geringere Penetrationstiefen ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Bei der vertikalen Kondensation und dem Thermafil[®] System gab es keine signifikanten Unterschiede, beide erbrachten die geringsten Penetrationstiefen innerhalb der Gruppe A. Es wurden hier signifikant geringere Penetrationstiefen gemessen als bei der Zentralstifttechnik ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Gruppe B - Sealer EndoREZ[®]

Die statistischen Analysen ergaben in der Gruppe EndoREZ[®] folgende Ergebnisse.

Das Thermafil[®]-System und die vertikale Kondensation hatten signifikant geringere Penetrationstiefen als die laterale Kondensation ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Zwischen der lateralen Kondensation und der Zentralstifttechnik gab es keine signifikanten Unterschiede ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Die vertikale Kondensation und das Thermafil[®]-System unterschieden sich nicht signifikant in den Penetrationstiefen, diese erbrachten auch in dieser Gruppe die geringsten Penetrationstiefen ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Das Thermafil[®]-System und die vertikale Kondensation zeigten signifikant geringere Penetrationstiefen als die Zentralstifttechnik ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Vergleich Gruppe A - AH Plus[®] und Gruppe B - EndoREZ[®]

Im Vergleich der einzelnen Wurzelkanaltechniken untereinander bei Benutzung unterschiedlicher Sealer konnte gezeigt werden, dass bei der laterale Kondensation, der vertikale Kondensation, der Zentralstifttechnik und dem Thermafil[®]-System signifikant geringere Penetrationstiefen unter Verwendung des Sealer AH Plus[®] aufgetreten sind ($p < 0,05$, Tukey's Test).

4.3.2 Querschnitte

Gruppe A - Sealer AH Plus®

Die Tabellen 6 und 7 zeigen die Ergebnisse der Querschnittsuntersuchungen unter Verwendung des Sealers AH Plus®. Die statistische Auswertung (Oneway Anova) zeigt folgende Ergebnisse ($p < 0,05$, Tukey's Test). Auf allen Schnitthöhen (1mm-4 mm) zeigt das Thermafil®-System im Vergleich zur lateralen Kondensation einen signifikant höheren Anteil von Guttapercha ($p < 0,05$, Tukey's Test). Der Anteil von Sealer ist im Vergleich zur lateralen Kondensation signifikant geringer ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Auch der Guttaperchaanteil der vertikalen Kondensation ist im Vergleich zur lateralen Kondensation in allen vier Schnittebenen signifikant höher ($p < 0,05$, Tukey's Test). Der Anteil von Sealer ist in den Ebenen 2mm, 3mm und 4mm bei der vertikaler Kondensation signifikant niedriger als bei lateraler Kondensation ($p < 0,05$, Tukey's Test). In Schnittebene 1mm ist der Anteil von Sealer nicht signifikant, jedoch tendenziell geringer ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Im Vergleich vertikaler Kondensation mit dem Thermafil®-System zeigten sich keine signifikanten Unterschiede im prozentualen Anteil von Guttapercha/Carrier, Sealer und Luft in allen vier Schnittebenen ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Gruppe B - Sealer EndoREZ®

Die Tabellen 8 und 9 zeigen die Ergebnisse der Querschnittsuntersuchungen unter Verwendung des Sealers EndoREZ®. Die statistische Auswertung (Oneway Anova) ergibt folgendes. Laterale Kondensation, vertikale Kondensation und das Thermafil®-System zeigen im Vergleich untereinander in allen vier Schnittebenen keine signifikanten Unterschiede bezüglich des prozentualen Anteils von Guttapercha/Carrier, Sealer und Luft ($p < 0,05$, Tukey's Test).

Die vertikale Kondensation und das Thermafil®-System zeigen im Vergleich zur Zentralstifttechnik einen signifikant höheren Guttaperchaanteil ($p < 0,05$, Tukey's Test). Der prozentuale Anteil von Luft und Sealer ist bei beiden Techniken signifikant

niedriger als bei der Zentralstifttechnik ($p < 0,05$, Tukey's Test). Dieses Ergebnis stellt sich in allen vier Schnittebenen dar.

Vergleich Gruppe A - Sealer AH Plus[®] und Gruppe B - Sealer EndoREZ[®]

Die statistische Auswertung (Oneway Anova) der Gruppe A (AH Plus[®]) im Vergleich zur Gruppe B (EndoREZ[®]) zeigte folgende Ergebnisse: Der Vergleich zwischen dem Thermafil[®]-System und der vertikalen Kondensation brachte keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Guttaperchaanteiles auf allen vier Schnittebenen ($p < 0,05$, Tukey's Test). Auch die Auswertung der prozentualen Anteile von Sealer zeigte innerhalb der einzelnen Schnittebenen keine signifikanten Unterschiede bei der vertikalen Kondensation im Vergleich zum Thermafil[®]-System ($p < 0,05$, Tukey's Test). Beim Vergleich des Parameters „Lufteinschlüsse“ innerhalb der einzelnen Obturationstechniken (lateralen Kondensation, Thermafil[®]-System und vertikale Kondensation) konnte ebenfalls kein signifikanter Unterschied beobachtet werden ($p < 0,05$, Tukey's Test).

5 Diskussion

5.1 Versuchsdurchführung

Bei der vorliegenden Arbeit wurde die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen untersucht, die mittels der lateralen Kondensation, der Zentralstifttechnik, dem Thermafil[®]-System sowie der vertikalen Kondensation mit dem EndoTwinn[®]-System obturiert wurden. Dabei wurden für jede Obturationstechnik zwei unterschiedliche Sealer mit unterschiedlichen Zusammensetzungen verwendet. AH Plus[®] ist ein Sealer der sich schon in vielen Studien bewert hat. Gerade in Langzeituntersuchungen konnte das Präparat überzeugen (McMichen et al., 2003; Roggendorf et al., 2004) und wird daher an vielen Universitäten als Standardmaterial benutzt. Dagegen ist der in dieser Studie verwendete Sealer EndoREZ[®] ein Sealer der neueren Generation, der aufgrund seiner hydrophilen Eigenschaften einen guten Verschluss zur Kanalwand gewährleisten soll. Seine Biokompatibilität konnte in

vorhergehenden Studien gezeigt werden (Louw et al., 2001; Becce und Pameijer, 2001).

Für die vorliegende Untersuchung wurden ausschließlich einwurzelige Zähne mit ähnlicher Anatomie und ähnlichen Wurzelkanallumen benutzt, um eine möglichst genaue Vergleichbarkeit untereinander und zu anderen in In-vitro Studien zu schaffen. Es konnte jedoch in klinischen Studien nachgewiesen werden, dass der Erfolg einer endodontischen Behandlung nicht maßgeblich von der Art des Zahnes abhängt (Attin et al., 1994). Kriterien die für eine erfolgreiche Wurzelfüllung sprechen sind eine korrekte Aufbereitungslänge sowie eine röntgenologisch homogenes Erscheinungsbild. Die in dieser Studie aufbereiteten Zähne wurden bis auf eine Arbeitslänge von 1mm vor dem Apex aufbereitet. Wurzelkanalbehandlungen bei denen die Arbeitslänge 1mm vor dem Apex des Zahnes endet, haben den größten Erfolg gezeigt (Strindberg, 1956).

Die Zähne wurden mit dem maschinellen Aufbereitungssystem Hero 642[®] aufbereitet. Mit diesem System ist es möglich, den Kanal schnell und effizient für die Wurzelfüllung zu präparieren (Schäfer, 2002). Dabei wird die Gefahr der Kanalverlegung als gering bewertet (Thompson und Dummer, 2000).

Um die Wurzelfüllungen qualitativ zu bewerten, wurden zum einen Penetrationversuche durchgeführt. Diese Dichtigkeitsuntersuchungen werden vielerorts herangezogen, um die Qualität der Wurzelfüllung zu untersuchen und neuere Obturationsmethoden zu vergleichen (Miletic et al., 2002). Hierbei soll ein zwischen Kanalwand und Wurzelfüllung eintretender Indikator als Maß für die Dichtigkeit gelten. In der Literatur werden Indikatoren wie Farbstoffe oder auch Bakterien beschrieben (Kos et al., 1982). In weiteren Schritten wurde überlegt, ob solche Penetrationsversuche aktiv, zum Beispiel mittels Druckluft unterstützt werden sollten. Der in dieser Studie durchgeführte Penetrationsversuch erfolgte passiv mit dem Farbstoff Methylenblau, da diese eine gebräuchliche Untersuchungsmethode darstellt, die mit wenig Aufwand zu realisieren ist. Der Farbstoff Methylenblau wurde auch in vorhergehenden Studien angewendet (Smith und Wong, 1992). Durch das geringe Molekulargewicht der Methylenblaufarbstofflösung und ihre guten Penetrationseigenschaften eignet sie sich für diese Art von Untersuchungen (Schäfer

und Olthoff, 2002; Ahlberg et al., 1995). In Studien, in denen Bakterienpenetration nicht mehr nachgewiesen werden konnten, wurden trotzdem Farbstoffpenetrationstiefen gemessen (Kersten und Moorer, 1989). Für Untersuchungen der Dichtigkeit von Wurzelfüllungen gelten Penetrationsuntersuchungen als Mittel der Wahl (Tamse et al., 1998). Die Probenzähne dieser Untersuchung wurden für 7 Tage in einer 5%igen Methylenblaulösung auf Wasserbasis bei 37°C gelagert. Diese Vorgehensweise ist eine gängige Methode, die auch in anderen Studien Anwendung fand (Boussetta et al., 2003; Zmener et al., 2005).

Um die Penetrationstiefen zu messen, wurden die Proben geschliffen bis die Wurzelfüllung sichtbar wurde. Nachteilig muss der Verlust der Wurzelfüllung im Randbereich bewertet werden.

In einem zweiten Versuchsteil wurden die aufbereiteten Zähne von apikal in Scheiben geschnitten (Alexander und Gordon, 1985; Barthel et al., 1999). Hierbei konnte ermittelt werden, welches Verhältnis sich von Guttapercha, Sealer und Luft in unterschiedlichen Ebenen vom Apex ausgehend ergibt. Der Anteil von Luft ist in dem Fall ein Beweis für eine undichte Wurzelfüllung im apikalen Drittel des Zahnes. Andere Autoren bewerten diesen Zustand ebenfalls als kritisch, da der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung mit der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung im unteren Drittel des Zahnes zusammenhängt (Brothman, 1981).

Bei der vorliegenden Untersuchung handelt es sich um eine In-vitro Studie, die Ergebnisse und Folgen die sich daraus für den klinischen Teil ergeben, müssen eingeschränkt aufgrund vorliegender Idealbedingung wie Keimfreiheit, extraorales Arbeiten und somit optimaler Sichtverhältnisse betrachtet werden. Die Anwendbarkeit der ermittelten Daten ist dementsprechend zu diskutieren (Wu und Wesselink, 1993).

5.2 Ergebnisse

In dieser Studie wurden zwei Techniken der Verarbeitung kalter Guttapercha, die laterale Kondensation und die Zentralstifttechnik, mit 2 Methoden der Verarbeitung

warmer Guttapercha, der vertikalen Kondensation und dem Thermafil®-System verglichen.

Die laterale Kondensation ist immer noch als Standardmethode anzusehen. Bei den Methoden der Verarbeitung warmer Guttapercha handelt es sich um neuere Wurzelkanalfülltechniken.

In der Vergangenheit gab es viele Studien die sich mit Dichtigkeitsuntersuchungen beschäftigt haben. Eine eindeutige Übereinstimmung der Ergebnisse verschiedener Studien über Dichtigkeitsuntersuchungen konnte nicht festgestellt werden (Hata et al., 1995).

5.2.1 Ergebnisse der Penetrationsversuche

Innerhalb der Gruppe mit dem Sealer AH Plus® zeigten die Thermafil®-Technik und die vertikale Kondensation die geringsten Penetrationstiefen. Auch in vorhergehenden Studien konnte bei Dichtigkeitsuntersuchungen gezeigt werden, dass die vertikale Kondensation gegenüber der lateralen Kondensation geringere Penetrationstiefen aufwies (Sobhi et al., 2004). Im Vergleich von Thermafil® zur lateralen Kondensation gibt es Studien, die hier erbrachte Ergebnisse bestätigen (Schäfer und Olthoff, 2002; Gutmann et al., 1993). Andere Studien haben geringere Penetrationstiefen als in dieser Arbeit gemessen wurden, ermitteln können (Gilhooly et al., 2001; Boussetta et al., 2003; Haikel et al., 2000; Gencoglu et al., 1993) oder höhere Werte unter Verwendung der passiven Farbstoffpenetration gemessen (Dummer, 1991; Baumgardner et al., 1995). Diese Unterschiede können durch verschiedene Aufbereitungsmethoden entstanden sein (Boussetta et al., 2003). Allgemein wird die laterale Kondensation als „Goldstandard“ im Vergleich zum Thermafil®-System kontrovers diskutiert.

Bei der laterale Kondensation und der Zentralstifttechnik unter Anwendung des Sealers EndoREZ® wurden höhere Penetrationstiefen gemessen. Die mit der Thermafil®-Methode und der vertikalen Kondensation gefüllten Proben wiesen wie bei der Gruppe der mit AH Plus® verarbeiteten Zähne geringere Penetrationstiefen auf.

Zwischen der vertikalen Kondensation und dem Thermafil[®]-System gab es keine signifikanten Unterschiede. Zu diesem Resultat kamen auch schon vorhergehende Untersuchungen (Bhambhani und Sprechman, 1994). Bhambhani und Sprechmann untersuchten an 50 menschlichen Frontzähnen unter Benutzung zweier unterschiedlicher Sealer die apikale Dichtigkeit nach Obturation mit der vertikalen Kondensation und dem Thermafil[®]-System. Für die Penetrationsversuche wurden die wurzelgefüllten Proben für 2 Wochen in einer 1%igen Methylenblaulösung gelagert. Diese Untersuchung ergab keine signifikanten Unterschiede bezüglich der beiden Obturationstechniken und der unterschiedlichen Sealer. Im Gegensatz dazu zeigte die vorliegende Arbeit einen signifikanten Unterschied bei der vertikalen Kondensation und dem Thermafil[®]-System unter Verwendung unterschiedlicher Sealer.

Die Zentralstifttechnik hatte im Vergleich zur lateralen Kondensation und zu den beiden Methoden der Verarbeitung warmer Guttapercha die höheren Penetrationswerte. Dieses Ergebnis wurde auch in anderen Studien bestätigt (Beatty et al., 1986; Pommel und Camps, 2001), andere Autoren fanden keinen signifikanten Unterschied zu anderen Fülltechniken heraus (Antonopoulos et al., 1998).

Die Obturation mit der warmen vertikalen Kondensation und dem Thermafil[®]-System ergab eine dichte, dreidimensionale Wurzelkanalfüllung mit weniger Luftanteilen. Die gesamten Kanalabschnitte wurde dabei randdicht gefüllt (Venturi und Breschi, 2004). Unterschiede wurden zwischen den verschiedenen Sealer herausgefunden. Bei beiden konnten Penetrationen des Farbstoffes gemessen werden. Ein Grund für diese Ergebnisse können Schrumpfungen der Sealer sein (Zmener et al., 2005). In der Gruppe mit dem Sealer AH Plus[®] verarbeiteten Zähnen wurden jedoch bei allen vier Obturationstechniken signifikant geringere Penetrationstiefen gemessen als bei der Gruppe mit dem Sealer EndoREZ[®]. Dieses Ergebnis bestätigen auch andere Studien (Sevimay und Kalayci, 2005; Kardon et al., 2003). Die Dichtigkeit und Materialadaptation zwischen Dentin und Sealer erschien bei Verwendung von AH Plus[®] größer als bei Verwendung von EndoREZ[®] (Sevimay und Kalayci, 2005). Die bei EndoREZ[®] aufgrund der Zusammensetzung (UDMA) vorhandene Polymerisationsschrumpfung ergab Spalträume (Bergmans et al., 2005). AH Plus[®]

hat dagegen bei Dichtigkeitsuntersuchungen im Vergleich zu anderen Sealer gute Ergebnisse erzielt (Roggendorf et al., 2007). Dies wird nicht zuletzt der Tatsache geschuldet, das AH Plus® bei der Abbindung eine geringe Expansion aufweist (Ørstavik et al., 2001). Es gibt in Studien Ansätze, Guttapercha ohne Sealer zu verwenden. Dies ist nicht zu empfehlen, da Gutapercha nicht an der Dentinwand haftet (Nergiz et al., 1993).

Für die vertikale Kondensation wurden die geringsten Werte der Penetration ermittelt, die gute Qualität dieser Wurzelfüllung wurde in älteren Studien (Schilder, 1967), wie auch in neueren Untersuchungen gezeigt (Wei et al., 2008; Aqrabawi, 2006).

5.2.2 Ergebnisse der Querschnittsuntersuchung

Im zweiten Teil dieser Arbeit wurden die vorbereiteten Zähne von apikal im Abstand von 1mm vier Mal geschnitten, um den prozentualen Anteil von Guttapercha/Carrier, Sealer und Luft zu ermitteln. Diese Untersuchung in Form von Horizontalschnitte sind in der Literatur bereits beschrieben wurden (Jarrett et al., 2004). Anschließend wurden die geschnittenen Proben fotografiert und für die prozentuale Bewertung vermessen (Weiß et al., 2004). In der Gruppe der lateralen Kondensation wurden signifikant mehr Lufteinschlüsse beobachtet als bei der vertikalen Kondensation und dem Thermafil®-System. Dieses Ergebnis weist auf Inhomogenitäten der Wurzelfüllung hin (Budd et al., 1991; Coviello et al., 1971; Larder et al., 1976). Der prozentuale Anteil von Guttapercha war innerhalb der lateralen Kondensation, der vertikalen Kondensation und dem Thermafil®-System nicht signifikant unterschiedlich. In der Gruppe der Zentralstifttechnik nahm der prozentuale Anteil von Guttapercha von 1 bis 4mm ab. Der prozentuale Anteil von Sealer war demgegenüber zunehmend. Dieses Ergebnis ist in beiden Hauptgruppen der unterschiedlichen Sealer zu erkennen, und ist auf die stark konische Aufbereitungsform der Kanäle durch das Hero642® zurück zu führen. Da der Sealer nachträglichen Resorptionen unterliegt, ist dies für die Dichtigkeit der Wurzelfüllung ungünstig einzustufen.

Der prozentuale Anteil von Sealer ist bei der lateralen und vertikalen Kondensation sowie bei dem Thermafil® System geringer, sodass bei diesen Techniken mit weniger

Undichtigkeiten der Wurzelfüllung aufgrund von Resorptionen des Sealers zu rechnen ist.

6 Schlussfolgerung

Die Ergebnisse dieser Untersuchung zeigen, dass die Verwendung des Sealers EndoREZ[®] (Basis: UDMA), keine Vorteile gegenüber dem bewährten Sealer AH Plus[®] (Basis: Epoxidharz) bei Anwendung von vier verschiedenen klinischen Obturationstechniken hervor bringt.

Bei der Betrachtung der linearen Penetrationstiefe wird ersichtlich, dass die laterale Kondensation eine größere apikale Durchlässigkeit ergab, als die Methoden der Verarbeitung warmer Guttapercha: vertikale Kondensation (EndoTwinn[®]) und thermoplastische Kondensation auf hartem Kern (Thermafil[®]).

Die Untersuchung der Querschnitte zeigte, die Obturation mit der warmen vertikalen Kondensation und das Thermafil[®] System zeigen signifikant weniger Lufteinschlüsse (Undichtigkeiten) als die laterale Kondensation.

Die Obturation mit Thermafil[®] und dem EndoTwinn[®]-System erzielen einen dichten apikalen Verschluss und stellen eine Alternative zur klinisch bewährten Methode der lateralen Kondensation dar. Der Sealer AH Plus[®] hat seine bewährte Stellung innerhalb der endodontischen Behandlung bestätigen können. Beide Dichtigkeitsuntersuchungen weisen in die gleiche Richtung.

7 Zusammenfassung

Die endodontische Behandlung stellt eine Möglichkeit dar, den natürlichen Zahn in der Zahnreihe zu erhalten, ihn für eine prothetische Versorgung vorzubereiten oder ihn bei der Behandlung einer Parodontalerkrankung vor dem vorzeitigen Verlust zu schützen. Im Rahmen solch einer Wurzelkanalbehandlung gibt es verschiedenen Möglichkeiten den Zahn dicht zu verschließen und somit Reinfektionen zu verhindern.

In dieser Studie wurde die Dichtigkeit von unterschiedlichen Wurzelkanaltechniken untersucht. Dazu wurden 216 menschliche, einwurzlige Zähne mit dem maschinellen Wurzelkanalaufbereitungssystem HERO 642[®] einheitlich konisch aufbereitet. Im Anschluss daran wurden diese Zähne nach dem Zufallsprinzip in 2 Gruppen (Gruppe A und Gruppe B) zu je 108 Proben aufgeteilt. Die 108 Proben wurden in die Untergruppen AZ, AL, AV, AT zu je 18 Proben für die Penetrationsversuche und nochmals 4 Gruppen mit je 9 Proben für die Querschnittsuntersuchungen verteilt, die unter Verwendung des Sealers AH Plus[®] mit den Obturationstechniken Zentralstift, laterale Kondensation, vertikale Kondensation und dem Thermafil[®] System gefüllt wurden. Innerhalb der Gruppe B entstanden die Untergruppen EZ, EL, EV und ET zu je 18 Proben und 4 Gruppen zu je 9 Proben. Hier erfolgte die Obturation mit den gleichen Techniken, aber mit einem Sealer der neueren Generation, dem EndoREZ[®]. Nach röntgenologischer Kontrolle wurden die Zähne mit dem Komposit Tetric Ceram Farbe A2 verschlossen und mit Ausnahme des Foramen Apicale mit Nagellack in 2 Schichten bestrichen. Im Anschluss wurden die Proben dann für 7 Tage bei 37°C in einer 5%igen Methylenblau Farbstofflösung gelagert.

Für den ersten Teil dieser Arbeit wurden die Proben der Gruppen AZ, AL, AV, AT sowie die Proben EZ, EL, EV und ET entlang ihrer Längsachse geschliffen. Die jeweils 18 Proben wurden dann unter einem Auflichtmikroskop betrachtet. Über ein Raster konnte die Penetrationstiefe ermittelt werden.

Für den zweiten Teil dieser Studie wurden die 8 weiteren Gruppen, jeweils 4 für die unterschiedlichen Obturationen und den 2 unterschiedlichen Sealer, zu je 9 Proben der Gruppen A und B von apikal in 1mm Schritten, 4 Mal geschnitten. Zur weiteren Auswertung wurden die hergestellten Scheibchen fotografiert und vermessen. So wurden die prozentualen Anteile von Guttapercha/Carrier, Sealer und Luft in 4 Schnittebenen ermittelt. Die Betrachtung der Ergebnisse der Gruppe A und B zeigte, dass die Wurzelfüllungen mit dem Sealer AH Plus[®] signifikant geringere Penetrationstiefen, also dichtere Wurzelfüllungen ergeben, als die mit dem Sealer EndoREZ[®] gefüllten Zähne. Der Sealer EndoREZ[®] bringt trotz seiner vom Hersteller angegebenen hydrophilen Eigenschaften keine randdichteren Wurzelfüllungen. Ob für eine bessere Adaptation des Sealers EndoREZ[®] sogar eine gewisse Restfeuchte

im Kanal vom Vorteil ist, sollte gegebenenfalls in nachfolgenden Untersuchungen ermittelt werden. Die vertikale Kondensation und die Thermafil[®]-Technik erwiesen sich innerhalb der Gruppen als die dichtesten Wurzelfüllungen, gefolgt von der lateralen Kondensation und der Zentralstifttechnik.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Querschnittsuntersuchungen konnte gezeigt werden, dass bei der vertikale Kondensation und dem Thermafil[®]-System die geringsten Lufteinschlüsse auftraten. Durch einen geringen prozentualen Anteil von Sealer ist auch später durch Resorptionen des Sealers mit geringen Undichtigkeiten zu rechnen. Thermafil[®] und die vertikale Kondensation stellen eine sichere Methode dar, den Kanal dicht zu verschließen. Bei der Zentralstifttechnik wird der Anteil von Sealer von apikal nach koronal größer, sodass nach Resorptionen Undichtigkeiten entstehen, die für einen endodontischen Misserfolg verantwortlich sein können.

8. Literaturverzeichnis

1. Abarca AM, Bustos A, Navia M: A comparison of apical sealing and extrusion between Thermafil and lateral condensation technique. J Endod 27 (2001) 670-672
2. Ahlberg KM, Assavanop P, Tay WM: A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth. J Endod 28 (1995) 30-34
3. Ahlberg KM, Tay WM: A methacrylate-based cement used as a root canal sealer. J Endod 31 (1998) 15-21
4. Alexander JB, Gordon TM: 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 (1985) 615-621
5. Antonopoulos KG, Attin T, Hellwig E: Evaluation of the apical seal of root canal fillings with different methods. J Endod 24 (1998) 655-658
6. Aqrabawi JA: Outcome of endodontic treatment of teeth filled using lateral condensation versus vertical compaction (Schilder's technique). J Contemp Dent Pract 7 (2006) 17-24
7. Attin T, Rettig P, Hilgers RD, Hellwig E: Die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen. Thermafil versus Zentralstifttechnik. Dtsch Zahnärztl Z 49 (1994) 955-958
8. Barthel CR, Gruber S, Roulet J: Aufbereitung von Wurzelkanälen mit drei verschiedenen Aufbereitungssystemen In-vitro. Dtsch Zahnärztl Z 54 (1999) 474-478

9. Barthel CR, Lösche GM, Zimmer S, Roulet JF: Dye penetration in root canals filled with AH 26 in different consistencies. J Endod 20 (1994a) 436-439
10. Barthel CR, Noack MJ, Roulet JF: Die Dichtigkeit von Ketac Endo und AH 26 in Abhängigkeit der Wurzelfülltechnik in vitro. Dtsch Zahnärztl Z 49 (1994b) 285-288
11. Baugh D, Wallace J: The role of apical instrumentation in root canal treatment: a review of the literature. J Endod 31 (2005) 333-340
12. Baumgardner KR, Taylor J, Walton R: Canal adaptation and coronal leakage: Lateral condensation compared to Thermafil. J Am Dent Assoc 126 (1995) 351-356
13. Beatty RG, Baker PS, Haddix J, Hart F: The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apical dye penetration. J Am Dent Assoc 119 (1989) 633-637
14. Beatty RG, Vertucci FJ, Zakariasen KL: Apikal sealing efficacy of endodontic obturation techniques. Int Endod J 19 (1986) 237-241
15. Becce C, Pameijer CH: Study of a New Endodontic Root Canal Sealer. J Dent Res 80 (2001) 144
16. Beer R: Die Guttaperchafüllung des gekrümmten Wurzelkanals. ZWR 102 (1993) 413-420
17. Bergmans L, Moisiadis P, De Munck J, van Meerbeek B, Lambrechts P: Effect of polymerization shrinkage on the sealing capacity of resin fillers for endodontic use. J Adhes Dent 7 (2005) 321-329
18. Bhambhani SM, Sprechman K: Microleakage comparison of Thermafil vs vertical condensation using two different sealers. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 78 (1994) 105-108

19. Boussetta F, Bal S, Romeas A, Boivin G, Magloire H, Farge P: In vitro evaluation of apical microleakage following canal filling with a coated carrier system compared with lateral and thermomechanical Gutta-Percha condensation techniques. *Int Endod J* 36 (2003) 367-371
20. Briseño Marroquin B, Viola E, Christoffers AB, Willershausen B: Die antibakterielle Wirkung von Ledermix als medikamentöse Wurzelkanaleinlage - eine In-Vitro-Versuchsreihe. *Dtsch Zahnärztl Z* 59 (2004) 650-654
21. Brothman P: A comparative Study of the vertical and the lateral condensation of guttapercha. *J Endod* 7 (1981) 27-30
22. Buchanan LS: Continuous wave of obturations techniques. *Endod Prac* 1 (1998) 7-18
23. Budd CS, Weller RN, Kulild JC: A comparison of thermoplasticized injectable gutta-percha obturation techniques. *J Endod* 17 (1991) 260-264
24. Burns, RC and Herbranson, EJ: Tooth morphology and cavity preparation. In: Cohen, S and Burns, RC.(Hrsg): *Pathways of the pulp*. Mosby Inc., St. Louis, 2002, S.173-176
25. Byström A, Sundqvist G: Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentations in endodontic therapy. *Scand J Dent Res* 89 (1981) 321-328
26. Byström A, Sundqvist G: Bacteriologic evaluation of the effect of 0,5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 55 (1983) 307-312
27. Calt S, Serper A: Smear layer removal by EGTA. *J Endod* 26 (2000) 459-461

28. Clem WH: Endodontics: the adolescent patient. Dent Clin North Am 13 (1969) 482-493
29. Clinton K, Van Himel T: Comparison of a warm gutta-percha obturation technique and lateral condensation. J Endod 27 (2001) 692-695
30. Coviello J, Brilliant JD, Wright J: Preliminary scanning electron microscopic study of the chlorosin lateral condensation technique. J Endod 3 (1977) 54-62
31. Dalat DM, Spangberg LS: Comparison of apikal leakage in root canals obtured with various gutta percha techniques using a dye vacuum tracing method. J Endod 20 (1994) 315-319
32. De Moor RJ, De Boever JG: The sealing ability of an epoxy resin root canal sealer used with five gutta-percha filling techniques. Endod Dent Traumatol 16 (2000) 291-297
33. Delivanis PD, Mattison GD, Mendel RW: The survivability of F43 strain of Streptococcus sanguis in root canals filled with gutta-percha and Procosol cement. J Endod 9 (1983) 407-410
34. Dummer PM: Comparison of undergraduate endodontic teaching programmes in the United Kingdom and in some other dental schools in Europe and in the United States. Int Endod J 24 (1991) 169-177
35. Dummer PM, Lyle L, Rawle J, Kennedy K: A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. Int Endod J 27 (1994) 32-38
36. Emilson CG: Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine. Scand J Dent Res 85 (1977) 255-265
37. Europäische Gesellschaft für Endodontologie: Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung. Endodontie 4 (1994) 56-61

38. European Society of Endodontology: Undergraduate curriculum guidelines for endodontology. *Int Endod J* 25 (1992) 169-172
39. Fava LR: The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation. *J Endod* 9 (1983) 76-80
40. Frick K, Walia H, Deguzman J, Austin B: Qualitative comparison of two NiTi rotary file systems to hand filing. *J Endod* 23 (1997) 273
41. Friedman S: Considerations and concept of case selection in the management of post-treatment endodontic disease (treatment failure). *Endodontic Topics* 1 (2002) 54-78
42. Garberoglio R, Brännström M: Scanning electron microscopic investigation of human dentinal tubules. *Arch oral Biol* 21 (1976) 355-362
43. Gencoglu N, Garip Y, Bas M, Samani S: 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 (2002) 333-336
44. Gencoglu N, Samani S, Gunday M: Evaluation of sealing properties of Thermafil and Ultrafil techniques in the absence or presence of smear layer. *J Endod* 19 (1993) 599-603
45. Georgopoulou MK, Wu MK, Nikolaou A, Wesselink PR: Effect of thickness on the sealing ability of some root canal sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 80 (1995) 338-344
46. Gilhooly RM, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM: Comparison of lateral condensation and thermomechanically compacted warm alpha-phase guttapercha with a single cone for obturating curved root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 91 (2001) 89-94

47. Gluskin AH, Brown DC, Buchanan LS: A reconstructed computerized tomographic comparison of Ni-Ti rotary GT files versus traditional instruments in canals shaped by novice operators. *Int Endod J* 34 (2001) 476-484
48. Goerig AC, Michelich FJ, Schultz HH: Instrumentation of root canals in molar using the Stepp-down technique. *J Endod* 8 (1982) 550-554
49. Goldberg F, Artaza LB, De Silvio A: Effectiveness of different obturation in the filling of simulated lateral canal. *J Endod* 27 (2001) 362-364
50. Gound TG, Riehm RJ, Odgaard EC, Makkawy H: Effect of spreader and accessory cone size on density of obturation using conventional or mechanical lateral condensation. *J Endod* 27 (2001) 358-361
51. Griesinger HR, Hannig M, Albers HK: Erfolgreiche Aufbereitung stark gekrümmter Wurzelkanäle – Die korono-apikale Technik. *Zahnärztl Welt Reform* 102 (1995) 842-850
52. Gulabivala K, Leung SF: Review of a new root canal filling techniques. *Dental Update* 21 (1994) 73-83
53. Guldener, PH and Langeland, K: *Endodontologie*. 3.Aufl. Thieme Verlag, Stuttgart, 1993
54. Gutmann JL, Rakusin H: Perspectives on root canal obturation with thermoplasticized injectable gutta-percha. *J Endod* 20 (1987) 261-270
55. Gutmann JL, Saunders WP, Saunders EM, Nguyen L: An assessment of the plastic Thermafil obturations technique. Part 2. Material adaption and sealability. *J Endod* 26 (1993) 179-183
56. Haapsalo M, Endal U, Zandi H, Coil JM: Eradication of endodontic infection by instrumentation and irrigation solutions. *Endodontic Topics* 10 (2005) 77-102

57. Haikel Y, Freymann M, Fanti V, Claisse A, Poumier F, Watson M: Apical microleakage of radiolabeled lysozyme over time in three techniques of root canal obturation. J Endod 26 (2000) 148-152
58. Hata G, Kawazoe S, Toda T, Weine F: Sealing ability of thermoplasticized gutta-percha fill techniques as assessed by a new method of determining apical leakage. J Endod 21 (1995) 167-172
59. Heidemann D, Hülsmann M, Petschelt A, Raab WHM, Schäfer E, Weiger R: Revision einer Wurzelkanalbehandlung. Dtsch Zahnärztl Z 59 (2004) Stellungnahme DGZMK
60. Hellwig, E, Klimek, J, and Attin, T: Endodontologie. In: Hellwig, E, Klimek, J, and Attin, T (Hrsg): Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Fischer, München/Jena, 2003, S.245-330
61. Hör D, Attin T: Die elektrische Längenbestimmung des Wurzelkanals. Endodontie 10 (2001) 39-55
62. Hübscher W, Barbakow F, Peters OA: Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography. Int Endod J 36 (2003) 740-747
63. Hülsmann, M: Die Aufbereitung des Wurzelkanals. In: Heidemann D (Hrsg): Endodontie. Urban & Fischer, München / Jena, 2001, S.80-122
64. Hülsmann M: Die Wurzelkanalpräparation - Manuell oder maschinell. Hessisches Zahnärzte Magazin 4 (2002) 18-27
65. Hülsmann M, Meiert I: Apikale Dichtigkeit thermoplastischer Wurzelkanalfüllungen. Dtsch Zahnärztl Z 49 (1994) 507-511
66. Hülsmann M, Peters OA, Dummer PM: Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. Endodontic Topics 10 (2006) 30-76

67. Hülsmann M, Schade M, Schäfers F: A comparative study of root canal preparation with HERO 642 and Quantec SC rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J* 34 (2001) 538-546
68. Hülsmann, M and Schriever, A: Endodontie. In: Heidemann, D (Hrsg): *Praxis der Zahnheilkunde*. Urban & Fischer, München, 2001, S.165-182
69. Ingle, JE and Bakland, LK: *Endodontics*. 5.Aufl. BC Decker Inc., Hamilton, Ontario, Kanada, 2002
70. Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T: Percentage of canals filled in apical cross sections – an in vitro study of seven obturation techniques. *Int Endod J* 37 (2004) 392-398
71. Johnson WB: A new gutta-percha filling technique. *J Endod* 4 (1978) 184-188
72. Kaffe I, Kaufmann A, Littner MM, Lazarson A: Radiographic study of the root canal system of mandibular anterior teeth. *Int Endod J* 18 (1985) 253-259
73. Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO: An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root canal obturation system. *J Endod* 29 (2003) 658-661
74. Kersten H, Moorer WR: Particles and molecules in endodontic leakage. *Int Endod J* 22 (1989) 118-124
75. Khademi A, Mohammadi Z, Havaee A: Evaluation of the antibacterial substantivity of several intra-canal agents. *Aust Endod J* 32 (2006) 112-115
76. Kim E, Marmo M, Lee CY, Oh NS, Kim IK: An in vivo comparison of working length determination by only root-ZX apex locator versus combining root-ZX apex locator with radiographs using a new

impression technique. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 105 (2008) 79-83

77. Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR: Effect of sealer thickness on long-term sealing ability. a 2-years follows up study. *Int Endod J* 30 (1997) 307-312
78. Kos WL, Aulozzi DP, Gerstein H: A comparative bacterial microleakage study of retrofilling materials. *J Endod* 8 (1982) 355-358
79. Kvist T: Endodontic retreatment. Aspects of decision making and clinical outcome. *Swed Dent J* 144 (2001) 1-57
80. Langeland K: Root canal sealants and pastes. *Dent Clin North Am* 18 (1974) 309-327
81. Langeland K: Management of the inflamed pulp associated with deep carious lesion. *J Endod* 7 (1981) 169-181
82. Larder TC, Prescott AJ, Brayton SM: Gutta-percha: a comparative study of three methods of obturation. *J Endod* 2 (1976) 289-294
83. Lautenschlager EP, Monaghan P: Titanium and titanium alloys as dental materials. *Int Endod J* 43 (1993) 245-253
84. Levitan ME, Himel VT, Luckey JB: The effect of insertion rates on fill length and adaptation of a thermoplasticized gutta-percha techniques. *J Endod* 29 (2003) 505-508
85. Lin L, Langeland K: Innervation of the inflammatory periapical lesion. *Oral Surg* 51 (1981) 535-543
86. Lin YH, Mickel AK, Chogle S: Effectiveness of selected materials against *Enterococcus faecalis*: part 3. The antibacterial effect of calcium

- hydroxide and chlorhexidine on *Enterococcus faecalis*. *J Endod* 9 (2003) 565-566
87. Liu SB, Fan B, Cheung GS, Peng B, Fan MW, Gutmann JL, Song YL, Fu Q, Bian Z: Cleaning effectiveness and shaping ability of rotary ProTaper compared with rotary GT and manual K-Flexofile. *Am J Dent* 19 (2006) 353-358
88. Louw NP, Pameijer CH, Norval G: Histopathological Evaluation of Root Canal Sealer in Subhuman Primates. *J Dent Res* 80 (2001) 654
89. McMichen FR, Pearson G, Rhabaran S, Gulabivala K: A comparative study of selected physical properties of five root canal sealers. *Int Endod J* 36 (2003) 629-635
90. Miletic I, Ribaric SP, Karlovic Z, Jukic S, Bosnjak A, Anic I: Apical leakage of five root canal sealers after one years of storage. *J Endod* 28 (2002) 431-432
91. Miller, WD: *Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde*. 3.Aufl. Thieme Verlag, Leipzig, 1903
92. Moorer WR, Wesselink PR: Factors promoting the tissue dissolving capability of sodium hypochlorite. *Int Endod J* 15 (1982) 187-196
93. Morgan LF, Montgomery S: An evaluation of the crown-down pressureless technique. *J Endod* 10 (1984) 491-498
94. Naenni N, Thoma K, Zehnder M: Soft tissue dissolution capacity of currently used and potential endodontic irrigants. *J Endod* 30 (2004) 785-787
95. Nagy C, Bartha K, Bernáth M, Verdes E, Szabó J: A comparative study of seven instruments in shaping the root canal in vitro. *Int Endod J* 30 (1997) 124-132

96. Nergiz I, Schmage R, Platzer U: Abzugskraftmessungen bei Wurzelstiften mit verschiedenen Oberflächen. Dtsch Zahnärztl Z 48 (1993) 661-664
97. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE: Dimensional change following setting of root canal sealer materials. Dent Mater 17 (2001) 512-519
98. Parashos P, Messer HH: Rotary NiTi instrument fracture and its consequences. J Endod 32 (2006) 1031-1043
99. Peak JD, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM: The outcome of root canal treatment. A retrospective study within the armed forces (Royal Air Force). Br Dent J 190 (2001) 140-144
100. Perez F, Calas P, de Falguerolles A, Maurette A: Migration of a streptococcus sanguis strain through the root dentinal tubules. J Endod 19 (1993) 297-301
101. Peters DD: Two year in vitro solubility evaluation of four Gutta-percha sealer obturation techniques. J Endod 12 (1986) 139-145
102. Peters LB: Zur Frage der Infektion von Dentinkanälchen. Endodontie 2 (1993) 239-244
103. Pommel L, Camps J: In vitro apical leakage of system B compared with other filling techniques. J Endod 27 (2001) 449-451
104. Pruett JP, Clemen DJ, Carnes DL: Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments. J Endod 23 (1997) 77-85
105. Reader CM, Himel VT, Germain LP, Hoen MM: Effect of three filling techniques on the filling of lateral canals and the main canal. J Endod 19 (1993) 404-408

106. Rödiger T, Hülsmann M, Kahlmeier C: Comparison of root canal preparation with two rotary NiTi instruments: ProFile .04 and GT Rotary. *Int Endod J* 40 (2007) 553-562
107. Roggendorf MJ, Ebert J, Dennerlein M, Frankenberger R, Petschelt A: Coronal and apikal mikroleakage of root canal fillings with /without guttapercha. *J Dent Res* 83 (2004) Abstract 2856
108. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R: Influence of moisture on the apical seal of root canal fillings with five different types of sealer. *J Endod* 33 (2007) 31-33
109. Saunders WP, Saunders EM: The effect of smear layer upon the coronal leakage of gutta-percha fillings and a glass ionomer sealer. *Int Endod J* 25 (1992) 245-249
110. Saunders W, Saunders W: Coronal leakage as a cause of failure in root canal therapy. a review. *Endod Dent Traumatol* 10 (1994) 105-108
111. Scelza MF, Antoniazzi JH, Scelza P: Efficacy of final irrigation--a scanning electron microscopic evaluation. *J Endod* 26 (2000) 355-358
112. Schäfer E: Wurzelkanalfüllmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 55 (2000a) 15-25
113. Schäfer, E: Struktur der Pulpa und ihre Erkrankungsformen. In: Heidmann, D.(Hrsg): *Endodontie*. Urban & Fischer, München / Jena, 2001, S.1-24
114. Schäfer E: Weitere Verbesserungen auf dem Sektor der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung? Das HERO 642-System. *Dtsch Zahnärztl Z* 57 (2002a) 395
115. Schäfer E: Lang, Länger, Puff - Was ist als die optimale endodontische Arbeitslänge anzusehen? *Dtsch Zahnärztl Z* 60 (2005) 373

116. Schäfer E, Hickel R, Guertsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab W: Wurzelkanalaufbereitungen. Dtsch Zahnärztl Z 55 (2000b) 730-740
117. Schäfer E, Olthoff G: Effect of three different sealers on the sealing ability of both thermafil obturators and cold laterally compacted Gutta-Percha. J Endod 28 (2002b) 638-642
118. Schäfer E, Tepel J: Formveränderungen gekrümmter Wurzelkanäle nach standardisierter Aufbereitung. Dtsch Zahnärztl Z 48 (1993) 653-658
119. Schilder H: Filling root canals in Three dimension. Dent Clin North Am 11 (1967) 723-744
120. Schilder H: Cleaning and Shaping the root canal. (1974). Dent Clin North Am 18 (1974) 269-296
121. Schröder, HE: Orale Strukturbiologie. 4. Aufl., Thieme Verlag, Stuttgart, 1992
122. Scott AC, Vire DE, Swanson R: An evaluation of the Thermafil endodontic obturations technique. J Endod 18 (1993) 340-343
123. Sevimay S, Kalayci A: Evaluation of apical sealing ability and adaptation to dentine of two resin-based sealers. J Oral Rehabil 32 (2005) 105-110
124. Siqueira jr JF: Aetiology of root canal failure: why well-treated teeth can fail. Int Endod J 34 (2001) 1-10
125. Sirtes G, Waltimo T, Schaetzle M, Zehnder M: The effects of temperature on sodium hypochlorite short-term stability, pulp dissolution capacity, and antimicrobial efficacy. J Endod 31 (2005) 669-671

126. Smith DW, Wong M: Comparison of apical leakage in teeth obturated with a polyamide varnish or zinc oxide and eugenol cement using lateral condensation. *J Endod* 18 (1992) 25-27
127. Sobhi MB, Rana MJ, Ibrahim M, Tasleem uL Hudda: Comparison of vertical with lateral condensation techniques in obturation of root canal system. *J Coll Physicians Surg Pac* 14 (2004) 455-458
128. Spångberg L: Biological effects of root canal filling materials. *Odont Revy* 20 (1969) 123-145
129. Städtler P, Kqiku L, Weiglein A: Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung mit unterschiedlichen Obturationsmethoden. *Dtsch Zahnärztl Z* 59 (2004) 393-397
130. Staribratova-Reister K, Reister JP, Attin T, Martus P, Kielbassa AM: Apical leakage in maxillary type IV premolars with three different endodontic treatments. *Clin Oral Investig* 7 (2003) 148-153
131. Strindberg LZ: The dependence of the results of pulp therapy on Certain Factors, an Analytic study Based on Radiographic and Clinical Follow-up Examination. *Acta Odontol Scand* 14 (1956) 2-101
132. Tamse A, Katz A, Kablan F: Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J* 31 (1998) 333-337
133. Thompson SA, Dummer PM: Shaping ability of HERO 642 rotary nickel-titaniums instruments in simulated root canals. *Int Endod J* 32 Parts 1 and 2 (2000) 248-254
134. Tronstad L, Barnett F, Riso K, Slots J: Extraradicular endodontic infections. *Endod Dent Traumatol* 3 (1987) 86-90

135. Unverdorn D, Petschelt A, Hickel R: Dichte von Wurzelkanalfüllungen bewährter und neuer Techniken. Dtsch Zahnärztl Z 47 (1992) 486-489
136. Van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR: Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. Int Endod J 40 (2007) 415-426
137. Venturi M, Breschi L: Evaluation of apical filling after warm vertical gutta-percha compaction using different procedures. J Endod 30 (2004) 436-440
138. von Fraunhofer JA, Fagundes DK, McDonald NJ, Dumsha TC: The effect of root canal preparation on microleakage within endodontically treated teeth. An in vitro study Int Endod J 33 (2000) 355-360
139. Voß, A: Die Wurzelkanallängenbestimmung - Röntgenologisch oder endometrisch. In: APW (Hrsg): Endodontie, Hanser, München, 1993
140. Voß A, Heidemann D, Raab W, Schäfer E, Petschelt A, Weiger R, Hülsmann M: Die Bestimmung der endodontischen Arbeitslänge. Dtsch Zahnärztl Z 59 (2004) Stellungnahme DGZMK
141. Walia HM, Brantley WA, Gerstein H: An initial investigation of bending and torsional properties of nitinol root canal files. J Endod 14 (1988) 346-351
142. Wei Y, Yan H, Ma Q: Periapical microleakage of root canals filled with four kinds of sealers using two obturation techniques. Beijing Da Xue Xue Bao 40 (2008) 71-73
143. Weiger R, Guertsen W, Heidemann D, Löst C, Petschelt A, Raab W, Schäfer E, Hickel R: Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen. Dtsch Zahnärztl Z 56 (2001) Stellungnahme DGZMK

144. Weiger R, Löst C, Hülsmann M: Die Revision der Wurzelkanalbehandlungen. Indikationsstellung. *Endodontie* 3 (1994) 27-37
145. Weine FS, Kelly RF, Lio P: The effect of preparation procedures on original canal shape and on apical foramen shape. *J Endod* 1 (1975) 255-262
146. Weis MV, Parashos P, Messer HH: Effect of obturation technique on sealer cement thickness and dentinal tubule penetration. *Int Endod J*, 37 (2004) 653-663
147. Wimonchit S, Timpawat S, Vongsavan N: A comparison of techniques for assessment of coronal dye leakage. *J Endod* 28 (2002) 1-4
148. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR: Fluid transport and dye penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 27 (1994a) 233-238
149. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR: Leakage of four root canal sealers at different thickness. *Int Endod J* 27 (1994b) 304-308
151. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR: Sealer distribution in root canal obturated by three techniques. *Int Endod J* 33 (2000a) 340-345
152. Wu MK, Van der Sluis LW, Ardila CN, Wesselink PR: Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques. *Int Endod J* 36 (2003) 533-540
153. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE: Apical terminus location of root canal treatment procedure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 89 (2000b) 99-103
154. Wu MK, Wesselink PR: Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J* 26 (1993) 37-43

155. Wu MK, Wesselink PR, Boersma J: A1-year follow up study on leakage of four root canal sealers at different thickness. *Int Endod J* 28 (1995) 185-189
156. Xu Q, Lin JQ, Chen H, Wei X: Clinical evaluation of Nickel-titanium rotary instruments Hero 642 in root canal preparation. *Shanghai Kou Qiang Yi Xue*. 14 (2005) 2-5
157. Yared GM, Kulkarni GK: Failure of ProFile Ni-Ti instruments used by an inexperienced operator under access limitations. *Int Endod J* 35 (2002) 536-541
158. Zamany A, Safavi K, Spangberg LS: The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96 (2003) 578-581
159. Zmener O, Pameijer CH, Macri E: Evaluation of the apical seal in root canals prepared with a new rotary system and obturated with a methacrylate based endodontic sealer: An in vitro study. *J Endod* 31 (2005) 392-395

9 Thesen

1. Für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist ein dichte, homogene und randdichte Wurzelfüllung von entscheidender Bedeutung.
2. Das in dieser Arbeit verwendete Prinzip der Querschnittsuntersuchung ist neben der Farbstoffpenetration eine gute Möglichkeit, die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen zu untersuchen.
3. Die Penetrationsuntersuchung sowie die Querschnittsuntersuchung weisen bezüglich der Dichtigkeit in die gleiche Richtung.
4. Thermafil[®] und die vertikale Kondensation erzeugen einen dichten Wurzelkanalverschluss und stellen eine Alternative zur bewährten lateralen Kondensation dar.
5. Die Penetrationsuntersuchung zeigt, dass die vertikale Kondensation gegenüber dem Thermafil[®]-System geringere Penetrationstiefen hat. Dieser Unterschied ist jedoch nicht signifikant.
6. Die Zentralstifttechnik liefert bei Verwendung von AH Plus[®] oder EndoREZ[®] nur befriedigende Ergebnisse.
7. Die Auswertung der Ergebnisse lässt darauf schließen, dass die Zusammensetzung des Sealers Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung nimmt.
8. Der Sealer AH Plus[®] in Verbindung mit Obturationstechniken warmer Guttapercha liefert dichte Wurzelfüllungen.
9. Der Sealer EndoREZ[®] scheint in Verbindung mit den unterschiedlichen Obturationstechniken keine Vorteile gegenüber AH Plus[®] zu erzeugen.

10. Die hydrophilen Eigenschaften des Sealer EndoREZ bewirken keine Verbesserung in der Dichtigkeit im Vergleich AH Plus®.

Lebenslauf

Angaben zur Person:

Name: Krüger
Vorname: Thomas
Geburtsdatum: 24.10.1971
Geburtsort: Magdeburg
Wohnadresse: August – Bebel - Strasse 1, 06108 Halle
Familienstand: ledig
Nationalität: deutsch

Schulbildung / Tätigkeiten

1978 – 1988 Allg. Oberschule Bertolt Brecht, Magdeburg
1988 - 1990 Ausbildung zum Elektrosignalmechaniker
im IwSFP Magdeburg
1990 - 1992 Tätigkeit als Elektroniker bei J. Danziger (privater
Elektromeister, Magdeburg)
1992 – 1994 Ausbildung zum Datenverarbeitungskaufmann in
Bildungsvereinigung Magdeburg mit IHK Abschluss
1995 – 1996 Tätigkeit als kaufm. Mitarbeiter im Außendienst bei der
Gehe Pharmahandel GmbH Magdeburg
1996 – 1999 Erwerb der Allg. Hochschulreife am Kolleg Magdeburg
1999 – 2006 Studium der Zahnmedizin an der MLU Halle/ Wittenberg
2006 Staatsexamen und Approbation als Zahnarzt
seit 1.01.2007 Tätigkeit als Zahnarzt in der Zahnarztpraxis Berg
Köthener Strasse 13 - 15, 06118 Halle

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit ohne unzulässige Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe. Die aus anderen Quellen direkt oder indirekt übernommenen Daten und Konzepte sind unter Angabe der Quelle gekennzeichnet.

Ich versichere, dass ich für die inhaltliche Erstellung der vorliegenden Arbeit nicht die entgeltliche Hilfe von Vermittlungs- und Beratungsdiensten (Promotionsberater oder andere Personen) in Anspruch genommen habe. Niemand hat von mir unmittelbar oder mittelbar geldwerte Leistungen für Arbeiten erhalten, die im Zusammenhang mit dem Inhalt der vorgelegten Dissertation stehen. Die Arbeit wurde bisher weder im In- noch im Ausland in gleicher oder ähnlicher Form einer anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Ort, Datum

Thomas Krüger

Publikationen von Ergebnissen der Arbeit

1. Gernhardt CR, Krüger T, Bekes K, Schaller HG: Apical sealing ability of two epoxy resin-based sealers used with root canal obturation techniques base on warm gutta-percha compared to cold lateral condensation. Quintessence Int 38;(2007): 229- 234.
2. Bekes K, Krüger T, Gernhardt CR, Schaller HG: Apical seal in root canals with three different obturation techniques and two resin-based sealers. Int Poster J Dent Oral Med; 8 (4) (2006)
3. Bekes K, Gernhardt CR, Krueger T, Schaller HG: Apical Mikroleakage of Four Different Obturation Techniques, J Dent Res 84 (Spec Iss A): Abstract (2005)
4. Bekes K, Krüger T, Gernhardt C, Schaller HG: Einfluss verschiedener Techniken auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit EndoRez in vitro. Dtsch Zahnärztl Z 60 (Supplement 2005): A159 (Abstract P178) (2005).
5. Krüger T, Bekes K, Gernhardt CR, Schaller HG: Einfluss verschiedener Techniken auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelfüllungen. 7. Friedrich-Ludwig-Hesse-Symposium für Studenten und junge Wissenschaftler. 2006, Abstract Nr. 5.

Wissenschaftliche Vorträge

- | | |
|------|--|
| 2005 | Bekes K, Gernhardt CR, Krueger T, Schaller HG: Apical Mikroleakage of Four Different Obturation Techniques, IADR/AADR/CADR 83rd General Session (March 9, 2005) |
| 2006 | Krüger T, Bekes K, Gernhardt CR, Schaller HG: Einfluss verschiedener Techniken auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelfüllungen. 7. Friedrich-Ludwig-Hesse-Symposium für Studenten und junge Wissenschaftler. 6. Oktober 2006, Leipzig. |

Posterpräsentationen

- 2005 Bekes K, Krüger T, Gernhardt CR, Schaller HG: Einfluss verschiedener Techniken auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit EndoRez in vitro (Nr. P 178). ZMK 2005, Zahnmedizin interdisziplinär. Gemeinsame Jahrestagung der wissenschaftlichen Gesellschaften der DGZMK, 26. – 30. Oktober 2005, Berlin.

DANKSAGUNG

Mein Dank gilt:

Herrn Prof. Dr. H.-G. Schaller und Herr OA Dr. Christian Gernhard für die Überlassung des interessanten Themas und die Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit.

Frau Dr. Katrin Bekes für die konstruktiven Gespräche sowie den hilfreichen und kritischen Anmerkungen.

Herrn Prof. Dr. K.-E. Dette und Herrn Dr. Matthias Kebernik für die Unterstützung bei der Anfertigung der Fotos

Herrn Prof. Dr. A. Stiefel für die Unterstützung bei der Herstellung der Farbstofflösung.