

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



**Der Einfluss unterschiedlicher Obturatorgrößen
auf die apikale Dichtigkeit von
ThermaFil Wurzelfüllungen – in vitro**

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

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

von Robert Brockmann
geboren am 20.05.1976 in Berlin – Pankow

Gutachter:

1. Prof. Dr. H.-G. Schaller
2. Prof. Dr. Kielbassa (Berlin)

verteidigt am: 09.01.2008 in Halle / Saale

urn:nbn:de:gbv:3-000013026

[<http://nbn-resolving.de/urn/resolver.pl?urn=nbn%3Ade%3Agbv%3A3-000013026>]

Meiner Familie

Der dauerhafte, dreidimensionale und bakteriendichte Verschluss des Wurzelkanals ist eine wichtige Voraussetzung für eine erfolgreiche endodontische Behandlung. Für die Obturation eines Wurzelkanals setzt sich zunehmend der Trend durch, dass die etablierten Kondensationstechniken durch die Verwendung thermoplastischer Guttapercha abgelöst werden. Jedoch besteht während der Anwendung von thermoplastischer Guttapercha das Problem, dass im Zuge der Abkühlungsphase eine Volumenschrumpfung des Materials auftritt, die sich negativ auf die Dichtigkeit der Wurzelfüllung auswirkt. Ziel dieser Arbeit war das apikale Abdichtungsverhalten von Wurzelfüllungen mit verschiedenen Größen von ThermaFil®-Stiften in einer In-vitro-Studie zu untersuchen und die Extrusionseigenschaften zu bewerten. Im Zuge dieser In Vitro Studie wurden 90 humane und einkanäle Z Zähne bis zur Kanalgröße ISO 40 mit dem ProFile®-System, unter stetiger Wechselfspülung mit Chlorhexidin und 1%iger Natriumhypochloridlösung, aufbereitet. Alle Proben wurden in 5 Versuchsgruppen aufgeteilt zu je 18 Proben und die Zähne mit den gruppenspezifischen ThermaFil®- Stiftgrößen in Kombination mit dem Sealer AH Plus® obturiert (Kontrollgruppe A: ISO 40, Gruppe B: ISO 35, Gruppe C: ISO 30, Gruppe D: ISO 25 und Gruppe E: ISO 20). Anschließend sind die Proben für 14 Tage in 5%iger Methylenblaulösung gelagert worden. Die Zähne wurden zahnachsengerecht aufgeschliffen und unter einem Auflichtmikroskop die apikale Eindringtiefe der Farbstofflösung gemessen. Zusätzlich wurde der apikale Bereich unmittelbar nach der Obturation auf das Vorhandensein von überpreßtem Material untersucht. Die Penetrationsergebnisse zeigten keinen signifikanten Unterschied zwischen den Versuchsgruppen A ($1916\mu\text{m} \pm 720$), B ($1516\mu\text{m} \pm 584$) und C ($1483\mu\text{m} \pm 484$). Die höchsten Durchlässigkeiten wurden in den Gruppen D und E gefunden. Der Unterschied war signifikant zu den Gruppen A, B und C. Die Anzahl an Proben mit extrudiertem Füllungsmaterial nahm korrelierend mit der Stiftgröße ab. Aus den Ergebnissen dieser in vitro Studie kann geschlussfolgert werden, dass die Verwendung von ThermaFil®-Stiften, die 1 bis 2 ISO-Größen kleiner sind als die Aufbereitungsgröße, keinen negativen Einfluss auf die apikale Dichtigkeit hat. Für eine abschließende Bewertung sollte diese Beurteilung in weiteren In-Vitro- und In-Vivo- Untersuchungen verifiziert werden.

Brockmann, Robert: Der Einfluss unterschiedlicher Obturatorgrößen auf die apikale Dichtigkeit von ThermaFil Wurzelfüllungen – in vitro. Halle, Univ., Diss., 68 Seiten, 2008

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Anatomie des Zahnes	3
2.2 Endodontie	
2.2.1 Ursachen von Pulpaerkrankungen	4
2.2.2 Arten der Pulpaerkrankungen	5
2.2.3 Probleme und Folgen von Pulpaerkrankungen	7
2.2.4 Ziele der endodontischen Behandlung	8
2.2.5 Wurzelkanalaufbereitungssysteme	8
2.2.6 Wurzelkanalspülung	13
2.2.7 Wurzelkanalfüllungssysteme	15
2.2.8 Prognose von wurzelkanalbehandelten Zähnen	23
2.3 Ziel der Untersuchung	24
3. Material und Methode	25
3.1 Material	25
3.1.1 Versuchszähne	25
3.1.2 Materialien zur Trepanation und Wurzelkanalaufbereitung	25
3.1.3 Spüllösungen	28
3.1.4 Materialien zur Obturation der Wurzelkanäle	29
3.1.5 Materialien zur Probenherstellung	31
3.2 Methode	32
3.2.1 Probenvorbereitung	32
3.2.2 Versuchseinteilung	34
3.2.3 Probenherstellung	34

3.2.4 Mikroskopische Beurteilung	35
3.2.5 Makroskopische Beurteilung	37
3.2.6 Statistische Auswertung	37
4. Ergebnisse	38
4.1 Penetrationsergebnisse	38
4.2 Extrusionsergebnisse	40
4.3 Statistische Analyse	44
5. Diskussion	45
5.1 Versuchsaufbau	45
5.2 Untersuchungsmethode	47
5.3 Ergebnisanalyse	50
6. Schlussfolgerung	55
7. Zusammenfassung	59
8. Literaturverzeichnis	67
9. Thesen	68

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Bis-GMA	Bisphenyl-A-Glycidyl-Methacrylat
C	chemisches Element; Kohlenstoff
CHX	Chlorhexidindigluconat
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-,Mund-und Kieferheilkunde
EDTA	Ethylendiamintetraessigsäure
F	chemisches Element; Ferrum, Eisen
FG	Friction Grip
Gew-%	Gewichtsprozent
H	chemisches Element; Hydrogenium
ISO	International Organization for Standardization
µm	Micrometer
mm	Millimeter
N	chemisches Element; Nitrogenium, Stickstoff
O	chemisches Element;Oxygenium, Sauerstoff
U/min	Umdrehungen pro Minute
VEB	Volkseigener Betrieb
Vol-%	Volumenprozent

1. Einleitung

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

(Richtlinien der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie).

In den letzten Jahrzehnten haben zahnerhaltende und vor allem endodontische Maßnahmen immer mehr an Bedeutung gewonnen. Dies resultiert sicherlich aus der weiterhin bestehenden Behandlungsbedürftigkeit von Zähnen und dem Wunsch der Patienten auf Erhalt der natürlichen Zähne aus ökonomischen, ästhetischen und funktionellen Gründen.

Die Anfänge der Endodontologie reichen mehrere Jahrhunderte weit zurück. Schon 1728 beschrieb Pierre Fauchard eine Wurzelfüllung aus Blei; und auch von Dr. Edward Hudson aus dem Jahre 1824 liegen Aufzeichnungen von Wurzelfüllungen aus Gold vor: „Stuffing the cavity of one tooth from the end of its root with gold“ (Baumann M.A. Endodontics Review and Preview).

Viele neu- und weiterentwickelte Methoden und Materialien der Vergangenheit finden in der Gegenwart meist in abgewandelter Weise noch ihre Anwendung. Der Leitsatz von Prof. Walkhoff aus dem Jahre 1910, dass „Die Grundprinzipien der Endodontie aus Asepsis, chemischer und mechanischer Reinigung und der Obturation des Wurzelkanals bestehen“, hat noch heutzutage nicht nur seine Gültigkeit, sondern bestimmt in den Grundzügen den Ablauf einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung. Die Entfernung der Bakterien und der bakteriell infizierten Zahnschmelz erfolgt mit chemisch desinfizierenden Spüllösungen und speziellen Wurzelkanalinstrumenten zur Bearbeitung und Ausformung der Wurzelkanäle. Da das Wurzelhohlraumssystem meist nicht vollständig von Bakterien befreit werden kann, ist ein dichter Verschluss des Wurzelkanals, über die gesamte Wurzelkanallänge, besonders wichtig (Peters, 2001). Nur so kann eine Flüssigkeitsverschiebung innerhalb des Wurzelkanalsystems unterbunden werden, um damit den Substrattransport als Nahrungsgrundlage für Bakterien zu verhindern. Voraussetzungen hierfür

sind eine optimale Adaptation und Kongruenz der Füllung an die Kanalwand, sowie eine blasenfreie Wurzelfüllung, die keinen Raum für ein erneutes Bakterienwachstum bietet. Zudem ist ein dichter apikaler Verschluss zum periapikalen Gewebe unerlässlich, damit eine Reinfektion durch Bakterieninvasion und eine erneute Nährstoffzufuhr durch Gewebeflüssigkeit in den Kanal unterbunden werden kann.

Für den Verschluss eines Wurzelkanals steht eine große Auswahl an Obturationstechniken zur Verfügung, welche meistens in Kombination mit dem Werkstoff Guttapercha und einem Wurzelkanalzement, dem so genannten Sealer, verwendet werden.

Etablierte Füllungsmethoden sind die Kondensationstechniken, aus denen sich die laterale Kondensation als Methode der Wahl herausgestellt hat.

Trotz des Standards der Vorgehensweise und einer langen Behandlungserfahrung mit unterschiedlichen Methoden und Materialien lagen die Erfolgsquoten von Wurzelkanalbehandlungen, die in verschiedenen Studien untersucht wurden, in einer breiten Spanne zwischen 40% und 90% (Sjögren, 1990; Friedmann, 1995; Weiger, 1997; Ridell, 2006). Auch die Qualität von Wurzelfüllungen, hinsichtlich Homogenität, Blasenfreiheit, überpresstes Füllmaterial und Vollständigkeit der Füllung über die gesamte Arbeitslänge, wurde in Studien untersucht und in mehr als 50% der Wurzelkanalbehandlungen als insuffizient eingestuft (Hülsmann, 1991 & 1998).

Eine andere Art und Weise der Füllungstechnik ist die thermoplastische Füllung mit Thermafil[®], die eine einfache und schnelle Obturationsmethode darstellt. Ein Kunststoffmasterpoint, der mit einem Guttaperchamantel umgeben ist, wird in einem speziellen Ofen erhitzt und dann bis zur Arbeitslänge in den Kanal eingeführt.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die apikale Dichtigkeit und das Extrusionspotenzial von Thermafil[®]-Wurzelfüllungen in Abhängigkeit von unterschiedlichen Thermafil[®]-Stift-Größen bei standardisierter Aufbereitungsgröße zu untersuchen.

2. Literaturübersicht

2.1 Anatomie des Zahnes

Um zahnerhaltende endodontische Maßnahmen an einem Zahn durchführen zu können, sind strukturelle und anatomische Kenntnisse über den Zahn und das Wurzelkanalsystem wichtige Voraussetzungen für eine erfolgreiche Behandlung.

Der menschliche Zahn besteht aus Schmelz, Zement und zum überwiegenden Teil aus Dentin, der den Weichgewebekern, die Pulpa, umgibt. Das ausgereifte Dentin setzt sich aus Dentinkanälchen zusammen, die von der innersten Odontoblastenzone der Pulpa in Richtung Schmelz verlaufen und einen Odontoblastenfortsatz mit sich führen. Durch eine lebenslange Dentinbildung und eine peritubuläre Mineralisation verkleinern sich die Durchmesser der Dentintubuli von der Prädentinschicht bis zur Schmelz-Dentin-Grenze von etwa 3-4 μm auf 0,9 μm (Gängler, 1995). Die Querschnittsfläche eines Zahnes besteht im peripheren Dentin zu etwa 4% und im zirkumpulpalen Dentin zu ca. 80 % aus den Lumen der Dentinkanälchen (Hellwig, 1999). Damit liegt durch die Dentintubuli ein Hohlraumsystem vor, welches volumenmäßig annähernd so groß ist, wie der Raum der primären Wurzelkanäle die vom Pulpagewebe eingenommen wird.

Die Pulpa, die im Cavum dentis und in den Wurzelkanälen verläuft, steht über das Foramen apicale mit dem umgebenden Parodontium in Verbindung, durch das Blutgefäße und Nerven dem Zahn zu- und abgeführt werden. Die Wurzelpulpa kommuniziert nicht nur durch das Foramen apikale mit dem Parodontium, sondern auch durch Seitenkanäle, akzessorische Kanäle und Pulpaperiodontalkanäle (Hellwig, 1995). Ferner stellt sich der primäre Wurzelkanal oft nicht einheitsgemäß standardisierbar in seinem Aufbau dar. Es können unterschiedliche Typen von Wurzelkanälen differenziert werden, die hinsichtlich der Lage, Verlauf, Aufzweigung, Anzahl und Form verschieden sein können. Auch erscheint der Wurzelkanal in der frühen Entwicklungsphase noch einfach strukturiert. Erst im Zuge der Funktionsperiode des Zahnes kommt es zur Bildung von ausgeprägten Aufteilungen und Verzweigungen des Hauptkanals, vor allem im apikalen Bereich (Staegemann, 1978).

Aufgrund des strukturellen und anatomischen Aufbaus, der von Zahn zu Zahn und individuell verschieden ist, erklären sich die Schwierigkeiten und die Probleme, die bei der Behandlung von pulpaerkrankten Zähnen auftreten können.

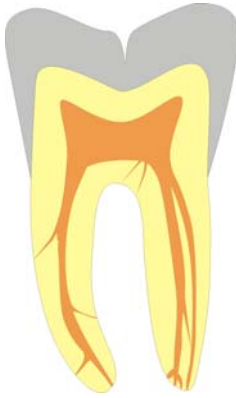


Abb. 1

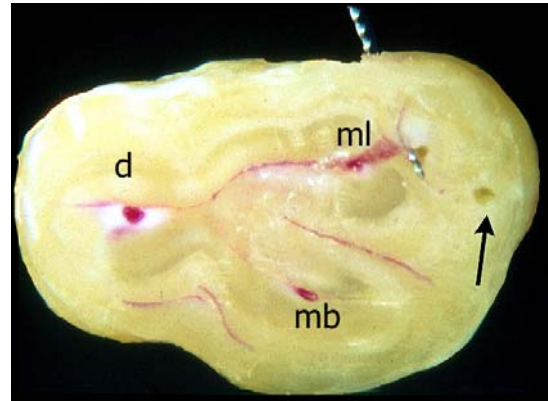


Abb. 2

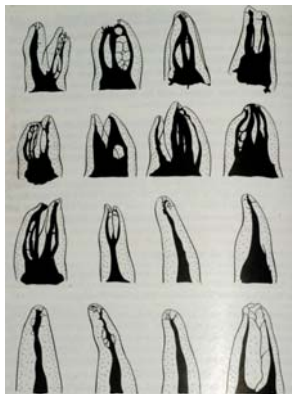


Abb.3

Abbildung 1 : Aufteilungen und Verzweigungen des Pulpasystems

Abbildung 2 : Querschnitt durch eine fusionierte Wurzel eines Unterkiefermolaren; mit Hilfe eines Farbstoffes sind der distale (d), die mesialen (mv, ml) Kanäle und deren horizontalen Anastomosen sichtbar gemacht worden; akzessorische Kanäle sind auch erkennbar (Wurzelinstrument, Pfeil)

Abbildung 3 : Beispiele von der Vielzahl an Kanalkonfigurationen eines Oberkiefermolaren

2.2 Endodontie

2.2.1 Ursachen von Pulpaerkrankungen

Aufgrund eines überschwelligeren Reizes reagiert die Pulpa mit einer entzündlichen Antwort, wodurch es zu einer Pulpaerkrankung kommen kann. Die anfangs noch reversible Pulpaentzündung kann bei andauernder und überschwelliger Reizeinwirkung in eine irreversible Pulpitis übergehen. Im Zuge des reagierenden Gefäß- und Immunsystems kommt es auch zur

Zerstörung von körpereigenen Zellen. Durch den Zerfall der Zellen werden toxische zelluläre Zerfallsprodukte freigesetzt, die zu einer erneuten Destruktion von weiterem pulpaalem Gewebe führt. Bei fortschreitender Pulpaschädigung kommt es zur Bildung einer Nekrose.

Die Hauptursache für eine Pulpitis ist mit etwa 95% die Bakterieninvasion aufgrund von Karies (Schäfer, 2001). Neben der infektiös bedingten Pulpitis durch Karies oder einer retrograden Infektion aufgrund einer tiefen marginalen Parodontalerkrankung, im Sinne einer Paro-Endo-Läsion, können auch iatrogene Faktoren Pulpaerkrankungen hervorrufen. Bei zahnärztlichen Maßnahmen kann es zu chemischen und physikalischen Reizungen kommen. Im Zuge einer Füllungstherapie können die Füllungsmaterialien und ihre Bestandteile chemische Reizungen und Schädigungen der Pulpa verursachen. Weitere häufige iatrogene Schädigungen der Pulpa treten durch Kronen- und Kavitätenpräparationen und durch ausgedehntes Austrocknen des Dentins auf (Kerschbaum, 1981). Im Zuge von kieferorthopädischen Positionsänderungen kann die Anwendung von zu großen Kräften die zuführenden und abführenden Pulpgefäße stauchen, verletzen oder sogar abreißen lassen.

Auch traumatische Zahnverletzungen können der Grund für eine Pulpaerkrankung sein. Bei komplizierten Kronenfrakturen, mit breitflächiger Eröffnung der Pulpa, können orale pathogene Keime durch eine Invasion eine bakterieninfizierte Pulpitis auslösen. Ebenso kann eine traumatische Zahnluxation durch teilweises oder komplettes Abtrennen des Gefäß- und Nervenstranges eine Pulpaschädigung verursachen und eine Wurzelkanalbehandlung erforderlich machen.

Bei nicht bakteriell verursachten Pulpitiden und Nekrosen der Pulpa kann eine sekundäre Infektion durch Bakterien über den Parodontalspalt erfolgen.

2.2.2 Arten der Pulpaerkrankungen

Die entzündlichen Reaktionen einer Pulpa, aufgrund eines überschwelligeren Reizes, können klassisch in verschiedene Stadien eingeteilt werden. Jedoch ist die diagnostische Differenzierung dieser Stadien oft sehr schwierig, da sie

teilweise nur kurzzeitig existieren und nach- bzw. nebeneinander auftreten können.

Eine Pulpaentzündung kann unterschieden werden in Pulpitiden an Zähnen mit geschlossenem Pulpencavum und offenem Pulpencavum. Bei geschlossenem Cavum entwickelt sich aufgrund eines Reizes eine Hyperämie als Initialstadium einer Entzündung, die kombiniert mit einer mediatorisch induzierten Blutgefäßreaktion zu einer Zirkulationstörung führt. Aufgrund dessen und durch die daraus resultierende Gefäßstase, die eine Azidose und Hypoxie erzeugt, kommt es zur Alteration des Pulpagewebes, und es treten Serumbestandteile aus den Gefäßen in das Gewebe über und bilden ein seröses Pulpaödem. Diese sogenannte *Pulpitis acuta serosa* kann sich nur partiell oder über die gesamte Pulpa ausbreiten und wird somit in *partialis* und *totalis* eingeteilt. Bei Fortbestehen der Entzündung treten im Zuge einer Permeabilitätsstörung der Gefäßwände zum überwiegenden Teil Granulozyten, aber auch Monozyten und Lymphozyten, aus der Blutbahn in das Gewebe über und repräsentieren die zelluläre Immunabwehr. Dieses Stadium einer Pulpaentzündung wird *Pulpitis acuta purulenta partialis* oder *totalis* genannt (Becker, 1986).

Da diese Zellen nur eine kurze Lebensdauer besitzen, werden nach ihrem Absterben proteolytische Enzyme und toxische Zellbestandteile freigesetzt, die zu irreversiblen Störungen des Zellstoffwechsels führen. Diese Gewebealteration, die nicht nur durch die Bakterien und ihre Endotoxine hervorgerufen wird, sondern auch durch die Immun- und Gefäßreaktion des Körpers, führt zu Einschmelzungsbereichen im Pulpagewebe, der sogenannten *Pulpanekrose*.

Wenn die Pulpa im Zuge einer ausgedehnten kariösen Läsion oder im Zusammenhang mit einer Frakturöffnung eine direkte Verbindung zur Mundhöhle besitzt, spricht man von einer offenen Pulpitis oder der *Pulpitis aperta*. Eine Form dieser Pulpaerkrankung ist die *Pulpitis ulcerosa*, die aufgrund einer stetigen Noxeneinwirkung auf die freiliegende Pulpa durch eine oberflächliche Ulzeration gekennzeichnet ist. Zum anderen kann es zu einer *Pulpitis granulomatosa* kommen, die sich durch ein proliferierendes Granulationsgewebe auszeichnet, welches eine polypenartige Wachstumsform zeigt (Hellwig, 1995).

2.2.3 Probleme und Folgen von Pulpaerkrankungen

Ein Problem bei bakteriell infizierten Pulpitiden ist das Hohlraumsystem, das den Bakterien eine ökologische Nische bietet, in der sich die Bakterien unerreichbar von der Immunabwehr vermehren können. Neben Bakterien können auch Bakterientoxine, infiziertes oder steriles Pulpagewebe mit und ohne vaskulärem Anschluss und nekrotisches Gewebe im Zuge einer orthograden Wurzelkanalbehandlung in unbehandelten Bereichen verbleiben und den Ausgang einer endodontischen Therapie negativ beeinflussen (Reuver, 2005). Denn nicht nur im Wurzelkanal können sich die Mikroorganismen vermehren, sondern auch in den Seitenkanälen, akzessorischen Kanälen und in den kleinen Kanälen des apikalen Deltas, die eine Verbindung zum infizierten Wurzelkanal besitzen.

Auch in den Dentintubuli können sich Bakterien befinden. Diese sind in der Lage bis zur Dentin-Zementgrenze vorzudringen und sich dort, fern ab der mechanischen und chemischen Reinigung, zu vermehren und stellen somit ein persistierendes Risiko für eine Exazerbation einer Entzündung dar (Peters, 2001). Zudem besitzen Bakterien die Fähigkeit, über das Foramen apicale das periapikale Gewebe zu infiltrieren. Dort können Mikroorganismen und ihre gebildeten Endotoxine eine Entzündung, die sogenannte Parodontitis apicalis, hervorrufen. Diese kann einen akuten oder einen chronischen Verlauf nehmen. Die akute apikale Parodontitis kann durch ein Trauma oder durch ein infektiöses Geschehen hervorgerufen werden und das periapikale Gewebe entzündlich verändern. Zum anderen kann sie aber auch sekundär auf der Grundlage einer bestehenden chronischen Entzündung entstehen und wird dann als „Phönix-Abszess“ oder „sekundärer Abszess“ bezeichnet. Die akute apikale Parodontitis zeigt den klassischen Verlauf aller Entzündungsstadien mit Gefäßreaktion und der Migration von Zellen der körpereigenen Abwehr. Eine besondere Aufmerksamkeit verdienen die lokal vom Körper ausgeschütteten Prostaglandine, die zur Aktivierung von Osteoklasten führen und somit für die schnelle Destruktion des Knochens verantwortlich sind (Barthel, 2001). Bei einer bakteriell induzierten akuten apikalen Parodontitis persistiert die Entzündung und kann die Verlaufsformen eines Abszesses, einer Fistelbildung oder die Chronifizierung der Entzündung aufweisen.

2.2.4 Ziele der endodontischen Behandlung

Die Endodontie befasst sich zum einen mit der Vitalerhaltung der Pulpa und zum anderen mit der Behandlung von Pulpaerkrankungen und der Gesundheit der periradikulären Gewebe.

Die Prävention und die Behandlung von Erkrankungen beider Gewebe ist das primäre Ziel der Endodontie, um den langfristigen Erhalt eines funktionstüchtigen Zahnes zu gewährleisten.

Die Behandlung einer Pulpaerkrankung und gegebenenfalls der periradikulären Strukturen geschieht in der Regel durch eine Wurzelkanalbehandlung. Im Zuge einer endodontischen Behandlung ist es notwendig, den gesamten Wurzelkanal von entzündlich verändertem Pulpengewebe zu befreien und die eventuelle Bakterienlast maximal zu reduzieren. Dies erfolgt zum einen auf mechanischem Wege, indem mit speziellen Instrumenten das verbliebene Weichgewebe, die Pulpa, und im Zuge der Kanalausformung eventuell bakteriell infizierte Zahnschubstanz entfernt wird. Zum anderen wird durch eine ausgiebige Spülung mit Hilfe einer potenten Spüllösung eine Keimreduktion, die Entfernung des Debris, eine erhöhte Gleitfähigkeit der Instrumente und die Auflösung des organischen Debris erreicht. Mit einem dauerhaft bakteriendichten Verschluss des kompletten Wurzelkanals kann der eventuelle Infektionsweg ins periapikale Gewebe unterbunden werden, um so eine apikale Ausheilung zu erreichen und eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung zu bedingen.

2.2.5 Wurzelkanalaufbereitungssysteme

Das Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die Entfernung von erkranktem Pulpagewebe und infiziertem Dentin. Durch die mechanische Aufbereitung erfolgt die Eliminierung der größten Anzahl von Bakterien.

Vorraussetzung ist die Entfernung einer eventuell vorliegenden Karies und erst dann sollte die Trepanation des Zahnes erfolgen. Laut Stellungnahme der DGZMK wird im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung eine absolute Trockenlegung empfohlen. Deshalb sollte vor Beginn der Trepanation und der

Aufbereitung der Zahn durch einen Kofferdam gegenüber der Mundhöhle isoliert werden, um eine Reinfektion durch die orale Bakterienflora zu verhindern, das Verschlucken bzw. die Aspiration von Instrumenten zu vermeiden und die Mundhöhlenschleimhaut vor anzuwendenden Spüllösungen zu schützen.

Nach Entfernen des Pulpagewebes muss die Arbeitslänge bestimmt werden. Dies kann durch die Röntgenmessmethode alleine (Rodig, 2002) oder in Kombination mit einer elektronischen Endometrie erfolgen. Eine Arbeitslängenbestimmung ausschließlich mit der elektronischen Messmethode ist nicht zu empfehlen, da eine exakte Längenbestimmung zu 100% in Studien nicht erreicht werden konnte (Hellwig, 1994; Hor, Attin, 2005; Pommer, 2002). Denn der Zustand der Pulpa kann einen signifikanten Einfluss auf die Genauigkeit der Längenbestimmung haben. In der Literatur wird vermerkt, dass eine nekrotische Pulpa einen negativen Einfluss auf die elektronische Messung der Arbeitslänge hat (Pommer, 2002). Hinsichtlich dessen und aus Gründen der Dokumentation ist eine Messröntgenaufnahme erforderlich.

Da der physiologische Apex und die apikale Konstriktion im Röntgenbild nicht dargestellt werden können, sollte die Aufbereitungslänge 0,5 - 1 mm vor dem röntgenologischen Apex enden.

Mit Hilfe eines prätherapeutischen Röntgenbildes kann die Kanalmorphologie eines Zahnes eingeschätzt werden, um sich auf diese Weise für die bevorzugte oder geeignete Aufbereitungstechnik entscheiden zu können.

Neben der manuellen und maschinellen Methodik differenziert man unterschiedliche Aufbereitungstechniken, die sich dahingehend unterscheiden, ob die Präparation im apikalen oder im koronalen Wurzelkanalbereich beginnt.

Im Zuge der Erweiterung des Kanallumens sollte darauf geachtet werden, dass der ursprüngliche Verlauf beibehalten wird und der Kanal eine dreidimensionale konische Form erhält (Schilder, 1974).

Eine konische Ausformung des Kanals macht eine bakteriendichte Wurzelfüllung möglich, da die Form einen günstigen Zugang für die notwendigen Füllinstrumente in den aufbereiteten Kanal ermöglicht (Schilder, 1974; Hülsmann, 2001).

Die als Norm für Wurzelkanalinstrumente [DIN EN 3630-1, 1994] beschriebene Konizität beträgt 2%. Der Durchmesser des Instruments nimmt von der Spitze

bis zum Ende des Arbeitsschaftes pro Millimeter um 0,02 mm zu. Dieser Wert wird „Taper“ genannt und beträgt .02. Jedoch können andere Fülltechniken auch stärkere Konizitäten verlangen, da die Fülltechnik mit dem Aufbereitungssystem kompatibel sein muss.

Manuelle Aufbereitungsmethoden

Die manuellen Aufbereitungstechniken werden standardgemäß mit Feilen vom Typ K (Kerr) und vom Typ H (Hedström) und von Bohrern vom Typ K-reamern unterschiedlicher ISO-Größen durchgeführt. Die Instrumente unterscheiden sich in ihrer Herstellung, Aufbau und in ihrer Funktion. Verschieden sind auch ihre mechanischen Belastbarkeiten, deren Vorgaben für Torsionsfestigkeit, Verdrehungswinkel und Biege­widerstand in europäischen Normen (ISO EN 3630) festgelegt sind.

Bei der „konventionelle Methode“ werden alle Instrumente mit der gesamten Arbeitslänge benutzt, um den Kanal zu präparieren. Begonnen wird die Aufbereitung mit Reamern in aufsteigender ISO-Größe, die in drehender und ziehender Art und Weise, bis die gewünschte Kanalgröße erreicht ist, angewendet werden.

Um einer Kanalverblockung vorzubeugen, werden Dentinspäne mit einer Feile kleinerer Größe nach koronal transportiert. Empfohlen wird eine abwechselnde Benutzung von Reamern und Hedstroem-Feilen der gleichen Größe. Mit der drehenden und stoßenden Bewegung des Reamers und der ziehenden Arbeitsweise der Feilen kann ein suffizienter Dentinabtrag und eine Glättung der Kanalwand erreicht werden. Beide Instrumente sollten unter geringem Druck angewendet werden.

Somit erhält man einen Wurzelkanal mit einer Konizität von 2% und einem Taper von .02 (Hellwig, 1999; Beer und Baumann, 1997).

Eine weitere Aufbereitungstechnik ist die „Step-back-Technik“, die in der Anwendung eine Ausformung des Kanals mit einem größeren Konuswinkel erreicht. Die Entfernung von Dentinresten ist effizienter, und es erfolgt eine suffizientere Aufbereitung und Ausformung der Kanäle.

Zuerst erfolgt eine Erweiterung des Wurzelkanals mit Instrumenten über die gesamte Arbeitslänge. Ausgehend von der initialen Feile werden schrittweise die ISO-Größen der Instrumente um mindestens 3 Größen erhöht bis die „Master apikal File“ (MAF) erreicht ist. Die Arbeitslängen der nachfolgenden Instrumente werden schrittweise um 1 Millimeter pro ISO-Größe gekürzt. Die letzte verwendete Feile sollte mindestens 3 ISO-Größen höher sein als die MAF. Die dadurch entstandenen Präparationskanten werden durch eine Hedstroemfeile über die gesamte Arbeitslänge zwischen den Step-Back-Schritten geglättet. Somit erhält man einen Wurzelkanal mit einem Taper größer als .02 (Merte, 2002).

Bei gekrümmten Wurzelkanälen kann die „Balanced-forced-Technik“ angewendet werden (Roane et al., 1985). Die nicht vorgebogene Feile wird in den Kanal eingebracht und im Uhrzeigersinn um 90° gedreht. Nach einer Rotation im Gegenuhrzeigersinn mit apikalem Druck wird während einer erneuten Drehung mit dem Uhrzeigersinn die Feile aus dem Kanal entfernt.

Nachdem die Arbeitslänge erreicht wurde, erfolgt die apikale Erweiterung nach dem Schema der Step-back-Technik. Das koronale Wurzel Drittel wird mit Hilfe von Gates-Glidden-Bohrern erweitert und geglättet (Hellwig, 1999). Die oben beschriebenen Methoden werden in der Arbeitsrichtung von apikal nach koronal angewendet.

Demgegenüber stehen die Aufbereitungstechniken die von koronal nach apikal arbeiten. Grundsätzliche Vorteile dieser Vorgehensweise sind die frühzeitige Ausräumung des infizierten Pulpagewebes aus dem koronalen Kanalbereich und der Vermeidung, dass Bakterien in den apikalen Wurzelbereich verschleppt werden. Gleichzeitig wird der Kanaleingang für Spülkanülen und Spüllösungen vergrößert, was zu einer besseren Penetration der Desinfektionslösung in den Kanal und einem besseren Spülergebnis führt (Druttman, 1989).

Die „Step-down-Technik“ folgt diesen Vorteilen (Goerig et al., 1982). Mit Hedstroem-Feilen werden die ersten 16 bis 18 Millimeter des Kanals auf eine ISO-Größe von 25 erweitert und mit Gates-Glidden-Bohrern geglättet. Dann wird die Arbeitslänge bestimmt, und mit der Step-back-Technik die restliche Aufbereitung vollendet.

Bei der „Crown-down-pressureless-Technik“ wird das größtmögliche Instrument, etwa ISO-Größe 35, auf etwa 16 Millimeter in den Kanal eingeführt. Dann wird die vorläufige Arbeitslänge errechnet, die 3 mm kürzer sein sollte als die definitive Länge.

Mit abnehmenden ISO-Größen erfolgt eine Aufbereitung bis zur vorläufigen Arbeitslänge. Die Bearbeitung erfolgt drucklos und mit maximal 2 Rotationsbewegungen. Die weitere Präparation wird in Arbeitslänge und mit zunehmenden Instrumentengrößen durchgeführt.

Die „Double-flare-Technik“ stellt eine Kombination aus der „Crown-down-Technik“ und der „Step-back-Technik“ dar (Beer&Baumann, 1997, Fava, 1983).

Maschinelle Aufbereitungsmethoden

Für die maschinelle Aufbereitung werden Instrumente aus Nickel-Titan-Legierungen verwendet, die unterschiedliche ISO-Größen und Taper besitzen. Rotierende Nickel-Titan-Instrumente werden normalerweise mit den Konizitäten 2%, 4% und 6% verwendet, wobei Feilen mit Konizitäten bis 12% zur Verfügung stehen.

Die physikalischen Eigenschaften der Legierung reduzieren zum einen die Bruchgefahr, und zum anderen ermöglichen die flexiblen Instrumente die sichere Anwendung in gekrümmten Kanälen.

Um die Bruchgefahr weiter zu minimieren, wird der Gebrauch von rotierenden Instrumenten in Verbindung mit drehmomentgesteuerten Winkelstücken empfohlen. Die Drehmomentregulation kann zum einen mechanisch über eine Rutschkupplung erfolgen und zum anderen elektronisch gesteuert werden. Bei Überschreiten des zulässigen Drehmomentes wird bei der mechanischen Kontrolle nur die Rotation unterbrochen, wohingegen bei der elektronischen Regulation eine Gegenrotation einsetzt. Dies verhindert ein Festsetzen und reduziert die Bruchgefahr der Instrumente.

Die Anwendung von rotierenden Instrumenten mit unterschiedlichen Taper setzt die Anwendung der „Crown-down-Technik“ voraus.

Zuerst wird der Kanaleingang mit stark konischen Instrumenten erweitert und mit Instrumenten abnehmender ISO-Größe bis zur Arbeitslänge aufbereitet.

Nach Erreichen der Arbeitslänge erfolgt die apikale Erweiterung (Hülsmann, 2001).

Zur Keimreduktion und um Verblockungen im Kanal während der Aufbereitung zu verhindern, ist das häufige Spülen mit desinfizierenden Lösungen notwendig.

2.2.6 Wurzelkanalspülung

Um eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung durchführen zu können, ist es notwendig, so viele Keime wie möglich aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen.

Obwohl mit der mechanischen Aufbereitung der größte Anteil von Bakterien eliminiert wird, indem infiziertes Dentin und Pulpagewebsreste entfernt werden, verbleiben in unaufbereitbaren Bereichen des Hohlraumsystems der Wurzel und in den Dentintubuli pathogene Mikroorganismen, die für persistierende apikale Entzündungen ursächlich verantwortlich sein können.

Zähne, die vor der Wurzelkanalfüllung Bakterien im Endodont aufweisen, besitzen eine signifikant schlechtere Prognose als Zähne, die von Bakterien befreit wurden (Sjögren, 1997).

Deshalb ist neben der mechanischen Reinigung auch eine chemische Reinigung unablässig. Dies erfolgt durch ein stetiges Spülen während der Aufbereitung mit einer chemischen Spüllösung. Folgende Anforderungen sollte eine effiziente Spüllösung erfüllen: Antimikrobielle Wirkung, Dekontamination von Endotoxinen und Auflösung von Gewebe. Durch die Auflösung von nekrotischem Restgewebe wird den Bakterien die Nahrungsgrundlage entzogen, und so ihre Vermehrung verhindert. Auch sollten Spüllösungen infiziertes Debris aus dem Kanal herauspülen und die Gleitfähigkeit der Aufbereitungsinstrumente erhöhen (Richtlinien der Europäische Gesellschaft für Endodontologie).

Spüllösungen, die diese Anforderungen erfüllen, sind unter anderem Natriumhypochlorid (NaOCl) und Chlorhexidindigluconat (CHX). Diese Spüllösungen besitzen neben ihrer guten desinfizierenden Wirkung auch eine relativ gute Tiefenwirkung im Dentin (Orstavik und Haapasalo, 1990). Die

geeignete Spüllösung zur Auflösung von nekrotischem Pulpagewebe ist Natriumhypochlorid, da die proteolytische Wirkung relativ rasch und effizient erfolgt und die Wirkung nur so lange anhält, wie freies Chlor in der Lösung vorliegt (Grawehr et al., 2003). Da die Anwesenheit von freien Chlorionen die antimikrobielle und gewebeauflösende Wirkung herruft, bedeutet dies, dass nicht die Konzentration, sondern eine ausreichende Menge an Lösung entscheidend ist.

Klinisch gibt es keinen signifikanten antibakteriellen Unterschied zwischen 0,5%iger und 5%iger Natriumhypochloridlösung, wenn die Anwendung von 0,5% bis 1%iger Lösung bei kontinuierlicher Spülung erfolgt (Zehnder, 2003). Gleichzeitig wird die Gefahr, das periapikale Parodont durch Extrusion zu irritieren, minimiert (Byström, 1985). Die Spülung mit Natriumhypochlorid in Kombination mit einer einwöchigen medizinischen Kanaleinlage aus Kalziumhydroxid führt signifikant zu einer gründlicheren Entfernung von organischen Gewebsresten (Turkun, 1997). Dabei ist zu beachten, dass die proteolytische Wirkung des Kalziumhydroxids erst nach vier bis sieben Tagen maximal wird (Zehnder, 2003).

Positiv ist weiterhin zu bemerken, dass Natriumhypochlorid die Fähigkeit besitzt, Endotoxine zu blockieren und infizierte Wurzeloberflächen durch Spülen von ihrer Endotoxinaktivität zu befreien, da diese auch ohne die Anwesenheit von lebenden Bakterien periapikale Entzündungen hervorrufen und unterhalten können (Buttler und Crawford, 1982; Sarbinoff, 1983).

Chlorhexidindigluconat (CHX) gehört ebenfalls zu den etablierten Spüllösungen, da es ähnlich wie Natriumhypochlorid ein breites antimikrobielles Wirkspektrum aufweist (Morgana, 2003).

Obwohl CHX ein geringeres Zytotoxizitätspotenzial als Natriumhypochlorid besitzt, sollte es aufgrund des geringen proteolytischen Effektes nicht als alleinige Spüllösung angewendet werden (Grawehr et al., 2003).

Die Spüllösungen sollten stetig und abwechselnd angewendet werden, wobei Chlorhexidindigluconat als letzte Spüllösung verwendet werden sollte, um das im Kanal verbliebene freie Chlor des Natriumhypochlorids zu entfernen.

Zur Spülung wird eine Spritze mit einer Spülkanüle verwendet, wobei während des Spülvorganges ein ungehinderter Ablauf der Flüssigkeit nach koronal gewährleistet sein muss.

Außerdem sollte darauf geachtet werden, dass beim Spülen kein übermäßiger Druck angewendet wird, um ein Überpressen der Spüllösung zu verhindern. Nach maximaler Reduktion der Keime kann ein dichter Verschluss des Wurzelkanalsystems erfolgen.

2.2.7 Wurzelkanalfüllungssysteme

Der letzte Schritt für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung ist die dauerhafte, dreidimensionale und bakteriendichte Obturation des ausgeformten, gereinigten und getrockneten Wurzelkanals, um das periapikale Parodont und die umgebenden anatomischen Strukturen zu schützen und dem periapikalen Gewebe bei einer Entzündung die Möglichkeit der Regeneration zu geben (Schilder, 1967).

Eine Obturation des Wurzelkanals sollte erfolgen, wenn davon ausgegangen werden kann, dass eine Infektion eliminiert wurde, eine Trocknung des Kanals möglich ist, eine sorgfältige Aufbereitung der Kanäle durchgeführt wurde und der Zahn nach einer provisorischen Wurzelfüllung mit einer medizinischen Einlage klinisch symptomlos erscheint.

Eine vollständige und suffiziente Kanalobturation kann den eventuell im Wurzelkanal verbliebenen Bakterien den Zugang zu Nährsubstraten und Flüssigkeiten im Wurzelsystem blockieren, um so eine erneute Vermehrung der Mikroorganismen zu verhindern (Kersten und Moorers, 1989; Wu, 1993).

Zusätzlich konnte bewiesen werden, dass eine dichte Wurzelfüllung zu einem Absterben von Bakterien im Wurzelkanal führt, und somit die Prognose eines Zahnes erhöht wird (Delivanos, 1983).

Das ideale Wurzelfüllmaterial sollte gemäß der „Europäischen Gesellschaft für Endodontie“ folgende Eigenschaften besitzen:

- Biokompatibel
- dimensionsstabil
- undurchlässig für Flüssigkeiten
- bakterielles Wachstum nicht fördern
- unlöslich in Gewebsflüssigkeiten
- dichter Verschluss des gesamten Kanalsystems

- gute Haftung an der Zahnhartsubstanz
- röntgenopak
- ausreichende Verarbeitungszeit
- keine Verfärbung der Zahnhartsubstanz
- aus dem Wurzelkanal entfernenbar

(Europäische Gesellschaft für Endodontologie, 1994)

Da es kein ideales Wurzelkanalfüllmaterial gibt, hat sich als Kompromiss die Verwendung von Guttapercha etabliert.

Je nach Hersteller besteht die Guttapercha zu 19% bis 45% aus eingedicktem Saft, der aus Bäumen der Palagium- und Isonandraarten gewonnen wird und als Matrix dient. Ein weiterer Bestandteil ist zu 33-61% Zinkoxid, das als Füllstoff zugesetzt wird. Um eine erhöhte Plastizität zu erreichen, wird zahnärztlicher Guttapercha Zusätze aus Wachs oder Kunststoff von etwa 3% beigemischt. Auch werden Metallsulfate, wie z.B. Bariumsulfat, der Guttapercha zugeführt, damit das Material eine radioopake Eigenschaft erhält (Beer, Baumann, 1994).

Gemäß den Anforderungen an Füllmaterialien ist Guttapercha biokompatibel, inert und wasserunlöslich. Die Guttapercha kann in 2 kristallinen Phasen (α - und β -Phase) und in einer amorphen Phase vorliegen.

Konventionelle Guttaperchastifte liegen während der Wurzelkanalfüllung bei Zimmertemperatur in der β -Phase vor. Füllmethoden, die Guttapercha in der β -Phase verwenden, sind z.B. die Zentralstiftmethode und die Kondensationstechniken.

Während der Erwärmung auf 42-49°C geht die β -Phase in die α -Phase über. Bei weiterer Erhitzung über 59°C wird die Guttapercha in die amorphe Phase überführt. Die α -Phase der Guttapercha wird bei den thermoplastischen Füllmethoden, wie z.B. Thermafil, verwendet.

Da sich die alleinige Verwendung von Guttapercha in Studien nicht als ausreichend dicht erwiesen hat, wird eine Kombination aus Guttapercha mit einem Wurzelkanalzement, dem so genannten Sealer, empfohlen (Hata und Kawazoe, 1995, Niss, 1998).

Entsprechend ihrer Inhaltsstoffe können Gruppen von Zementen aus Zinkoxid-Eugenol, Kalziumhydroxid und Glasionomer, sowie Sealer auf Epoxidharzbasis unterschieden werden (Hellwig et al., 1999).

Der Sealer hat die Funktion, kleinere Unebenheiten in der Kanalwand auszugleichen und die akzessorischen Kanäle, sowie die Dentintubuli zu verschließen (Europäische Gesellschaft für Endodontologie, 1994). Außerdem sollte der Wurzelkanalzement einen dichten Verbund des Wurzelkanalfüllmaterials mit der Kanalwand gewährleisten (Europäische Gesellschaft für Endodontologie, 1994).

Da in Studien nachgewiesen wurde, dass die meisten Sealer einer Resorption unterworfen sind, sollte der Anteil von Sealer an der Wurzelkanalfüllung so gering wie möglich gehalten werden, um Hohlrumbildungen, aufgrund von Auflösungs- und Resorptionsprozessen, zu vermeiden. Dementsprechend konnte auch durch Studien eruiert werden, dass eine gute Abdichtung nur erreicht werden kann, wenn sich eine dünne Schicht Sealer zwischen Guttapercha und Kanalwand befindet (Wu, 1995).

Während der Abbindephase können bei verschiedenen Sealern Dimensionsänderungen auftreten. Bei Schrumpfungen von mehr als 1% besteht eine erhöhte Gefahr der Bakterienpenetration entlang der Wurzelfüllung (Orstavik, 2001).

Das Material der Wahl stellt derzeit AH Plus[®] dar, ein Sealer auf Epoxidharz-Basis. AH Plus[®] weist während des Erhärtungsprozesses eine geringe Expansion von fast 1% auf, die ein Hinweis für eine gute Wandständigkeit und apikale Dichtigkeit ist (Orstavik, 2001).

Aufgrund einer guten Radioopazität zur Kontrolle der Wurzelfüllung und einem lang andauernden Aushärtungsprozess von 24 Stunden, die eine notwendige Revision erleichtert, hat sich AH Plus[®] klinisch bewährt. Eine geringe Löslichkeit und der Verzicht von Hexamethylentetramin tragen zur Erhöhung der Biokompatibilität des Materials bei. Auf die Zugabe wurde verzichtet, um die Entstehung von geringen Formaldehydmengen zu verhindern und somit die Zytotoxizität zu reduzieren.

Viele Neuentwicklungen und Weiterentwicklungen im Bereich der Wurzelfüllungen brachten eine Vielzahl von Füllungsmethoden hervor, um die Erfolgsraten, die Zeitdauer und die Handhabung zu verbessern.

Die zahlreichen Methoden können in folgende Gruppen eingeteilt werden (Beer und Baumann, 1994):

- Wurzelfüllung mit ausschließlich Pasten/Wurzelzementen
- Zentralstifttechnik mit Wurzelzementen
- Laterale Kondensation
- Vertikale Kondensation
- Thermomechanische Kondensation
- Thermoplastische Injektion
- Thermoplastische Guttapercha mit Stiftkern

Die alleinige Wurzelfüllung mit Wurzelkanalpasten wird, aufgrund der negativen Eigenschaften der Pasten im Wurzelkanal, heutzutage als obsolet betrachtet.

Durch das Schrumpfen der Pasten während der Aushärtung und des Löslichkeits- und Resorptionsverhaltens ist ein langzeitiger, hermetischer, blasenfreier und vor allem bakteriendichter Verschluss des Kanals nicht zu erreichen. Außerdem besteht eine erhöhte Gefahr beim Einbringen in den Kanal, das Material über den Apex hinaus ins periapikale Gewebe zu befördern.

Ebenso wird die Zentralstifttechnik in Kombination mit einem Sealer nicht mehr empfohlen. Da die Kanalquerschnitte selten rund sind und nicht dieselbe Form wie der Zentralstift haben, kann eine gute Adaptation an die Kanalwand nicht gewährleistet werden. Die dadurch unweigerlich entstehenden Spalträume können nur durch unverhältnismäßig große Mengen von Sealer ausgeglichen werden. Durch Kontraktion beim Abbinden, Resorptionen und Porositäten ist so eine dichte Randständigkeit nicht zu erzielen (Hellwig, 1999).

Da der Guttaperchaanteil an der Wurzelfüllung mindestens 90% betragen sollte, ist die laterale Kondensation bei konisch aufbereiteten Kanälen die Methode der Wahl (Schilder, 1967).

Der erste Guttaperchastift, der so genannte Masterpoint, sollte dieselbe Größe wie die Masterfeile haben und mit wenig Sealer bis zur gesamten Arbeitslänge in den Kanal eingeführt werden. Dann wird mit Hilfe eines Fingerspreizers (Fingerspreader) der Guttaperchastift lateral an die Kanalwand gepresst. In den durch Kondensation entstandenen Hohlraum wird ein Guttaperchastift

geringerer Größe eingeführt und erneut kondensiert. Diese Prozedur wird wiederholt, bis der Kanal vollständig mit Guttapercha und Sealer gefüllt ist. Als nächster Schritt erfolgt das Abtrennen der herausragenden Stiftreste am Kanaleingang mit einem heißen Instrument und die abschließende vertikale Kondensation des oberen Anteils der Wurzelfüllung.

Als Abwandlung dieser Methode kann ein erwärmter Fingerspreader verwendet werden, um die Guttapercha besser an die Kanalwand zu kondensieren (Unverdorn, 1992).

Eine weitere Methode ist die vertikale Kondensation nach Schilder. Ein Masterpoint mit wenig Sealer beschichtet wird bis zur Arbeitslänge eingebracht und auf Höhe des Kanaleingangs gekürzt. Dann wird ein auf 80°C erwärmter Spreader in den koronalen Anteil des Kanals eingebracht und der Guttaperchaanteil erhitzt. Mit einem kalten Plugger, der ein planes Arbeitsende besitzt, wird der Guttaperchastift in Richtung des Apex kondensiert. Die Sequenz aus Erwärmen und Kondensieren, bis ein Bereich von drei bis fünf Millimetern erreicht ist, nennt sich „downpack“. In weiteren Schritten werden gekürzte Guttaperchastifte abwechselnd in den Kanal eingebracht, erwärmt und kondensiert. Es werden Plugger mit unterschiedlichen Durchmessern verwendet, um eine effiziente Kondensation in unterschiedlichen Tiefen des Wurzelkanals durchführen zu können. Dieser Teil der Füllungstechnik wird als „backfill“- Phase bezeichnet. Vorteil dieser Methode ist die suffiziente und dichte Obturation des Hauptkanals und der Seitenkanäle. Als nachteilig anzusehen, sind die Erforderlichkeit von mehreren Röntgenbilder zur Kontrolle des Kondensationsvorganges, der zeitliche Mehraufwand und eine erforderliche Einarbeitungsphase.

Zur vereinfachten Anwendung erwärmter Guttapercha wurden im Laufe der Zeit eine Reihe von verschiedenen Techniken und Systemen entwickelt.

Unter der thermomechanischen Kondensation nach Mc Spadden bzw. nach Tagger versteht man die Kondensation eines erwärmten Guttaperchastiftes mit Hilfe eines maschinengetriebenen Guttaperchakompaktors. Der Kompaktor, der mit 8000–10000 Umdrehungen pro Minute verwendet wird, besitzt ein nach apikal rotierendes Spiralgewinde, dessen Gewinde einer entgegengesetzt laufenden Hedstroem-Feile gleicht.

Der Guttaperchastift wird durch die Reibungswärme des rotierenden Kompaktors erweicht und lässt sich so kondensieren.

Beim langsamen Entfernen des Kompaktors aus dem Kanal erfolgt ebenfalls eine zusätzliche Kondensation. Dieser Vorgang wird bis zur vollständigen Obturation wiederholt. Da die Gefahr der Überhitzung und Überpressung der Guttapercha besteht, ist eine zeitintensive Einarbeitungsphase zu empfehlen. Ebenfalls sind der eingeschränkte Indikationsbereich und die im Vergleich schlechteren Dichtigkeitswerte als nachteilig zu sehen (Rapisada, 1999; Goracci, 1991).

Eine weitere Methode um erwärmte Guttapercha als Füllungsmaterial zu verwenden, ist die Applikation von Guttapercha durch die so genannte thermoplastische Injektionstechnik. Mit dieser Technik wurde versucht, ein schnelles und einfaches Wurzelfüllverfahren zu entwickeln. Je nach System wird die Guttapercha auf unterschiedliche Temperaturen in einem Wärmegerät erhitzt. Zum Beispiel wird in Anwendung des Ultrafil[®]-Systems, welches 1984 entwickelt wurde, die Guttapercha in vorgefertigten Ampullen in einem Gerät auf 70–90°C erwärmt. Im Anschluss erfolgt die Applikation mittels eines Pistolensystems (Czonstkowsky, 1984).

Während der hochtemperierten Injektionstechnik werden Guttaperchastücke in einem Obtura[®]-Ofen auf eine Temperatur von 200°C erhitzt. Die verflüssigte Guttapercha wird dann mittels einer Kanüle in den Kanal eingebracht (Yee, Marlin, Krakow, 1977).

Die Handhabung in der Mundhöhle, die Dimension der Kanüle und die Gefahr, die erweichte Guttapercha in das periapikale Gewebe zu extrudieren, sind als nachteilig einzuschätzen. Außerdem ist die Anwendung dieser Technik mit einem relativ hohen finanziellen Aufwand und einer gewissen Einarbeitungszeit verbunden. Darüber hinaus konnten in Studien keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die apikale Dichtigkeit im Vergleich zur kalten lateralen Kondensation nachwiesen werden (Czonstkowsky, 1985).

Eine Weiterentwicklung der Injektionstechnik ist das Kaltfüllsystem in Einweg-Kapselform. Mit dieser Technik wird kalte fließfähige Guttapercha über ein Applikationssystem in den Kanal injiziert und erhärtet dort eigenständig. Das Material Guttaflow[®] (Roeko, Langenau, D) ist eine Kombination aus dem Sealer RoekoSeal[®] (Whaledent, Langenau, Deutschland), der auf einer

additionsvernetzenden Silikonbasis beruht, und etwa 50 µm großen Guttaperchakugeln. Nach Herstellerangaben fehlt nicht nur die Thermoschrumpfung beim Erhärten, sondern es kommt zu einer Abbindeexpansion aufgrund der Silikonkomponente. Wissenschaftliche Studien weisen zwar eine weitestgehend vollständige, homogene und blasenfreie Obturation nach, jedoch scheint die apikale Dichtigkeit im Vergleich zur lateralen Kondensation signifikant schlechter zu sein (Elayout, 2005; Al Torman, 2005).

Um das Problem der Guttaperchaschrumpfung während der Temperaturabnahme im Kanal zu minimieren, wurde 1978 von Johnson eine Technik beschrieben, die eine einfache und schnelle Obturation mit Hilfe eines mit Guttapercha ummantelten Objektträgers vorsieht (Johnson, 1978; Beatty, 1989). Die Firma Tulsa[®] Dental entwickelte diese Technik weiter und etablierte diese Methode als ThermaFil[®] auf dem dentalen Markt.

Da eine direkte Korrelation zwischen Guttaperchamenge und Schrumpfung besteht, ist die Grundidee dieser Technik, den Guttaperchaanteil am Füllungsmaterial so gering wie möglich zu halten, um so die Schrumpfung in der Abkühlungsphase zu reduzieren.

Die Füllung des Wurzelkanals wird in einem einzigen Arbeitsschritt mit einem Thermafil[®]-Stift durchgeführt, der in seiner ursprünglichen Version aus einem Stahl- oder Titankern besteht und mit Guttapercha ummantelt ist.

Probleme hinsichtlich der gleichmäßigen Erwärmung des Guttaperchamantels, der fehlenden Passgenauigkeit des Stiftes beim Einführen in den Kanal und der schwierigen Reduktion der Wurzelfüllung im Zuge eines prothetischen Stiftaufbaus ließen den Hersteller diese Technik überarbeiten und das verbesserte Thermafil[®]-System entwickeln (Clark, Deeb, 1993).

Der neu entwickelte Thermafil[®]-Ofen gewährleistet ein schnelleres und gleichmäßigeres Erwärmen des Thermafil[®]-Stiftes. Da der Metallkern des Stiftes ausgetauscht wurde und nun aus einem Kunststoffträger besteht, ist nun eine Obturation auch von stark gekrümmten Kanälen dicht möglich (Leung, 1994). Eine eventuell notwendige Versorgung mit einem Wurzelstift wird mit einem speziellen Bohrer, dem „Post Space Bur“ durchgeführt. Er wird bei einer Drehzahl von 200000–350000 U/min ohne Wasserkühlung und mit geringem Druck verwendet, um so den koronalen Anteil der Füllung zu

erwärmen. Ist das koronale Material erweicht, wird für maximal 3 Sekunden ein axialer Druck ausgeübt und dann das Instrument zusammen mit der gewünschten Länge der Wurzelfüllung herausgezogen. Im Anschluss kann eine routinemäßige Präparation des Stiftbettes erfolgen.

Der neuartige Kunststoffkern vereinfacht ebenfalls die Prozedur einer eventuellen Füllungsrevision. Zu diesem Zweck wurde der Trägerstift mit einer Längsrille versehen. Zur Entfernung soll ein rotierendes Nickel-Titan-Instrument bei 600-800 U/min entlang der Kerbe des Kunststoffstiftes in den Kanal eingeführt werden, um die Guttapercha vom Stift abzulösen. Aufgrund der Reibung durch die Instrumentenrotation kann der Stift dann herausgezogen werden.

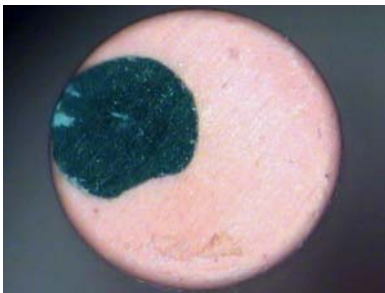


Abb. 5: Schnitt durch einen ThermoFil®-Obturator (erkennbar ist die Revisionsrille)



Abb.6: Verifier ISO 40 (oben)
Stift ohne Guttaperchamantel (Mitte)
ThermoFil® Obturator (unten)

Außerdem erfolgte eine Abstimmung zwischen den ThermoFil®-Stiften und spezifischen Wurzelkanalaufbereitungsinstrumenten. Die für den Stift geeignete Form des aufbereiteten Kanals wird mit Hilfe eines Verifier überprüft und so die Passgenauigkeit sichergestellt.

Alle Weiterentwicklungen der überarbeiteten Methode zeigten verbesserte Ergebnisse. Hinsichtlich Obturation und apikaler Dichtigkeit wurden in Studien Ergebnisse erzielt, die vergleichbar waren mit der lateralen Kondensation (Abarca, 2001). Auch in Bezug auf die Revisionsfähigkeit wies die ThermoFil®-Technik in Studien gute Werte auf (Frajlich, 1998). Auch konnte die zeitweise bestehende Fragestellung über die Verletzung des periradikulären Gewebes durch eine Erhitzung während der Füllungsphase durch Studien mit „Nein“ beantwortet werden. In Studien konnte auf der Wurzeloberfläche nur eine Erwärmung von maximal 4°C gemessen werden, die nachweislich keine Irritationen oder irreparable Schäden am Gewebe verursacht (Behnia, 2001).

2.2.8 Prognose von wurzelkanalbehandelten Zähnen

Das Ergebnis einer Wurzelkanalbehandlung wird im Allgemeinen in erfolgreich oder nicht erfolgreich unterschieden. Als Maßstäbe werden dafür die Schmerzanamnese, der klinische Befund und die röntgenologische Kontrolle der knöchernen Regeneration anhand einer postoperativen Röntgenaufnahme herangezogen.

Im Speziellen wurden in Anlehnung an die Richtlinien der „European Society of Endodontology“ und der Literatur 3 Kategorien definiert.

Es wird die „vollständige Heilung“, „die unvollständige Heilung“ und „keine Heilung“ unterschieden.

„Keine Heilung“ ist bei einer Wurzelkanalbehandlung eingetreten, wenn der Zahn klinische Symptome einer endodontisch bedingten Parodontitis aufweist. Des Weiteren kann auf einer postoperativen Röntgenaufnahme keine verifizierbare Verkleinerung und/oder eine Neubildung einer apikalen Läsion zu erkennen sein. Auch sprechen externe progressive Resorptionsprozesse auf einem Röntgenbild gegen eine Heilung des entzündeten Zahnes.

Die Parameter für eine „unvollständige Heilung“ sind die klinische Symptomfreiheit und die röntgenologisch nachweisbare Verkleinerung einer apikalen Aufhellung.

Für die „vollständige Heilung“ einer endodontischen Behandlung muss der Zahn klinisch symptomlos sein. Zudem müssen eine radiologisch knöcherne Regeneration in Form eines durchgehenden verfolgbar Parodontalspaltes und ein Stillstand von eventuellen Resorptionen zu erkennen sein.

In der Regel beträgt der Zeitraum 4 bis 5 Jahre in der eine vollständige knöcherne Regeneration erwartet werden kann und als Indikator für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung gilt.

Im Zusammenhang mit einer ordnungsgemäß durchgeführten Wurzelkanalbehandlung erscheint es notwendig, den Ausgangsbefund (irreversible Pulpitis, apikale Parodontitis) und den Behandlungsmodus (erstmalige Wurzelbehandlung, Revision oder Apexifikation) in eine Erfolgsprognose mit ein zu beziehen. Je nach Ausgangssituation liegen die Erfolgsraten zwischen 50% und 95%. (DGZMK-Stellungnahme, 2000)

2.3 Ziel dieser Untersuchung

In dieser Studie wurde das apikale Füllungsverhalten des Wurzelkanalfüllungssystems Thermafil® beurteilt. Das Ziel dieser Arbeit war es, den Einfluss von unterschiedlichen Obturatorgrößen auf die apikale Dichtigkeit von Thermafil®-Wurzelfüllungen zu untersuchen. Dazu wurden die Wurzelkanäle menschlicher Schneidezähne mit ThermaFil®-Obturatoren unterschiedlicher Größe gefüllt und nach Farbstoffexposition die Penetrationstiefe ermittelt und das Extrusionspotenzial bewertet.

3. Material und Methode

3.1 Material

3.1.1 Versuchszähne

Für die Durchführung der Versuche sind 90 menschliche einwurzlige Zähne verwendet worden. Die Schneidezähne, Eckzähne und Prämolaren wurden sofort nach der Extraktion in eine 0,9%ige Kochsalzlösung gelegt und bei Zimmertemperatur aufbewahrt.

Die Aufbewahrungslösungen der Gefäße, in denen die Lagerung stattfand, sind wöchentlich durch neue sterile Kochsalzlösungen ersetzt worden.

Alle Zähne wiesen ein abgeschlossenes Wurzelwachstum auf, waren nicht durch einen entzündlichen apikalen Prozess sichtbar verändert und waren weder im koronalen noch im Wurzelbereich offensichtlich frakturiert.

Zudem waren alle Zähne kariesfrei und nicht endodontisch vorbehandelt.

3.1.2 Materialien zur Trepanation und Wurzelkanalaufbereitung

Produkt/Gerät	Hersteller	Herkunft
Diamantbohrer	Komet	D
Hedstroem-Feile	VDW	D
Gates-Glidden-Bohrer	Komet	D
Glyde [®]	Dentsply	USA
Einmalspritzen, 5ml	Braun	D
Endodontische Kanülen	Braun	D
Endodont. Papierspitzen	Roeko	D
FG-Winkelstück	KAVO	D
Winkelstück, grün markiert	KAVO	D
ProFile [®] -Feilen	Dentsply	CH

Tabelle 1

Der verwendete FG–Diamantbohrer hatte eine zylindrische Form mit einer Hohlkehle. Der Bohrer war mit einem grünen Ring markiert und hatte eine Korngröße, laut Herstellerangaben, von etwa 135 µm.

Die endodontischen Hedstroem-Feilen sind raspelartig funktionierende Instrumente zur Wurzelkanalaufbereitung. In den Versuchen wurden Feilen mit einer ISO-Größe 10 und einer Länge von 25mm verwendet, die einen Gummiring besaßen, um die Arbeitslänge zu fixieren.

Der Gates-Glidden-Bohrer ist ein maschinengetriebener, spindelförmiger Bohrer zur Erweiterung des Wurzelkanaleingangs im Rahmen einer endodontischen Behandlung.

Das Produkt GLYDE[®] wurde in Verbindung mit der maschinellen Aufbereitung verwendet und besitzt als Hauptbestandteil Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA). Es findet seinen Einsatz im Zuge der chemischen Kanalaufbereitung. Zum einen stellt sie ein Gleitmittel für die rotierenden Aufbereitungsinstrumente dar, und zum anderen hat die Substanz EDTA die Aufgabe, organische Verblockungen und die Schmierschicht im Wurzelkanal auf chemischem Wege aufzulösen.

Die 5ml Einwegspritze wurde zusammen mit einer Einmalkanüle zum Spülen des Wurzelkanals benutzt. Die Spülkanüle besaß ein nach unten offenes Kanülenende.

Die sterilen Papierspitzen der ISO-Größen 15 bis 40 besaßen eine Länge von 28 mm und wurden zum Trocknen der Kanäle verwendet.

Das FG-Winkelstück mit der roten Ringmarkierung und einer Übersetzung von 1:5 wurde mit einer Mikromotorleistung von 40000 U/min verwendet.

Das Winkelstück mit der grünen Ringmarkierung und einer Übersetzung von 5,4:1 wurde mit einer Laufleistung des Mikromotors von 1000 U/min betrieben. Die maschinellen Aufbereitungsinstrumente wurden mit einer

effektiven Umdrehungszahl von 185 Umdrehungen pro Minute, also im vom Hersteller angegebenen Optimalbereich zwischen 150 und 350 U/min.

Die Wurzelkanalaufbereitung erfolgte mit dem Profile[®]-System. Die Feilen dieses Systems sind aus einer Nickel-Titanlegierung hergestellt. Diese Legierung ist ein monokristallines Material und besteht zu etwa 56% aus Nickel und zu 44% aus Titan. Zusätzlich sind geringe, nicht quantifizierbare Mengen von Kohlenstoff (C), Sauerstoff (O), Eisen (Fe), Stickstoff (N) und Wasserstoff (H) vorhanden.

Die Instrumente, welche aus dieser Legierung bestehen, sind sehr flexibel. Aufgrund ihrer Biegefähigkeit und der nicht schneidenden Spitze folgen, laut Herstellerangaben, die Feilen bei rotierender Präparation spontan dem Verlauf des Wurzelkanals. Die Konizitäten der ProFile[®]-Instrumente betragen entsprechend der Reihenfolge der Aufbereitung 7%, 6% und 4% und besaßen Größen, je nach Präparationsschritt von ISO 25, 30, 35 und 40.

Die Arbeitsenden der Feilen besitzen durch ihren Aufbau nur einen minimalen Kontaktbereich zwischen den Instrumenten und der Kanalwand, um so die Bruchgefahr und das Risiko, das Instrument im Kanal zu verklemmen, zu reduzieren.

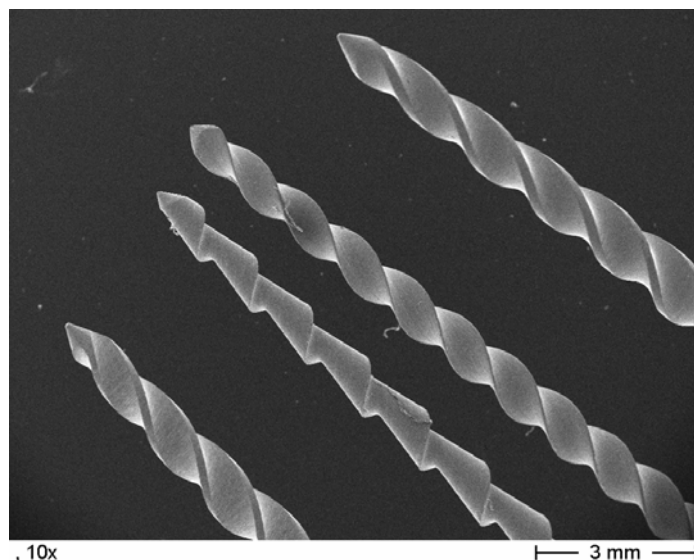


Abb. 7: Foto mittels eines Rasterelektronenmikroskops in 10 facher Auflösung

3.1.3 Spüllösungen

Produkt	Hersteller	Herkunft
Chlorhexameddigluconat Fluid, 0,1%	GSK	UK
Histolith [®] , Natriumhypochlorid 1%	Lege artis	D

Tabelle 2

Das Produkt Chlorhexamed Fluid ist eine 0,1%ige gebrauchsfertige Lösung, die unter anderem in der Endodontie als desinfizierendes Wurzelkanalspülmittel verwendet wird und zur Reduktion der Keimzahl dient. Die Lösung enthält als arzneilich wirksamen Bestandteil Chlorhexidindigluconat.

Weitere Bestandteile sind:

- Ethanol 96% (7,2Vol-% Alkohol)
- Glycerol
- Macrogolglycerolhydrostearat
- Anethol
- Nelkenöl
- Levomenthol
- Zimtöl
- Cochenillrot A (E 124)
- gereinigtes Wasser

Als weiteres Spülmittel wurde eine 1%ige Natriumhypochloridlösung (NAOCl) zum Spülen des Wurzelkanals verwendet. Die Spüllösung ist ein flüssiges Oxidationsmittel, dass zur Desinfektion und Reinigung des Kanalsystems eingesetzt wird und eine gute antibakterielle Wirkung besitzt. Die reinigende Wirkung wird unter anderem durch die aufschäumende Eigenschaft des Natriumhypochlorid erzielt. Durch wiederholtes und ausgiebiges Spülen, sowie durch Belassen der Lösung im Kanal, weist die Natriumhypochlorid-Lösung eine sehr gute gewebeauflösende Wirkung auf.

3.1.4 Materialien zur Obturation der Wurzelkanäle

Produkt/Instrument	Hersteller	Herkunft
AH Plus [®] Sealer	Dentsply DeTrey	Konstanz, D
ThermaPrep [®] Ofen	Dentsply Maillefer	Konstanz, D
ThermaFil [®] Verifier	Dentsply Maillefer	Konstanz, D
Thermafil [®] Obturatoren	Dentsply Maillefer	Konstanz, D
Diamantbohrer	Komet	D

Tabelle 3

Der in den Versuchen verwendete AH Plus Sealer der Firma Dentsply ist ein Zweikomponentenmaterial, welches bei der Wurzelkanalfüllung benutzt wird. Die Komponenten des AH Plus[®] Sealers beruhen auf einer Epoxidharz-Amin-Polymer-Basis. Der Wurzelkanalzement besteht aus einer Katalysator- und Aktivatorpaste, die jeweils zu gleichen Mengen zu einer cremig-pastösen Konsistenz vermischt werden und innerhalb von 24 Stunden er härten. Die Bestandteile der ersten Paste sind Epoxidharze, Calciumwolframat, Zirkoniumoxid, Aerosil und Eisenoxid. Die 2. Paste enthält Amine, als Aktivatoren, sowie Calciumwolframat, Zirkoniumoxid, Aerosil und Silikonöl.

Der ThermaPrep[®] Ofen ist ein Heizgerät mit zwei voneinander getrennt arbeitenden Heizkammern, um die Thermafil[®] Obturatoren zu erwärmen. Für die unterschiedlichen ISO-Größen der Obturatoren sind unterschiedliche Erwärmungszeiten notwendig, die durch Wahl-tasten für die entsprechenden ISO-Größen gewählt werden können.



Abb. 8: ThermaPrep[®]-Ofen mit einem Obturator Größe ISO 35 und einer Obturatorenbox

Zur Kontrolle der Kanalausmaße und zum eventuell notwendigen manuellen Revidieren des apikalen Bereiches stehen die ProFile®-Verifier zur Verfügung. Diese manuellen Instrumente weisen eine Konizität von 4% auf und sind auf das ProFile®-System und die ThermoFil®-Obturatoren abgestimmt.

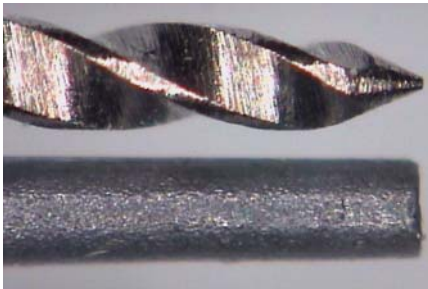


Abb. 9: Endstücke eines ProFile®-Verifiers (oben) und des Kernstiftes eines ThermoFil®-Obturators (jeweils ISO 40)



Abb.10: zwei ThermoFil®-Obturatoren; ohne Guttaperchaschicht (oben) und mit Guttaperchamantel (unten)

Die ThermoFil®-Obturatoren bestehen aus einem Kunststoffkern, der eine zum unteren Ende hin verjüngende konische Form besitzt und am oberen Ende eine Verdickung als Griff aufweist. Der untere Anteil des Kunststoffstiftes ist mit einer thermoplastischen Guttaperchaschicht überzogen. Zwischen dem Bereich der Guttaperchaschicht und dem Griff befinden sich ringartige Verdickungen auf dem Stift, die eine Fixation des Silikonstopps möglich machen. Die verwendeten Obturatoren wiesen die ISO-Größen 20, 25, 30, 35 und 40 auf und besaßen alle eine Arbeitsschaftlänge von 25mm.

Der verwendete FG-Diamantbohrer hatte eine zylindrische Form und eine als roten Ring markierte „feine“ Körnung mit einer Korngröße von etwa 50 µm.

3.1.5 Materialien zur Probenherstellung

Produkt/Instrument	Hersteller	Herkunft
Ätzgel [®]	Ivoclar, Vivadent	Ellwangen, Deutschland
Excite [®]	Ivoclar, Vivadent	Ellwangen, Deutschland
Tetric ceram [®]	Ivoclar, Vivadent	Ellwangen, Deutschland
Nagellack	Jade	Deutschland
Farbstofflösung		
Trennscheibe	Komet	Deutschland

Tabelle 4

Zum Konditionieren der Schmelz- und Dentinoberfläche ist eine 37%ige Orthophosphorsäure verwendet worden. Die Säure wurde mittels einer Spritze aufgebracht und lag in Form eines Gels vor, das die Applikation, das Verbleiben und die Entfernung aus der Kavität vereinfacht.

Das Bonding Excite[®], Vertreter der fünften Bondinggeneration, ist ein Einkomponentensystem, welches mit der Wet-Bonding-Technik verwendet wird. Excite[®] setzt sich zusammen aus:

- Hydroxyethylmethacrylat
- Bis-GMA
- Phosphorsäureacrylat
- Dimethacrylat (73,6 Gew%)
- Ethanol (25,0 Gew%)
- Hochdisperses Siliziumdioxid (0,5 Gew%)
- Katalysatoren, Stabilisatoren (0,9 Gew%)

Das verwendete Füllungsmaterial Tetric ceram[®] ist ein lichthärtendes Hybridcomposite und besteht aus einer organischen Matrix, einer anorganischen Matrix, die sich aus konventionellen Füllern (3-5µm) und Mikrofüllern (0,04µm) zusammensetzt, und einer Verbundphase.

Zusammensetzung:

- Bis-GMA (8,3 Gew%)

- Urethandimethacrylat (7,6 Gew%)
- Trimethylenglycoldimetzacrylat (4,3 Gew%)
- Bariumglasfüller, silanisiert (50,6 Gew%)
- Ytterbiumtrifluorid (17,0 Gew%)
- Mischoxid, silanisiert (5,0 Gew%)
- Ba-Al-Fluorsilikatglas (5,0 Gew%)
- Hochdisperses Siliziumoxid (1,0 Gew%)
- Additive (0,9 Gew%)
- Katalysatoren und Stabilisatoren (0,3 Gew%)
- Pigmente (<0,1 Gew%)

Es wurde ein handelsüblicher Nagellack verwendet, der eine kurze Trocknungszeit besitzt und eine rote Farbe aufwies.

Die Farbstofflösung war eine 5%ige Methylenblaulösung auf Wasserbasis.

Die Trennscheibe, die in Verbindung mit einem Handstück benutzt wurde, hatte eine blaue Körnungsmarkierung.

3.2 Methode

3.2.1 Probenvorbereitung

Alle Versuchszähne wurden zuerst auf Kariesfreiheit kontrolliert und wiesen ein abgeschlossenes Wurzelwachstum auf. Hinweise auf Wurzelfrakturen und resorbierende, entzündliche apikale Veränderungen konnten nicht festgestellt werden. Keiner der Zähne war endodontisch vorbehandelt.

An allen Zähnen wurde mit Hilfe eines FG-Winkelstücks und einem zylindrischen Diamanten eine Zugangsöffnung zum Wurzelkanal geschaffen. Die Zugangskavitäten hatten eine Ausdehnung, so dass die Wurzelkanalaufbereitung und das Füllen des Wurzelkanals ohne Behinderung durch Kavitätenwände und überstehende Pulpdachreste erfolgen konnten.

Der Eingang des Kanals wurde mit Hilfe eines Gates-Glidden-Bohrers erweitert, um einen besseren Zugang zum Kanal zu erhalten.

Eine Hedstroem-Feile der ISO-Größe 10 wurde in den Kanal und etwa 1mm über das Foramen apicale hinaus eingeführt, um so die Durchgängigkeit des Wurzelkanals zu kontrollieren und sicherzustellen.

Die Zähne wurden auf eindeutige Referenzpunkte überprüft und die Referenzen notiert, die für die Arbeitslängenbestimmung der späteren Wurzelkanalbehandlung notwendig waren. Die Arbeitslängen wurden bestimmt, indem die Hedstroem-Feile so tief in den Kanal eingeführt wurde, sodass die Spitze der Feile mit dem Foramen apicale abschloss. So konnten die Längen der Zähne vom Referenzpunkt bis zum Foramen apicale bestimmt und durch Subtraktion von 1 mm die Arbeitslänge errechnet werden.

Wie vom Hersteller des ProFile® Systems vorgegeben, erfolgte die Aufbereitung mit der Crown-Down-Technik von koronal nach apikal.

Die ProFile®-Instrumente wurden in Verbindung mit einem grünen Winkelstück (Kavo, D) verwendet. Die erste Feile wies eine Konizität von 7% und eine ISO-Größe von 50 auf und wurde verwendet, um eine gleichmäßige Erweiterung der Zugangsöffnung des Wurzelkanals zu erreichen.

In absteigender Reihenfolge der ISO-Größen von 40, 35, 30, 25 und 20 wurden die Präparationsfeilen mit einer Konizität von 6% verwendet, bis die Arbeitslänge erreicht war. Die Präparation des Kanals erfolgte in gleichmäßigen Vor- und Rückwärtsbewegungen, ohne Kraftaufwand in apikaler Richtung. Mit jedem Instrument wurde maximal 5 bis 10 Sekunden aufbereitet. Die apikale Erweiterung erfolgte unter Zunahme der ISO-Größen mit Feilen, die eine Konizität von 4% aufwiesen. Die verwendeten Feilen besaßen in aufsteigender Reihenfolge die ISO-Größen 20, 25, 30, 35 und 40. Während der gesamten Wurzelkanalaufbereitung wurde nach jedem Instrumentenwechsel ausgiebig zuerst mit 1%iger Natriumhypochlorid-Lösung und dann mit CHX gespült, um zum einen eine chemische Keimreduktion zu erreichen und zum anderen die infizierten Dentinspäne aus dem Kanal zu entfernen. Nach erfolgter Aufbereitung wurde die Durchgängigkeit des Kanals mit einer Hedstroem-Feile der ISO-Größe 10 erneut überprüft.

Nach erfolgter Wurzelkanalaufbereitung wurden die Zähne bis zur weiteren Probenherstellung in steriler 0,9%iger Natriumchloridlösung gelagert.

3.2.2 Versuchseinteilung

Die gesamten Versuchszähne wurden randomisiert in 5 Versuchsgruppen aufgeteilt, die aus jeweils 18 Proben bestanden.

Die auf die ISO-Größe 40 aufbereiteten Proben wurden mit unterschiedlichen Thermafil[®]-Obturatoren gefüllt. Die Zähne der ersten Versuchsgruppe, die als Kontrollgruppe diente, wurden nach Herstellerangaben mit Obturatoren der ISO-Größe 40 gefüllt.

In absteigender Reihenfolge nahmen die ISO-Größen der Obturatoren der Gruppen 2, 3, 4 und 5 ab.

Versuchsgruppen:

Versuchsreihe	ISO-Größe
1.Kontrollgruppe	ISO 40
2.Gruppe	ISO 35
3.Gruppe	ISO 30
4.Gruppe	ISO 25
5.Gruppe	ISO 20

Tabelle 5

3.2.3 Probenherstellung

Die endodontisch aufbereiteten Zähne wurden zum Versuchsbeginn aus der isotonen Natriumchloridlösung entnommen und die Kanäle mit ISO-genormten Papierspitzen getrocknet. Anschließend sind die Thermafil[®]-Obturatoren auf die Arbeitslängen der entsprechenden Zähne abgemessen und mit Hilfe eines Silikonrings fixiert worden. Daraufhin ist der Sealer nach Herstellerangaben zu gleichen Anteilen Basispaste und Katalysatorpaste gemischt und in geringer Menge mit Hilfe einer Hedstroem-Feile in den Kanal eingebracht und an der Kanalwand verteilt worden.

Dann wurden die Thermafil[®]-Stifte in den Heizkammern des Thermaprep[®] - Ofens erwärmt. Nach ertöntem Signal sind die vollständig erwärmten Obturatoren aus der Halterung des Ofens genommen worden und wurden bis zur Arbeitslänge zahnachsengerecht in den Kanal eingeführt. Anschließend wurden die aus dem Kanal herausragenden erkalteten Obturatorenanteile mit Hilfe eines Thermacut[®]-Bohrers in Höhe des Kanaleingangs abgetrennt. Die überschüssige Guttapercha wurde mittels eines Handexkavator von den Kavitätenwänden entfernt.

Dann wurde die Kavität mit der „Total-Etch“ Säure-Ätz-Technik und der Totalbonding-Technik vorbehandelt. Schmelz und Dentin wurden mit einer 37%igen Phosphorsäure in einem Schritt für 45 Sekunden angeätzt und die Säure mit ausreichend Wasser abgespült. Die gering feuchte Zahnoberfläche wurde mit dem Excite[®]-Bonding bestrichen, das Bonding mit der Unispritze geringfügig verblasen und dann für 30 Sekunden lichtgehärtet. Die koronalen Zahnkavitäten sind dann mit Hilfe der IN-CREMENT-Technik mit einem Hybridcomposite gefüllt worden, dessen Schichten für 45 Sekunden lichtgehärtet wurden. Anschließend ist die Zahnoberfläche mit einem handelsüblichen farbigen Nagellack dicht bestrichen worden. Ausgenommen vom Nagellack wurde der Bereich 1 Millimeter um den Apex herum, um das Foramen apicale nicht zu verschließen und so eine Farbstoffpenetration nicht zu verhindern. Nach einer einwöchigen Aufbewahrung der Proben in isotoner Natriumchloridlösung, um das vollständige Abbinden des Sealers zu gewährleisten, sind abschließend die Proben für 2 Wochen in 5%iger Methylenblaulösung liegend und verschlossen bei Zimmertemperatur gelagert worden.

3.2.4 Mikroskopische Beurteilung

Alle Proben wurden für eine qualitative Analyse unter einem Stereoaufsichtlichtmikroskop (VEB Carl Zeiss, Jena) begutachtet.

Nach 14 Tagen wurden die Proben der Lösung entnommen und luftgetrocknet. Dann sind die Zähne mit Hilfe einer diamantierten Trennscheibe für die mikroskopische Begutachtung vorbereitet worden.

In Abhängigkeit von der individuellen Lage des Foramens apicale, welches sich zur Beurteilung auf der Schliffebene befinden muss, wurden die Wurzeln in Längsrichtung trocken geschliffen.

Die Schliffebene wurde derart gewählt, damit im Querschnitt die Schichten Kanalwand, Sealer, Guttapercha und Kunststoffmasterpoint erkennbar waren. Die Proben wurden auf dem Objektträger des Mikroskops mit Pink-Wachs fixiert, damit eine individuelle Ausrichtung für die vertikale mikroskopische Betrachtung möglich war.

Für die Analyse wurde ein verändertes Objektiv verwendet, welches ein genormtes Raster besaß. Dieses Raster bestand aus Quadraten, deren Kantenlängen abhängig von der Vergrößerung unterschiedliche Abmessungen aufwiesen. Mit Hilfe des rotierbaren Rasterobjektivs konnten die Schliffproben im Mikroskop zahnachsengerecht ausgerichtet werden und so die Penetrationstiefen anhand der Vergrößerungsverhältnisse eindeutig und präzise bestimmt werden. Die Kantenlängen der Rasterquadrate in Abhängigkeit von der Mikroskopvergrößerung sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.

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

Tabelle 6

Während der mikroskopischen Untersuchung wurde das Raster auf die Proben derart projiziert, so dass die Penetrationstiefen der Methylenblaulösung entlang der Kanalwände durch Addition der Quadrate bestimmt werden konnten.



Abb. 11: Stereoauflichtmikroskop
der Firma „VEB Carl Zeiss, Jena“

3.2.5 Makroskopische Beurteilung

Unmittelbar nach der Obturation der Wurzelkanäle wurden die Zähne begutachtet. Die Proben sind dahingehend untersucht worden, ob und welches Wurzelkanalmaterial überpresst wurde. Die Einstufungen der Extrusionsparameter wurden zur einfacheren Klassifizierung so eingeteilt, dass eine Differenzierung zwischen positiver oder negativer Überpressung stattfand.

Zudem ist die Art des überpressten Materials eingestuft worden. Die Materialbeurteilung, ob reine Guttapercha, nur Sealer oder als Kombination beide Materialien überpresst wurden, ist in der Tabelle 8 aufgeführt.

3.2.6 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Werte erfolgte mit dem Statistikprogramm SPSS 11.0. (SPSS Inc., Chicago).

Folgende Tests kamen zur Anwendung:

Einfache Varianzanalyse ANOVA

Tukey's Studentized Range Test

Bonferroni Holm Analyse

Für jede Versuchsgruppe wurde aus den einzelnen Penetrationsergebnissen der statistische Mittelwert und die Standardabweichung errechnet

4. Ergebnisse

4.1 Penetrationstiefen

Die Ergebnisse der apikalen Dichtigkeit wurden in allen Versuchsreihen mit einem Auflicht-Stereomikroskop (VEB Carl Zeiss, Jena) ermittelt. Mit Hilfe eines Rasterobjektivs konnten die Penetrationstiefen in Mikrometer gemessen werden. Das Raster besteht aus Quadraten, deren Seitenränder abhängig von der jeweiligen Vergrößerung unterschiedliche Maße besitzen. Auf diese Weise konnten die Penetrationstiefen vom anatomischen Apex bis zum tiefsten Ausmaß der Farbstoffpenetration in koronaler Richtung exakt abgemessen werden. Die gesamten Penetrationsergebnisse sind in der folgenden Tabelle 7 aufgeführt .

Gruppen	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D	Gruppe E
	ISO 40	ISO 35	ISO 30	ISO 25	ISO 20
Proben	Penetration S in µm	Penetration S in µm	Penetration S in µm	Penetration S in µm	Penetration S in µm
1	2450,00	2250,00	1500,00	4250,00	2650,00
2	1850,00	2050,00	1750,00	3150,00	2750,00
3	1300,00	1600,00	1300,00	3750,00	3250,00
4	1100,00	750,00	300,00	2950,00	4875,00
5	3950,00	1600,00	2100,00	4125,00	3000,00
6	1750,00	2300,00	1800,00	2500,00	3250,00
7	1000,00	1100,00	2100,00	3875,00	5000,00
8	2400,00	1500,00	1850,00	2300,00	7250,00
9	1500,00	2200,00	2050,00	2375,00	6625,00
10	1600,00	2450,00	950,00	4500,00	3250,00
11	2450,00	2000,00	1300,00	3500,00	2187,50
12	1400,00	1200,00	1400,00	4750,00	2200,00
13	1850,00	600,00	1900,00	2900,00	3625,00
14	950,00	1600,00	1000,00	2750,00	6750,00
15	2000,00	850,00	1100,00	3750,00	3750,00
16	2300,00	900,00	1000,00	2200,00	3750,00
17	2400,00	1250,00	1600,00	2975,00	6000,00
18	2250,00	1600,00	1700,00	4000,00	3650,00
Mittelwert	1916,67	1516,67	1483,33	3366,67	4100,69
Standardabw.	720,91	584,10	484,77	794,47	1601,19
Maximum	3950,00	2450,00	2100,00	4750,00	7250,00
Minimum	950,00	600,00	300,00	2200,00	2200,00

Tabelle 7: Penetrationswerte aller Gruppen

Die ermittelten Penetrationstiefen zeigten Variabilitäten zwischen den untersuchten ISO-Größen.

Bei den Penetrationsuntersuchungen zeigte die ISO-Größe 30 mit einem arithmetischen Mittelwert von 1483 μm die kürzeste Penetrationstiefe. Innerhalb dieser Gruppe betrug die geringste Penetrationstiefe 300 μm und die längste Strecke 2100 μm . Die Gruppe B (ISO-Größe 35) wies im Mittel eine Penetrationslänge von 1517 μm auf, gefolgt von der Gruppe A (ISO-Größe 40) mit 1917 μm . Die ersten drei Gruppen mit den ISO-Größen 30, 35 und 40 unterscheiden sich mit ihren Penetrationsstrecken im Mittel nur um 434 μm .

Mit einem Abstand von 1450 μm folgt der ISO-Größe 40, der aufsteigenden Reihenfolge entsprechend, die Gruppe D mit einem arithmetischen Wert von 3367 μm . Die Gruppe mit der längsten Penetrationsstrecke im Mittel ist die Gruppe E mit einer ISO-Größe 20 und einem arithmetischem Mittelwert von 4101 μm .

In dieser Versuchsreihe wurde in der Gruppe E mit 7250 μm der längste Penetrationswert ermittelt. Das beste Dichtigkeitsergebnis wurde in der Gruppe C mit 300 μm gemessen.

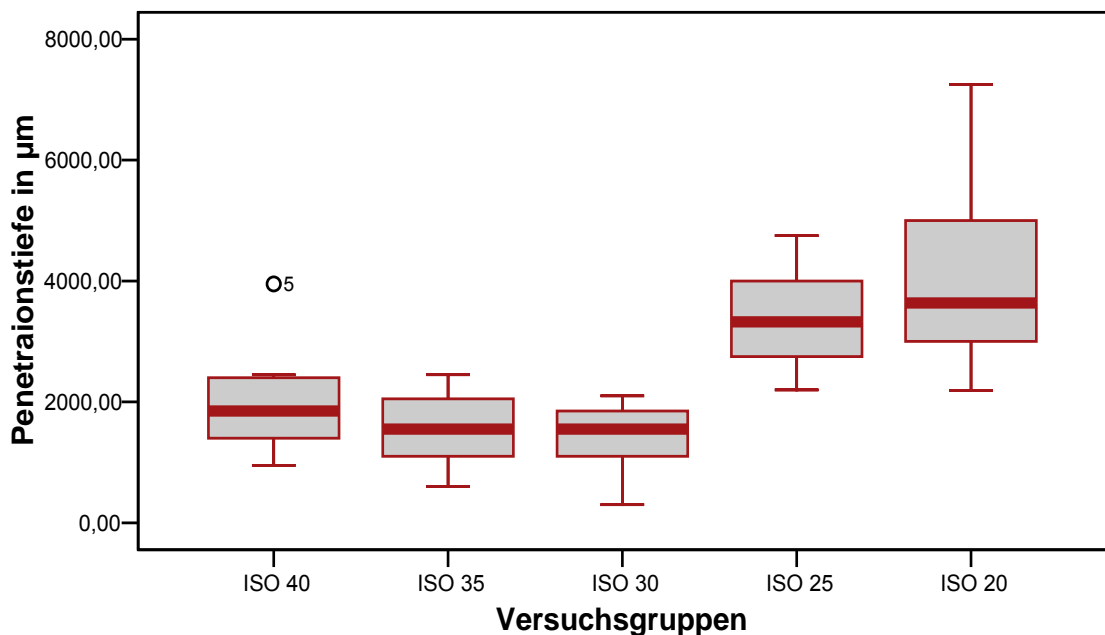


Abb. 12: Boxplotdarstellung der Penetrationswerte

4.2 Extrusionswerte

Im Zuge der zweiten Untersuchungsreihe wurde unmittelbar nach der Wurzelfüllung der apikale Bereich beurteilt und das Ausmaß und die Art des überpressten Materials bestimmt. Die Bewertung des Extrusionsgrades (EG) erfolgte als JA/Nein-Entscheidung und bei Überfüllung wurde das Extrusionsmaterial (EM) notiert. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 8 aufgeführt.

Gruppen	Gruppe A		Gruppe B		Gruppe C		Gruppe D		Gruppe E	
ISO	ISO 40		ISO 35		ISO 30		ISO 25		ISO 20	
Proben	EG	EM	EG	EM	EG	EM	EG	EM	EG	EM
1	-	0	-	0	-	0	-	0	-	0
2	+	G	-	0	+	S	-	0	-	0
3	+	GS	+	GS	-	0	-	0	-	0
4	+	S	-	0	+	S	-	0	-	0
5	-	0	-	0	-	0	-	0	+	S
6	+	S	-	0	+	GS	-	0	+	S
7	+	GS	+	S	+	S	-	0	+	S
8	+	S	+	S	-	0	+	GS	-	0
9	-	0	+	GS	-	0	+	GS	-	0
10	+	GS	+	S	-	0	+	S	-	0
11	-	0	-	0	+	GS	-	0	+	S
12	+	S	+	GS	+	S	-	0	+	S
13	+	S	+	GS	-	0	-	0	-	0
14	-	0	+	S	+	S	+	GS	-	0
15	+	GS	-	0	-	0	-	0	-	0
16	-	0	+	S	-	0	-	0	-	0
17	-	0	-	0	-	0	+	S	-	0
18	+	S	-	0	+	GS	+	S	-	0
Extr.max	11		9		8		6		5	
Extr.S	6		5		5		3		5	
Extr.G	1		0		0		0		0	
Extr.K	4		4		3		3		0	

Tabelle 8: Extrusionswerte aller Gruppen

EG ____ Extrusionsgrad

+ ____ Extrusion positiv

- ____ Extrusion negativ

S ____ Sealer

G ____ Guttapercha

Extr.max ____ Summe aller Extrusionen

Extr.S ____ Summe der Sealer-Extrusionen

Extr.G ____ Summe der Guttapercha-Extrusionen

Extr.K ____ Summe der Sealer-Guttapercha-Extrusionen

GS ____ Sealer und Guttapercha

Im Zuge der sekundären Studienreihe ist eine Abnahme an überpresstem Material bei absteigender Stiftgröße festzustellen. In der Versuchsgruppe A traten an 11 Zähnen Extrusionen auf, von denen sechs Überpressungen nur aus Sealer bestanden. An einem Zahn wurde während der Wurzelfüllung reines Guttapercha überpresst und an vier Zähnen konnte ein Überfüllen von Sealer und Guttapercha festgestellt werden. Die Studiengruppe B zeigte Extrusionen an acht Zähnen. In der Versuchsreihe ISO 35 zeigten vier Zähne Überpressungen von Sealer kombiniert mit Guttapercha und an fünf Zähnen waren nur Sealmengen sichtbar. In der Versuchsgruppe C (ISO 30) sind Extrusionen an fünf Zähnen nur mit Sealer und an drei Zähnen nur mit Guttapercha ermittelt worden. Die Untersuchung der Gruppen D (ISO 25) erbrachte sechs Überpressungen, davon waren drei Guttapercha-Sealer-Extrusionen und an drei Zähnen nur Sealer überpresst. In der Versuchsreihe E (ISO 20) konnten an den fünf überpressten Zähnen nur Sealer als Extrusionsmaterial festgestellt werden.

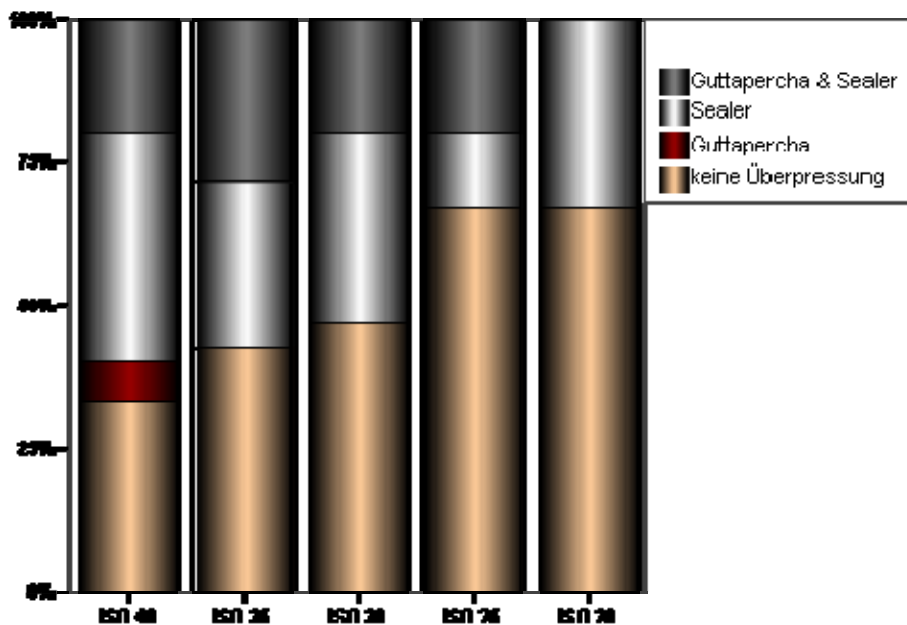


Abb. 13: Extrusionsergebnisse der einzelnen Versuchsgruppen
(Extrusionsmaterialien in Prozent)

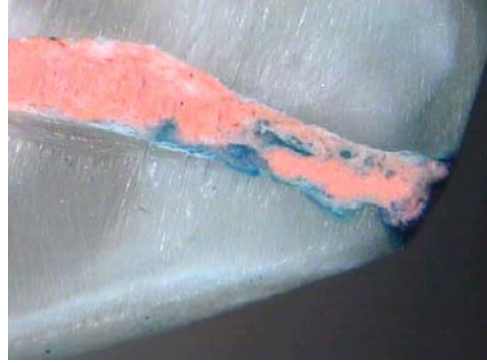


Abb. 14 und 15: Farbstoffpenetration zwischen der Kanalwand und der Wurzelfüllung

- links: Überpressung von Sealer über den Aufbereitungsendpunkt hinaus, eine ausgeprägte Farbstoffinfiltration entlang des Sealers ist erkennbar
rechts: Guttaperchaanreicherung im apikalen Bereich des Wurzelkanals mit gut sichtbarer Farbstoffanreicherung

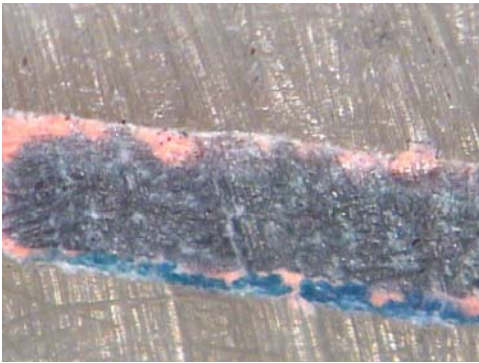


Abb.16: Farbstoffeinlagerung zwischen ThermoFil®-Obturator und Kanalwand

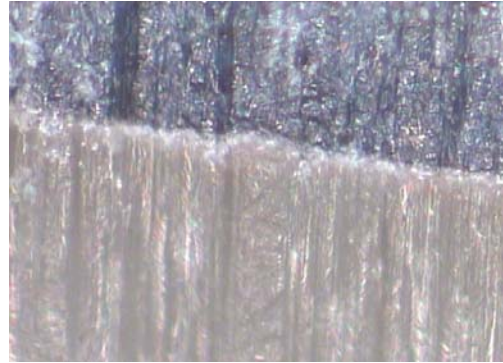


Abb.17: ThermoFil®-Stift ist nicht mit Guttapercha bedeckt; zwischen Plastikstift und Zahn ist nur eine dünne Sealerschicht sichtbar;
Probe aus der Kontrollgruppe A (ISO 40)



Abb.18: Farbstoffpenetration nur im letzten apikalen Millimeter erkennbar, der mit Sealer ausgefüllt ist

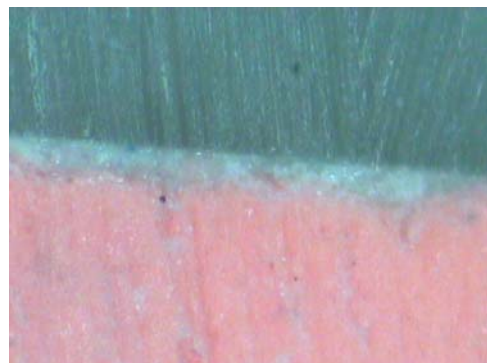


Abb.19: Schichten einer Schlißprobe: Zahn-Sealer-Guttapercha (oben-Mitte-unten), dünne Sealerschicht



Abb.20: Schliffprobe aus der Kontrollgruppe; aufgrund der Farbstoffpenetration ist das apikale Delta mit den Verzweigungen gut sichtbar



Abb.21: Schliffebene einer Versuchsprobe mit einer nach distal gebogenen Wurzel; die ausgeprägte Blaufärbung ist nicht durch das Schleifen entstanden, sondern durch Dentininfiltration; an der Innenkurvatur der Wurzelbiegung ist zu erkennen, dass der Plastikstift, unbedeckt von Guttapercha, an der Kanalwand anliegt

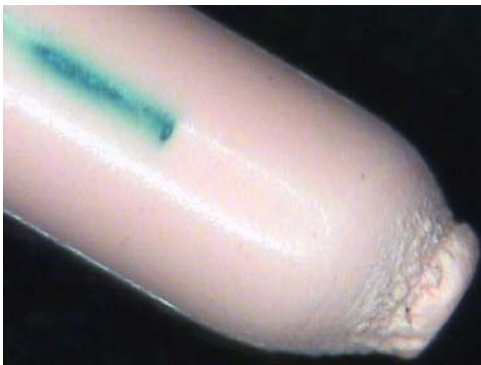


Abb.22: herstellungsbedingte dezentrale Lage des schwarzen Plastikstiftes im Guttaperchamantel (ISO 40 Obturator)



Abb.23: Guttaperchaanreicherung im apikalen Bereich; die Aufbereitungslänge ist etwa 1 mm länger, als der Plastikstift



Abb.24: farbinvertierte Röntgenbilder von 3 Studienproben zur Kontrolle der Wurzelfüllung

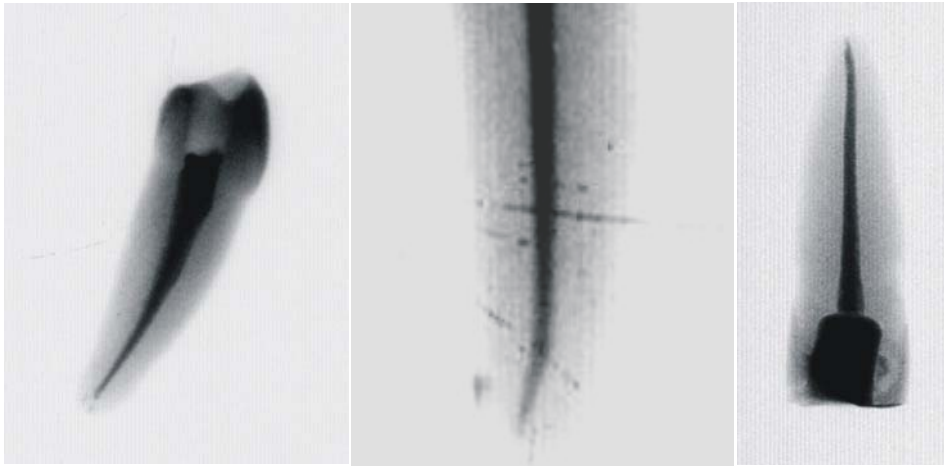


Abb. 25, 26 ,27: farbinvertierte Röntgenbilder von 3 Zahnproben zur Kontrolle der Wurzelfüllung

4.3 Statistische Analyse

Die Varianzanalyse der Einfachklassifikation zeigte einen signifikanten Einfluss der verschiedenen ISO-Größen auf die apikale Dichtigkeit ($p < 0,001$; ANOVA).

Die geringsten Penetrationswerte wurden für die ISO-Größe 30 beobachtet, die zu ISO 25 und ISO 20 signifikant verringert war ($p < 0,05$; Tukey's Studentized Range Test). Zwischen den Gruppen ISO 30, ISO 35 und ISO 40 konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p < 0,05$; Tukey's Studentized Range Test). Die höchsten Penetrationswerte wurden in der Gruppe ermittelt, die mit ISO 20 obturiert worden war. Die Ergebnisse waren im Vergleich zu allen anderen Gruppen signifikant erhöht, mit Ausnahme der Gruppe ISO 25 ($p < 0,05$; Tukey's Studentized Range Test).

Die gefundenen Daten wurden mit der Bonferroni Holm Korrektur überprüft und bestätigt.

5. Diskussion

Die Schritte zu einer erfolgreichen Wurzelkanalbehandlung sind die maximale Keimreduktion durch mechano-chemische Kanalreinigung, eine konische und verlaufsgerechte Kanalausformung, sowie der anschließende vollständige, dauerhafte, hermetische und dichte Verschluss des Wurzelkanalsystems, um das Ziel des langfristigen Zahnerhaltes zu gewährleisten. In dieser Studie wurde das Wurzelkanalfüllsystem Thermafil[®] untersucht. Die standardisiert aufbereiteten Wurzelkanäle der einzelnen Versuchsreihen wurden mit Thermafil[®]-Obturatoren unterschiedlicher ISO-Größen in Kombination mit einem Sealer gefüllt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit war es, die apikale Dichtigkeit der verschiedenen Versuchsgruppen zu untersuchen und das Extrusionsverhalten zu beurteilen.

5.1 Versuchsaufbau

Die für diese vorliegende Studie ausgewählten Proben waren humane, kariesfreie, frisch extrahierte und einwurzelige Zähne mit einem Wurzelkanal. Diese Zähne wurden in verschiedenen Berliner Zahnarztpraxen extrahiert und in isotoner Natriumchloridlösung gesammelt. Die Zähne mit nicht abgeschlossenem Wurzelwachstum oder mit obliterierten Wurzelkanälen wurden in diese Studie nicht miteinbezogen.

In vergleichbaren Studien kamen zum Teil artifizielle Wurzelkanäle aus Methacrylatkunststoff zur Anwendung. Diese bieten standardisierte Bedingungen und somit eine gute Vergleichbarkeit für alle Versuchsreihen, hinsichtlich Materialoberfläche, Kanalkonfiguration und Kanalgröße (Tepel, 1998; Tepel, 2000; Schäfer und Zapke, 1999). Jedoch müssen Einschränkungen in Bezug auf die Aussagekraft gemacht werden, da entscheidende Parameter für die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen in diesen Studien nicht berücksichtigt oder simuliert werden können (Chohayeb, 1992). Aus diesem Grund werden für Untersuchungen von Wurzelfüllmethoden menschliche Zähne herangezogen, um alle in vivo vorkommenden Einflussfaktoren, wie Kanalwandbeschaffenheit, Schmierschicht, Eigenschaft

der Zahnhartsubstanz und Interaktion des Füllungsmaterials mit der Dentinoberfläche, mit einzubeziehen (Barthel et al., 1994; Beatty et al., 1989). Da menschliche Zähne eine hohe Variabilität des Wurzelkanalsystems aufweisen, ist es schwierig eine Vergleichbarkeit der Versuchsreihen zu erzielen. Aus diesem Grund wurde bei der Auswahl der Versuchszähne darauf geachtet, nur die Zähne in die Studie einzubeziehen, die eine Ähnlichkeit hinsichtlich Aufbereitungslänge, Kanalkonfiguration (Röntgenkontrolle) und Ausgangs-ISO-Größe aufwiesen. Die Aufbereitung endete 1 mm vor dem Foramen apicale.

Darüber hinaus erfolgte die Kanalaufbereitung mit rotierenden Nickel-Titan-Instrumenten, um eine hinreichende Formkongruenz der Kanäle zu erreichen. Diese Kanalgleichheit kann mit manuellen Aufbereitungstechniken und Wurzelkanalinstrumenten nicht oder nur ungenügend erzeugt werden, da die menschliche Hand als Instrumentenführer eine Kongruenz der Proben hinsichtlich Kanalform und Aufbereitungskonzentration nicht zulässt. Deshalb hat sich die rotierende Vorgehensweise vor allem in geraden Kanälen bewährt, damit vergleichbare Bedingungen für alle Versuchsreihen geschaffen werden (Hanning, 2003, Barthel et al., 1999, Buchanan, 1996, Beer und Baumann, 1997, Beer, 1993, Schäfer, 1999). Um zum Teil auftretende Normabweichungen der Aufbereitungsinstrumente während des Herstellungsprozesses hinsichtlich der ISO-Größe und des Aufbereitungskonus zu nivellieren, sind die Ausmaße aller präparierten Kanäle mit Hilfe eines Handinstrumentes (Feile) überprüft worden (Hülsmann, 2002). Die Kontrolle der Kanalform erfolgte in dieser Studie mit einem so genannten „Verifier“ der ISO-Größe 40, der von dem ProFile®-System vorgegeben wird. Da jeder Zahn einer Versuchsreihe zuerst aufbereitet wurde, sind alle Zähne bis zur Kanalobturation in isotoner Natriumchloridlösung aufbewahrt worden, um das Austrocknen der Zahnschicht zu verhindern. Alle Zähne einer Gruppe wurden dann nacheinander gefüllt, wobei die Problematik von Temperaturschwankungen der unterschiedlichen Guttaperchastifte während der Füllungsphase bestand. Der Thermafil®-Prep Ofen besitzt zwei Heizkammern, die zur Erwärmung abwechselnd genutzt werden können. Jedoch ist es nicht nachvollziehbar, ob die Heizspiralen sich vollständig abgekühlt hatten. Aus diesem Grund wurde

eine angemessene Abkühlungszeit für den nächsten Heizvorgang eingehalten. Ein weiteres Problem besteht darin, dass der Ofen nicht für jede Stiftgröße eine eigene Erwärmungszeit vorsieht. Es sind nur drei Erwärmungszeiten per Knopfdruck wählbar, die jeweils für eine Gruppe von mehreren ISO-Größen zuständig sind. Somit werden unterschiedliche Größen von Guttaperchastiften auf dieselbe Temperatur und mit der gleichen Heizzeit erwärmt, wodurch es zu veränderten Ausgangsbedingungen während der Füllungsphase kommen kann. Obwohl dieses Problem auch im klinischen Gebrauch auftreten kann, wird es als mögliche Fehlerquelle trotzdem erwähnt. Die Kanäle sind vor der Obturation mit ISO-genormten Papierspitzen getrocknet und unter absoluter Trockenlegung gefüllt worden. Dieses Vorgehen nach *lege artis* konnte, aufgrund der In-vitro-Untersuchung, einfach realisiert werden.

Nach dem Füllungsvorgang wurde jeder Zahn einzeln in ein Aufbewahrungsgefäß mit Farbstofflösung gelegt und die Gefäße abgedeckt, um Flüssigkeitsverdunstungen der Lösungen zu verhindern.

5.2 Untersuchungsmethode

Die qualitative Beurteilung einer Wurzelfüllung kann hinsichtlich verschiedener Eigenschaften und in unterschiedlicher Art und Weise erfolgen. Zum einen kann die Füllung hinsichtlich Kontinuität, Blasenfreiheit, Adaptation an die Füllungswand und die apikale Füllungstiefe untersucht werden.

Zum anderen ist die Dichtigkeit einer Wurzelfüllung eine ausschlaggebende Eigenschaft, die in den häufigsten Studien untersucht und beurteilt wird. Methoden mit einem hohen apparativen Aufwand zur Untersuchung der Dichtigkeit von Wurzelfüllungen sind zum Beispiel das Fluid-Transfiltrations-System und der Test mit Hilfe von elektrochemischen Verfahren (Wu, 1993; Ludovic, 2005).

Die Dichtigkeiten können auch durch Spaltanalysen anhand eines Rasterelektronenmikroskops oder durch Penetrationstests mit Hilfe von radioaktiven Isotopen, Bakterien oder durch Farbstofflösungen gemessen

werden. Der Penetrationstest mit radioaktiv markierten Molekülen, wie z.B. Jod, setzt einen komplizierten und aufwendigen Versuchsaufbau voraus und liefert im Vergleich zum Farbstofftest weniger exaktere Ergebnisse. In einer vergleichenden Studie konnte ermittelt werden, dass Farbstofflösungen gleichmäßiger und tiefer in den Wurzelkanal penetrieren können, als radiomarkierte Isotope (Matloff, 1982).

Auch die Untersuchungsmethode auf der Grundlage von Bakterienpenetration trifft eine ungenügende Aussage über die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen verschiedener Techniken (De Deus, 2006). Denn nicht nur Bakterien, sondern auch die bakteriellen Metaboliten bzw. Endotoxine, können der Grund für eine Exazerbation einer periapikalen Entzündung sein. Da Bakterien eine charakteristische Länge im Schnitt von 1–5 µm besitzen und im Vergleich zu ihren Metaboliten bedeutend größer sind, ist dieser Test nur eingeschränkt für die apikale Dichtigkeit nutzbar. Zudem besteht die Gefahr, aufgrund einer undichten Wurzelfüllung, dass auch andere Moleküle, wie Nährstoffe, z.B. Zuckermoleküle, aus dem peripheren Gewebe entlang der Wurzelfüllung in den Wurzelkanal gelangen. Dort können diese Nährsubstrate den persistierenden Bakterien als Nahrungsgrundlage dienen und so eine erneute Vermehrung verursachen, woraufhin diese Mikroorganismen ihre pathologische Wirkung erneut entfalten könnten. Deshalb sollten Dichtigkeitsversuche mit Penetrationsmitteln stattfinden, die eine möglichst minimale Molekülgröße besitzen.

Im Zuge von Dichtigkeitsstudien haben sich Tests mit Farbstofflösungen durchgesetzt. Es erfolgt die Bestimmung der Menge einer eingedrungenen Farbstofflösung in den Kontaktbereich zwischen der Wurzelfüllung entlang der Kanalwand. Dieser so genannte Farbstoffpenetrationstest kann aktiv oder passiv durchgeführt werden. Aktive Tests beruhen auf dem Prinzip, dass Flüssigkeitsbewegungen von Farbstofflösungen entlang der Wurzelfüllung z.B. durch Zentrifugalkräfte oder durch geeignete Luftdrucksysteme unterstützt werden. Auch sind in Studien Dichtigkeitsuntersuchungen unter Vakuumbedingungen durchgeführt worden, die jedoch keine statistischen Differenzierungen zwischen Obturationstechniken ermöglichten und eine klinische Relevanz als diskussionswürdig erachten (Dalat, 1994). Durch die benötigte technische

Ausrüstung und des „Know-Hows“ hat sich der passive Penetrationstest, aufgrund des geringeren technischen Aufwandes, des physiologischen Versuchsaufbaus und der hohen Aussagekraft durchgesetzt (Barthel, 1994; Masters, 1995, Pathomvanich, 1996).

Der Farbstoffpenetrationstest wurde mit einer 5%igen Methylenblaulösung auf Wasserbasis durchgeführt, die sich in vorangegangenen Studien als geeignet erwiesen hat. Eher selten verwendete alternative Farbstofflösungen können Eosin oder Tinte (India Ink) sein. Da Methylenblau ein geringeres Molekulargewicht besitzt, als z.B. die Farbstofflösung India Ink und andere Indikatoren, kann in Bezug auf pathologische Stoffe wie Bakterien, Bakterientoxine und niedermolekulare Nährsubstrate ein physiologischeres Penetrationsverhalten imitiert werden (Ahlberg, 1995). Die Partikel der Farblösung Methylenblau besitzen ein vergleichbares Penetrationsvermögen wie die Butansäure, die ein metabolisches Bakterienprodukt ist (Kersten, 1989). Aus diesen Gründen haben wir uns für diese Methode und diesen Farbstoff entschieden.

Die Ergebnisse wurden anhand von geschliffenen Wurzellängsschnitten auflichtmikroskopisch ermittelt. Alternativmethoden zur Einschätzung der Farbstoffpenetration sind das Spalten der Wurzeln in Längsrichtung, das Transparenzmachen oder das Auflösen von Zähnen (Dummer, 1994; Taylor, 1997; Valli, 1998). Problematisch in Bezug auf die Spaltungstechnik ist, dass die Wurzel exakt gespalten werden muss, um eine Bildebene zu erhalten mit der man die apikalen Kanal millimeter und das Foramen adäquat begutachten kann. Im Zusammenhang mit der Bewertung von transparenten Zähnen und demineralisierten Proben, um die Penetration an der Wurzelfüllung zu messen, besteht das Problem, dass die Farbstoffpartikel des Methylenblaus sich aufgrund der Modifikationsverfahren auflösen, sodass sich die Bewertung der Penetration schwierig gestaltet (Suaia, 2006).

Das in vielen Studien zitierte Problem der ThermoFil[®]-Methode ist die Überpressung von Füllungs material während der Obturationsphase. Da das überpresste Material keine messbare Form und Menge darstellte, konnte keine exakte quantitative Aussage getroffen werden. Die Bewertung der Extrusion erfolgte als Ja/Nein- Entscheidung und über die Differenzierung

der Materialart, ob Guttapercha, Sealer oder beide Substanzen kombiniert überpresst wurden.

5.3 Diskussion der Ergebnisse

Die in dieser Studie, anhand von In-vitro-Versuchen, produzierten Ergebnisse lassen sich nur eingeschränkt auf die klinische Behandlungssituation übertragen, da die Untersuchung extraoral, d.h. unter optimalen Bedingungen und mit festgelegten Parametern, stattfand. Diese Voraussetzungen lassen sich im klinischen Alltag nicht oder nur schwer realisieren. Zum Beispiel können ungenaue Arbeitslängenbestimmungen, eine insuffiziente Trocknung des Kanals, Entzündungsprozesse mit Exsudation im apikalen Bereich und erschwerte Einsicht und Handlungsfähigkeit in der Mundhöhle entscheidende Parameter verändern, die den Erfolg und den Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung negativ beeinflussen können.

Als Kontrollgruppe ist die Obturatorgröße ISO 40 gewählt worden. Diese Größe wird für einen auf ISO 40 aufbereiteten Kanal vom Hersteller laut Gebrauchsanweisung vorgeschrieben und ist in Studien untersucht worden (Schäfer, 2002). Da wissenschaftliche Studien sich in verschiedenen Parametern, wie z.B. Aufbereitungstechnik, Art des Penetrationsmarkers und Dauer des Penetrationstestes, unterscheiden können, erschien es sinnvoll die Aufbereitungsgröße und Obturatorgröße ISO 40 als primären Standardparameter für die Kontrollgruppe zu definieren.

Die für diese Kontrollgruppe ermittelten Penetrationstiefen waren vergleichbar mit den Ergebnissen vorangegangener Studien dieser Stiftgröße (Schäfer, 2002).

Die in allen Versuchsreihen aufgetretenen durchschnittlichen Undichtigkeiten variierten zwischen den einzelnen Stiftgrößen. Die Gruppen B (ISO 35) und C (ISO 30) zeigten im Vergleich zur Kontrollgruppe A (ISO 40) durchschnittlich geringere Undichtigkeitswerte. Im Gegensatz dazu stiegen die Penetrationswerte der Versuchsreihen D (ISO 25) und E (ISO 20) signifikant an. Da keine vergleichbaren Studien und Literaturangaben existieren,

konnten die Penetrations- und Extrusionsergebnisse dieser Versuchsreihen nicht mit anderen Untersuchungen verglichen und diskutiert werden. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Penetrationswerten der Versuchsgruppen A (ISO 40), B (ISO 35) und C (ISO 30) festgestellt werden. Jedoch zeigten die Durchschnittswerte der Proben einen Unterschied zwischen den Gruppen A (ISO 40) und B (ISO 35) von ca. 400 μm und eine Differenz der Gruppen B (ISO 35) und C (ISO 30) von etwa 30 μm . Ursächlich für die geringgradig abnehmende Undichtigkeit in der Reihenfolge der Gruppen A (ISO 40), B (ISO 35) und C (ISO 30) kann das Volumen der Obturatoren angenommen werden. Zum einen besteht vor allem während der Verwendung des ISO-40-Obturators die Gefahr, dass sich die Guttapercha vom Plastikstift aufgrund erhöhter Reibung an der Kanalwand abschabt. Dieses Problem kann auftreten, da der Kunststoffzentralstift der ISO 40 ein größeres Ausmaß besitzt, als die Stifte der anderen ISO-Größen. Ebenfalls kann dieses Risiko, aufgrund einer produktionsbedingten Abweichung im Aufbau des Obturators, erhöht werden, wie zum Beispiel die dezentrale Lage des Kunststoffstiftes im Guttaperchamantel, wie sie in Abbildung 22 zu sehen ist. Deshalb kann es besonders im apikalen Bereich zu erhöhten Undichtigkeiten kommen, die auf eine schlechte Adaptation des Kunststoffstiftes an der Kanalwand zurückzuführen sind und in Abbildung 18 zu erkennen ist (Lee, 1998). Zum anderen können die Penetrationswerte der Kontrollversuchsreihe A (ISO 40) Ausdruck eines erhöhten Stempeldrucks sein, der entsteht wenn der erwärmte ThermoFil[®]-Stift der ISO-Größe 40 in den Kanal inseriert wird. Der Kunststoffkernstift besitzt die gleiche Form, hinsichtlich Konizität und Ausmaß, wie der ProiFile[®]-Verifier und das letzte verwendete ProFile[®]-Aufbereitungsinstrument. Damit soll vorausgesetzt werden, dass das Füllungsmaterial überall im Kanal dieselbe Schichtstärke um den Kunststoffstift herum besitzt. Zusätzlich werden aufgrund dieser konischen Form Guttapercha und Sealer während der Kanaleinführung an die Kanalwand gepresst. Der entstehende Druck wirkt zum einen nach horizontal bzw. lateral und zum anderen in apikaler Richtung, um das Füllungsmaterial dicht an die Kanalwand zu pressen und eine Erhöhung der Dichtigkeit zu erzielen. Durch diese Art der Kolbenwirkung wird der Sealer, der vorher in den Kanal in geringer Menge eingebracht und in einer dünnen

Schicht gleichmäßig verteilt worden ist, von der Kanalwand abgeschabt und nach apikal transportiert. Das Herausschieben des Wurzelkanalzementes über den Apex hinaus konnte direkt nach der Obturation außen an den Zähnen und im apikalen Bereich unter dem Mikroskop anhand der aufgeschliffenen Proben, vor allem in der Versuchsreihe A (ISO 40), beobachtet werden.

Somit fehlt zwischen Wurzelkanalwand und Guttapercha das Verbundmaterial, der Sealer, welches für die Dichtigkeit von Wurzelfüllungen wichtig ist (Schäfer, 2002).

Da dieser adaptive und kongruente Verbund aufgrund des entfernten Sealers und im Zuge der Abkühlungsschrumpfung der erwärmten Guttapercha, insuffizient wird, ist die gering erhöhte Undichtigkeit der Gruppe A zu erklären, weil die Obturatoren der Größe ISO 40 ein größeres Volumen aufweisen und somit eine größere Wärmeaufnahmekapazität besitzen, die einen negativen Einfluss auf das Abkühlungsverhalten haben. Für die gering abnehmenden Farbstoffpenetrationswerte der Gruppen B und C können so die reduzierten Volumen der Obturatoren verantwortlich gemacht werden.

Denn nur die Summe aus Wurzelfüllmaterial und Sealer, die Kombination welche von der Literatur propagiert und gefordert wird, bietet die beste Voraussetzung, um eine dichte Wurzelfüllung zu gewährleisten. Die Sealermenge sollte, aufgrund der Resorbierbarkeit des verwendeten AH Plus® Sealers, so gering wie möglich, aber soviel wie nötig sein, um die gesamte Kanalwand mit einer dünnen Schicht zu bedecken (Wu, 1995).

Da das Einbringen des Sealers in den Kanal ohne Sichtkontrolle erfolgt, hängt die gleichmäßige Verteilung unter anderem auch von der Fülltechnik ab. Die Bildung einer dünnen Schicht und die Entstehung von wenigen Hohlräumen im Wurzelkanalzement während der Obturationsphase sind positive Parameter für die Langzeitdichtigkeit von Wurzelfüllungen. Beide Parameter konnten in dieser Untersuchung für das ThermaFil®-System entsprechend bezüglicher Literaturveröffentlichungen positiv verifiziert werden (Weis, 2004).

Außerdem sollte der Sealer aufgrund seiner Abbindereaktion und Zusammensetzung kein Schrumpfungsverhalten größer als 1% aufweisen, da sonst das Risiko einer Reinfektion durch Bakterienpenetration erhöht wird.

In verschiedenen Studien konnte ermittelt werden, dass der verwendete Sealer AH Plus® einer Abbindeexpansion von 0,9% unterliegt und damit das Risiko einer erneuten Bakterienpenetration minimiert wird (Orstavik, 2001). Somit wirkt die Sealerexpansion der Volumenreduktion der sich abkühlenden Guttapercha geringfügig entgegen. Die Volumenschrumpfung der Guttapercha während der Abkühlung kann bis zu etwa 7% betragen, und ist somit der ursächliche Faktor für die apikalen Undichtigkeiten von Wurzelfüllungen mit erwärmter Guttapercha. In einer Studie wurde herausgefunden, dass die Schrumpfung als Dimensionsänderung bis zu 10 Stunden andauern kann (Meyer, 2006; Lee, 1997).

Aus diesem Grund erscheint es sinnvoll einen Sealer zu verwenden, der eine entsprechende Aushärtungszeit aufweist. Der Sealer AH Plus® hat eine Abbindedauer von bis zu 24 Stunden und ist nicht nur aufgrund dessen ein geeigneter Wurzelkanalzement in Kombination mit dem ThermaFil®-System (Hellwig, 1995). Denn AH Plus® besitzt nicht nur eine gute Gewebeverträglichkeit, es konnte auch keine Genotoxizität und Mutagenizität nachgewiesen werden. Weiterhin zeigte es unter Temperatureinfluss, der während der Obturation mit ThermaFil® unweigerlich ist, eine verbesserte Wirkung auf humane Fibroblasten hinsichtlich Adhäsion und Proliferation (Leyhausen, 1999; Neff, 2002).

Die ermittelte signifikante Erhöhung der Farbstoffpenetration der Versuchsreihen D (ISO 25) und E (ISO 20) ist mit dem zu geringen Volumen der Obturatoren zu erklären. Der Druck, der während der Stiftinsertion aufgebaut wird und Guttapercha und Sealer an die Kanalwand pressen soll, scheint mit den ISO Größen 25 und 20 nicht auszureichen, um eine optimale Adaptation von Füllmaterial und Zahn und eine apiakle Abdichtung zu erreichen.

Der Kolbendruck, der mit den Obturatoren der ISO-Größen 25 und 20 erreicht wird, ist zwar bedeutend kleiner als die Wirkung der ThermaFil®-Sifte mit höheren ISO Größen, jedoch wurden auch in diesen Versuchsreihen geringe Mengen an Sealer nach apikal transportiert. Dies wird mit den Ergebnissen der sekundären Studienreihe, also der Beurteilung der Überpressung von Füllmaterial, deutlich. Zusätzlich wirkt sich die

Volumenkontraktion der sich abkühlenden Guttapercha deutlich negativ auf die apikale Dichtigkeit der Versuchsreihen D und E aus.

Da eine Wurzelkanalfüllung eine Kombination aus Wurzelkanalzement und Füllmaterial darstellt, kommen als mögliche Ursachen für Überpressungen die jeweiligen Materialien in Frage. Ein Grund für das Überpressen von Wurzelfüllmaterial könnte das Einbringen einer erhöhten Menge an Sealer sein, die in der Summe mit dem Füllmaterial die Aufnahmekapazität des Wurzelkanals übersteigt. Zum anderen könnte die Obturatorengröße oder die nicht sachgerechte Verwendung der Obturatoren die Ursache für Extrusionen sein.

Nach der Überprüfung der Kanalgröße mittels eines „ThermaFil®-Verifiers“ wurde während der Obturation auf die Einschubrichtung und die genaue Einhaltung der Arbeitslänge genau geachtet. Außerdem wurde die Obturation nach Herstellerangaben innerhalb von 5 Sekunden durchgeführt und darauf geachtet, dass das Einbringen des ThermaFil®-Heatcarriers langsam und kontinuierlich erfolgte, um die Stempeldruckwirkung der erweichten Guttapercha nicht zu groß werden zu lassen. In Bezug auf die einzelnen ISO-Größen der Obturatoren kann eine Korrelation zwischen den Abmessungen der Stifte und den Penetrations- und Extrusionswerten angenommen werden. Vor dem Hintergrund, dass vergleichbare Untersuchungen ähnliche Penetrations- und Extrusionswerte zeigten wie die Kontrollgruppenergebnisse dieser Studie, ist anzunehmen, dass das Volumen des Obturators ISO 40 im Vergleich zum Ausmaß der Kanalgröße des ISO 40 aufbereiteten Wurzelkanals eine ursächliche Erklärung für die gemessenen Extrusionswerte ist. Der Ausdruck eines erhöhten Volumenanteils eines Obturators kann sich in Form von nach apikal überpreßtem Wurzelfüllmaterial und/oder als im Wurzelkanaleingang abgestreifte Guttapercha zeigen. Beide Indizien konnten vereinzelt oder als Kombination bei Proben in der Kontrollgruppe gehäuft beobachtet werden.

6. Schlussfolgerung

In Beantwortung der in der Zielstellung dieser Arbeit gestellten Frage, über den Einfluss unterschiedlicher Obturatorgrößen auf die apikale Dichtigkeit von ThermaFil® Wurzelfüllungen, konnte unter Berücksichtigung der in dieser In-vitro-Studie gewonnenen Ergebnisse die Verwendung von Obturatoren, die ein bis zwei ISO-Größen kleiner sind als die Aufbereitungsgröße des Kanals, ein verbessertes apikales Füllungsverhalten festgestellt werden.

Diese Einschätzung beruht auf den Ergebnissen dieser Studie und den daraus resultierenden Zusammenhängen zwischen der abnehmenden Obturatorgröße und der tendenziellen Zunahme der apikalen Dichtigkeit und der Abnahme der Extrusionen.

Für eine klinische Empfehlung sollte die Schlussfolgerung dieser Arbeit über die Modifikation der ThermaFil®-Methodik in weiteren Studien verifiziert werden.

7. Zusammenfassung

Für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung sind eine chemo-mechanische antibakterielle Reinigung, eine füllungsgerechte konische Ausformung und eine abschließende hermetische, dauerhafte und dreidimensionale Obturation des Wurzelkanals notwendig. Das Füllungsmaterial sollte den gesamten Wurzelkanal dicht ausfüllen, um zum einen Bewegungen von Bakterien und Flüssigkeiten entlang der Kanalwand zu verhindern und zum anderen Dentinkanälchen, akzessorische Kanäle und das Foramen apicale suffizient zu verschließen. Der Dichtigkeit vor allem des apikalen Wurzelkanalabschnittes kommt eine besondere Bedeutung zu, da dieser Bereich die Grenzbarriere zum bakteriell infizierten und entzündeten Gewebe darstellt und den Wurzelkanal vor Reinfektion schützen soll.

Das Prinzip des ThermoFil[®]-Systems beruht auf einem einzeitigen Obturationsschritt mit Hilfe eines Plastikcarriers, der mit thermoplastischer Guttapercha ummantelt ist. Nach der gleichmäßigen Verteilung eines Sealers an der Wurzelkanalwand wird der Obturatorstift in einem spezifischem Heizgerät erwärmt und dann langsam und kontinuierlich in den Kanal bis zur vorher festgelegten Arbeitslänge eingeführt. Eine Obturation sollte entlang der gesamten Arbeitslänge erfolgen und eine zu kurze Füllung bzw. eine Extrusion vermieden werden, um das Risiko einer persistierenden Entzündung zu reduzieren.

Das Ziel dieser Arbeit war es, dass apikale Abdichtungsverhalten von Wurzelfüllungen mit verschiedenen Größen von ThermoFil[®]-Stiften in einer In-vitro-Studie zu untersuchen und die Extrusionseigenschaften zu bewerten.

Für diese wissenschaftliche Untersuchung sind 90 einkanälige Zähne randomisiert in fünf Versuchreihen je 18 Proben aufgeteilt worden. Alle Zähne wurden mit ProFile[®]- .04 / .06 (Maillefer, Konstanz, Deutschland) unter stetigem Spülen mit 1%iger Natriumhypochloridlösung und 0,2%igem CHX bis zu der Kanalgröße ISO 40 mit der Crown-down-Technik aufbereitet. Die Arbeitslängen wurden mit Hilfe einer Feile ISO 10 im Kanal bestimmt. Beim Erkennen der Feilenspitze im Foramen apicale wurde die Feilenlänge gemessen und um 1 mm gekürzt. Infolgedessen sind die Wurzelkanäle der einzelnen Versuchreihen mit ThermoFil[®]-Stiften der Größen ISO 40 (Gruppe A), ISO 35

(Gruppe B), ISO 30 (Gruppe C), ISO 25 (Gruppe D) und Größe 20 (Gruppe E) in Kombination mit dem Sealer AH Plus® (Dentsply, Konstanz, Deutschland) gefüllt worden. Nachdem die koronalen Zugangskavitäten mit einer 37%igen Phosphorsäure konditioniert, mit dem Bondingsystem Excite® vorbehandelt und dann mit dem Hybridcomposite Tetric ceam® verschlossen wurden, sind alle Proben, ausgenommen 2 mm zirkulär um das Foramen apicale herum, mit Nagellack dicht beschichtet worden. Die Lagerung der Versuchszähne in 5%iger Methylenblaulösung erfolgte 1 Woche lang in einem abgedeckten Gefäß bei Zimmertemperatur. Die Zähne sind, entsprechend ihrer Längsachse und dem Kanalverlauf, mittels einer Trennscheibe geschliffen worden und wurden dann unter einem Aufsichtstereomikroskop hinsichtlich der Penetrationstiefe untersucht. Die Messung erfolgte vom apikalen Ende des Kanals bis zum koronalsten Punkt der Farbstoffpenetration entlang des Kanals. Unmittelbar nach der Obturation fand eine Begutachtung des apikalen Bereiches aller Wurzeln statt und die Proben mit überpresstem Füllmaterial wurden registriert. Die statistische Analyse der Penetrationstiefen erfolgte mit dem SPSS Programm 10.0 und dem Tukey's Test.

In allen Versuchsreihen konnten Farbstoffpenetrationen ermittelt werden, die sich jedoch nur teilweise signifikant unterschieden. Die höchsten durchschnittlichen Penetrationswerte wurden in den Gruppen D (ISO 25) und E (ISO 20) gemessen, die im Vergleich zu den anderen Gruppen signifikant erhöht waren. Zwischen den Gruppen A (ISO 40), B (ISO 35) und C (ISO 30) konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden, jedoch zeigte die Gruppe C (ISO 30) den niedrigsten Mittelwert der Farbstoffpenetrationen. Die Durchschnittswerte der Gruppen B und C differierten um 0,034 mm und zeigten somit fast identische Ergebnisse. Die Versuchsgruppen A und C unterschieden sich in ihren Mittelwerten um 417 µm.

Die Untersuchung der Extrusionshäufigkeit zeigte eine Korrelation zwischen kleiner werdender Stiftgröße und abnehmender Anzahl an Überpressungen.

Aus diesen Ergebnissen kann geschlussfolgert werden, dass die Verwendung der Stiftgrößen ISO 40, 35 und 30, bei einem bis ISO 40 aufbereiteten Wurzelkanal, keinen signifikanten Einfluss auf die apikale Dichtigkeit besitzt. Der Einsatz von kleineren Stiftgrößen ist nicht zu empfehlen, da die

Penetrationstiefen der Gruppen D (ISO 25) und E (ISO 20) signifikant höher waren und demzufolge die apikale Dichtigkeit signifikant schlechter ist.

Die Mittelwertbestimmungen der Farbstoffpenetrationen und die Extrusionseigenschaften der Versuchsgruppen A, B und C zeigten jedoch die Tendenz, den Gebrauch von Stiften vorzuziehen, die ein bis zwei ISO-Größen kleiner sind als die Aufbereitungsgröße.

8. Literaturverzeichnis

1. Abarca AM, Bustos A, Navia M: A comparison of apical sealing and extrusion between Thermafil and lateral condensation techniques. *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. *Int Endod J* 28 (1995) 30-34
3. Barthel CR, Moshonov J, Shuping G, Orstavik D: Bacterial leakage versus dye leakage in obturated root canals. *Int Endod J* 32 (1999) 370-375
4. Barthel-Zimmer CR: Untersuchung zur Keimreduktion im Wurzelkanal. Habilitationsschrift. 2001, Humboldt-Universität zu Berlin
5. Baumann M: Thermoplastische Wurzelfüllung mit dem ThermaFil-System. *Quintessenz* 52 (2001) 351-357
6. Baumann M: Endodontie: Rückblick und Ausblick. *Endodontoe Journal*, 2002. 1: p. 6-17.
7. 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
8. Becker R, Morgenroth K: Pathologie der Mundhöhle. 2.Aufl. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1986
9. Beer R, Baumann M: Praktische Endodontie. Urban und Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1994
10. Behnia A, McDonald NJ: In vitro infrared thermographic assessment of root surface temperatures generated by the thermafil plus system. *J Endod* 27 (2001) 203-205
11. Buchanan LS: The continuous wave of obturation technique: 'centered' condensation of warm gutta percha in 12 seconds. *Dent Today* 15 (1996) 60-62, 64-67
12. Buttler TK, Crawford JJ: The detoxifying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxins. *J Endod* 8 (1982) 59-66
13. Bystrom A, Claesson R, Sundqvist G: The antibacterial effect of camphorated paramonochlorophenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals. *Endod Dent Traumatol* 1 (1985) 170-175

14. Bystrom A, Sundqvist G: The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *Int Endod J* 18 (1985) 35-40
15. Chohayeb AA: Comparison of conventional root canal obturation techniques with Thermafil obturators. *J Endod* 18 (1992) 10-12
16. Clark DS, ElDeeb ME: Apical sealing ability of metal versus plastic carrier Thermafil obturators. *J Endod* 19 (1993) 4-9
17. Czonstkowsky M, Michanowicz A, Vazquez JA: Evaluation of an injection of thermoplasticized low-temperature gutta-percha using radioactive isotopes. *J Endod* 11 (1985) 71-74
18. Dalat DM, Spangberg LS: Comparison of apical leakage in root canals obturated with various gutta percha techniques using a dye vacuum tracing method. *J Endod* 20 (1994) 315-319
19. De Bruyne MA, Verhelst PC, De Moor RJ: Critical analysis of leakage studies in endodontics. *Rev Belge Med Dent* 60 (2005) 92-106
20. 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
21. DGZMK-Stellungnahme: Wurzelkanalaufbereitung. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, (2000)
22. DGZMK-Stellungnahme: Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 55 (2000)
23. DGZMK-Stellungnahme: Zur Prognose von Wurzelkanalbehandlungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 56 (2001)
24. DGZMK-Stellungnahme: Good clinical practice: Die Wurzelkanalbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 60 (2005)
25. Dickson SS, Peters DD: Leakage evaluation with and without vacuum of two gutta-percha fill techniques. *J Endod* 19 (1993) 398-403
26. Druttman AC, Stock CJ: An in vitro comparison of ultrasonic and conventional methods of irrigant replacement. *Int Endod J* 22 (1989) 174-178
27. Dummer PM, Lyle L, Rawle J, Kennedy JK: A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. *Int Endod J* 27 (1994) 32-38
28. Elayouti A, Achleithner C, Lost C, Weiger R: Homogeneity and adaptation of a new gutta-percha paste to root canal walls. *J Endod* 31 (2005) 687-90

29. Europäische Gesellschaft für Endodontologie: Quality Guidelines for Endodontic Treatment. *Int Endod J* 27 (1994) 115-124
30. Fava LR: The double-flared technique: an alternative for biomechanical preparation. *J Endod* 9 (1983) 76-80
31. Frajlich SR, Goldberg F, Massone EJ, Cantarini C, Artaza LP: Comparative study of retreatment of Thermafil and lateral condensation endodontic fillings. *Int Endod J* 31 (1998) 354-357
32. Friedman S, Lost C, Zarrabian M, Trope M: Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *J Endod* 21 (1995) 384-390
33. Gängler P: Lehrbuch der konservierenden Zahnheilkunde. 3.Aufl. Ullstein Mosby, Wiesbaden, 1995
34. 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
35. 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
36. Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH: Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. *J Endod* 8 (1982) 550-554
37. Goracci G, Cantatore G, Filanti G: Canal obturation. Analysis of 4 different techniques. *Dent Cadmos* 59 (1991) 11, 13-15, 17-20
38. Grawehr M, Sener B, Waltimo T, Zehnder M: Interactions of ethylenediamine tetraacetic acid with sodium hypochlorite in aqueous solutions. *Int Endod J* 36 (2003) 411-417
39. Gutmann JL, Saunders WP, Saunders EM, Nguyen L: An assessment of the plastic Thermafil obturation technique. Part 2. Material adaptation and sealability. *Int Endod J* 26 (1993) 179-183
40. Gutmann JL, Saunders WP, Saunders EM, Nguyen L: A assessment of the plastic Thermafil obturation technique. Part 1. Radiographic evaluation of adaptation and placement. *Int Endod J* 26 (1993) 173-178
41. Hata G, Kawazoe S, Toda T, Weine FS: Sealing ability of thermoplasticized gutta-percha fill techniques as assessed by a new method of determining apical leakage. *J Endod* 21 (1995) 167-172
42. Heidemann D: Endodontie. 4 ed. Vol. 3. Urban & Fischer, München, Jena, 2001

43. Hellwig E, Klimek J, Attin, T: Einführung in die Zahnerhaltung. Urban & Schwarzenberg, München, Wien, Baltimore, 1995
44. Hor D, Krusy S, Attin T: Ex vivo comparison of two electronic apex locators with different scales and frequencies. *Int Endod J* 38 (2005) 855-859
45. Hülsmann M: Determination of working length in endodontics. 2. Endometric determination of canal length. *ZWR* 100 (1991) 86-88, 90, 92-93
46. Hülsmann M, Lorch V, Franz B: Studies on the incidence and quality of root fillings. Evaluation by orthopantomograms. *Dtsch Zahnärztl Z* 46 (1991) 296-299
47. Hülsmann M: Apikale Dichtigkeit thermoplastischer Wurzelkanalfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 49 (1994) 507-511
48. Hülsmann M, Schade M, Schafers 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
49. Kerschbaum T, Voß R: Die praktische Bewährung von Krone und Inlay. *Dtsch Zahnärztl Z* 36 (1981) 243
50. Kersten HW, Moorer WR: Particles and molecules in endodontic leakage. *Int Endod J* 22 (1989) 118-124
51. Ketterl W: Zahnerhaltung. 3. Aufl Urban & Schwarzenberg, München-Wien-Baltimore, 1993
52. Krammer JS: Handbuch Endodontisches Instrumentarium. München, VDW, 1990
53. Lee CQ, Harandi L, Cobb CM: Evaluation of glass ionomer as an endodontic sealant: an in vitro study. *J Endod* 23 (1997) 209-212
54. Lee CQ, Cobb CM, Robinson SJ, LaMartina T, Vo T: In vitro evaluation of the Thermafil technique with and without gutta percha coating. *Gen Dent* 46 (1998) 378-381
55. Leung SF, Gulabivala K: An in-vitro evaluation of the influence of canal curvature on the sealing ability of Thermafil. *Int Endod J* 27 (1994) 190-196
56. Leung SF, Gulabivala K: An in-vitro evaluation of the influence of temperature of plasticization on the sealing ability of Thermafil. *Int Endod J* 27 (1994) 39-44

57. Leyhausen G, Heil J, Reifferscheid G, Waldmann P, Geurtsen W: Genotoxicity and cytotoxicity of the epoxy resin-based root canal sealer AH plus. *J Endod* 25 (1999) 109-113
58. Masters J, Higa R, Torabinejad M: Effects of vacuuming on dye penetration patterns in root canals and glass tubes. *J Endod* 21 (1995) 332-334
59. Matloff IR, Jensen JR, Singer L, Tabibi A: A comparison of methods used in root canal sealability studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53 (1982) 203-208
60. Merte K: Lichtblicke für die Kanalarbeit- handinstrumentelle oder maschinelle Wurzelkanalaufbereitung Teil 1: Edelmetallinstrumente. *Zahnärzteblatt Sachsen* 10 (2002) 28-31
61. Meyer KM, Kollmar F, Schirrmeister JF, Schneider F, Hellwig E: Analysis of shrinkage of different gutta-percha types using optical measurement methods. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 116 (2006) 356-361
62. Michanowicz A, Czonstkowsky M: Sealing properties of an injection-thermoplasticized low-temperature (70 degrees C) Gutta-percha: a preliminary study. *J Endod* 10 (1984) 563-566
63. Neff T, Layman D, Jeansonne BG: In vitro cytotoxicity evaluation of endodontic sealers exposed to heat before assay. *J Endod* 28 (2002) 811-814
64. Orstavik D, Haapasalo M: Disinfection by endodontic irrigants and dressings of experimentally infected dentinal tubules. *Endod Dent Traumatol* 6 (1990) 142-149
65. Orstavik D, Nordahl I, Tibballs JE: Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 17 (2001) 512-519
66. Pathomvanich S, Edmunds DH: The sealing ability of Thermafil obturators assessed by four different microleakage techniques. *Int Endod J* 29 (1996) 327-334
67. Pathomvanich S, Edmunds DH: Variation in the microleakage produced by four different techniques in root fillings in a simulated root canal model. *Int Endod J* 29 (1996) 156-162
68. Peters LB, Wesselink PR, Moorer WR: The fate and the role of bacteria left in root dentinal tubules. *Int Endod J* 28 (1995) 95-99
69. Peters LB, Wesselink PR, Buijs JF, van Winkelhoff AJ: Viable bacteria in root dentinal tubules of teeth with apical periodontitis. *J Endod* 27 (2001) 76-81

70. Pommer O, Stamm O, Attin T: Influence of the canal contents on the electrical assisted determination of the length of root canals. *J Endod* 28 (2002) 83-85
71. Rapisarda E, Bonaccorso A, Tripi TR: Evaluation of two root canal preparation and obturation methods: the Mc Spadden method and the use of ProFile-Thermafil. *Minerva Stomatol* 48 (1999) 29-38
72. Reuver H: Nicht erfasste und nicht erschließbare endodontische Hohlräume. Teil 3: Mögliche Folgen für das Behandlungsergebnis und Wege zu einer vollständigen Erschließung. *Quintessenz Endodontie* 14 (2005) 345-361
73. Ridell K, Petersson A, Matsson L, Mejare I: Periapical status and technical quality of root-filled teeth in Swedish adolescents and young adults. A retrospective study. *Acta Odontol Scand* 64 (2006) 104-110
74. Roane JB, Sabala CL, Duncanson MG, Jr.: The "balanced force" concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 11 (1985) 203-211
75. Rodig T, Hulsmann M, Muhge M, Schafers F: Quality of preparation of oval distal root canals in mandibular molars using nickel-titanium instruments. *Int Endod J* 35 (2002) 919-928
76. Rodig T, Hulsmann M: Diagnosis and root canal treatment of a mandibular second premolar with three root canals. *Int Endod J* 36 (2003) 912-919
77. Sarbinoff JA, O'Leary TJ, Miller CH: The comparative effectiveness of various agents in detoxifying diseased root surfaces. *J Periodontol* 54 (1983) 77-80
78. Sauaia TS, Gomes BP, Pinheiro ET, Zaia AA, Ferraz CC, Souza-Filho FJ: Microleakage evaluation of intraorifice sealing materials in endodontically treated teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 102 (2006) 242-246
79. Schäfer E, Zapke K: A comparative scanning electron microscopic investigation of the efficacy of manual and automated instrumentation of root canals. *J Endod* 26 (2000) 660-664
80. 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 (2002) 638-642
81. Schilder H: Filling root canals in three dimensions. *Dent Clin North Am*, (1967) 723-744
82. Schilder H: Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 18 (1974) 269-296

83. Scott AC, Vire DE, Swanson R: An evaluation of the Thermafil endodontic obturation technique. *J Endod* 18 (1992) 340-343
84. Silva L, Nelson-Filho P, Leonardo MR, Rossi MA, Pansani CA: Effect of calcium hydroxide on bacterial endotoxin in vivo. *J Endod* 28 (2002) 94-98
85. Sjogren U, Hagglund B, Sundqvist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 16 (1990) 498-504
86. Sjogren U, Figdor D, Persson S, Sundqvist G: Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* 30 (1997) 297-306
87. Staegemann G: *Grundlagen der klinischen Stomatologie*. 2.Aufl. Johann Ambrosius Barth, Leipzig, 1978, S. 445
88. Taylor JK, Jeansonne BG, Lemon RR: Coronal leakage: effects of smear layer, obturation technique, and sealer. *J Endod* 23 (1997) 508-512
89. Turkun M, Cengiz T: The effects of sodium hypochlorite and calcium hydroxide on tissue dissolution and root canal cleanliness. *Int Endod J* 30 (1997) 335-342
90. Valli KS, Rafeek RN, Walker RT: Sealing capacity in vitro of thermoplasticized gutta-percha with a solid core endodontic filling technique. *Endod Dent Traumatol* 14 (1998) 68-71
91. Weiger R, Hitzler S, Hermle G, Lost C: Periapical status, quality of root canal fillings and estimated endodontic treatment needs in an urban German population. *Endod Dent Traumatol* 13 (1997) 69-74
92. 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
93. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR, Moorer WR: Fluid transport and bacterial penetration along root canal fillings. *Int Endod J* 26 (1993) 203-208
94. Wu MK, Wesselink PR, Boersma J: A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses. *Int Endod J* 28 (1995) 185-189
95. Yee FS, Marlin J, Krakow AA, Gron P: Three-dimensional obturation of the root canal using injection-molded, thermoplasticized dental gutta-percha. *J Endod* 3 (1977) 168-174

96. Zehnder M, Grawehr M, Hasselgren G, Waltimo T: Tissue-dissolution capacity and dentin-disinfecting potential of calcium hydroxide mixed with irrigating solutions. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 96 (2003) 608-613

9.Thesen

1. Im Zuge einer Wurzelkanalbehandlung hat sich die laterale Kondensation als Goldstandard etabliert, jedoch zeigen Forschungen und Weiterentwicklungen von Fülltechniken einen Trend in Richtung der Verwendung von thermosensitiver Guttapercha.
2. Als limitierende Parameter für den Erfolg einer endodontischen Behandlung sind der dauerhafte, dreidimensionale und vor allem bakteriendichte Verbund zwischen der Wurzelkanalwand und des Füllungsmaterials.
3. Das Problem bei der Verwendung von thermoplastischer α -Guttapercha ist die Volumenänderung während der Füllungs- bzw. Abkühlungsphase.
4. Die Entwicklung der Wurzeltechniken setzen ihre Schwerpunkte auf die Verbesserung der Dichtigkeit, einer dreidimensionalen Obturation und der Verfahrensvereinfachung.
5. Die vorliegende Studie untersuchte den Einfluss unterschiedlicher Obturatorgrößen auf die apikale Dichtigkeit von ThermoFil®-Wurzelfüllungen.
6. Für diese Untersuchung wurden 90 einwurzlige Zähne randomisiert auf 5 Versuchsgruppen aufgeteilt und die Proben für die quantitative Untersuchung vorbereitet. Unmittelbar nach der Obturation sind die Extrusionsergebnisse ermittelt worden. Die Penetrationstiefen wurden auflichtmikroskopisch gemessen und einer statistischen Analyse unterzogen.
7. Die Analyse der Farbstoffpenetrationen zeigte, dass die Obturatorgröße ISO 30 zwar die durchschnittlich höchste apikale Dichtigkeit aufwies, jedoch konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Größen ISO 40, ISO 35 und ISO 30 festgestellt werden.

8. Die Auswertung der Extrusionswerte konnte eine Tendenz erkennen lassen, dass die Größe der Obturatoren direkt korreliert mit den Extrusionsausmaßen.
9. In kombinativer Beurteilung aller In-vitro-Ergebnisse kann geschlussfolgert werden, dass die Verwendung von Obturatoren, die ein bis zwei ISO-Größen kleiner sind als die Kanalaufbereitungs-ISO-Größe, zu empfehlen ist.
10. Die Tendenz aufzeigenden Ergebnisse dieser ThermoFil[®]-In-Vitro-Studie erscheinen vielversprechend, sollten aber in weiteren In-Vitro-Studien und klinischen In-Vivo-Untersuchungen verifiziert werden.

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

Robert Brockmann

Lebenslauf

Persönliches

Name: Robert , Bernd Brockmann
Geburtstagtag: 20.05.1976
Geburtsort: Berlin Pankow
Staatsangehörigkeit: deutsch
Familienstand: ledig, keine Kinder
Eltern: Cora und Bernd Brockmann

Schulausbildung

1983 - 1992 Johannes R. Becher Oberschule, Berlin
1992 - 1997 Carl von Ossietzky Gymnasium, Berlin
1997 Allgemeine Hochschulreife

Ersatzdienst

1997 – 1998 Wohnheim der Stiftung für berufliche Bildung,
OTA GmbH, Berlin

Studium

1998 Immatrikulation an der Martin-Luther-Universität Halle-Wittenberg
Studienfach Zahnmedizin
2001 Naturwissenschaftliche Vorprüfung
2001 Zahnärztliche Vorprüfung
2004 Staatsexamen Zahnmedizin und Approbation

Berufliche Tätigkeit

Seit 2005 Wissenschaftlicher Mitarbeiter der Martin-Luther-Universität
Halle-Wittenberg
Universitätspoliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie

Veröffentlichungen

2004 Ergebnisveröffentlichung
2006 Posterpräsentation – Wernigeroder Fortbildungstage