

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
- Direktor: Univ.-Prof. Dr. K. Ott -

**In-vitro-Studie zur Beurteilung der Dichtigkeit von
Wurzelkanalfüllungen mittels Gutta-Flow und Endo-Twinn-Obturator
versus lateraler Kondensation mit genormten Guttapercha-Stiften**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung des doctor medicinae dentium
der Medizinischen Fakultät der
Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

vorgelegt von
Al-Torman, Mohamad Walid
aus Amman / Jordanien

2005

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Heribert Jürgens

1. Berichterstatter: Prof. Dr. E. Schäfer

2. Berichterstatter: Priv.-Doz. Dr. A. Wolowski

Tag der mündlichen Prüfung: 02.06.2005

Zusammenfassung

In-vitro-Studie zur Beurteilung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen mittels Gutta-Flow und Endo-Twinn-Obturator versus lateraler Kondensation mit genormten Guttapercha-Stiften

Al-Torman, Mohamad Walid

In dieser In-vitro-Studie wurden extrahierte menschliche Zähne mit geraden Wurzelkanälen mit Gutta-Flow als Kaltfüllsystem, mit Endo-Twinn-Obturatorssystem und mittels der lateralen Kondensation gefüllt und hinsichtlich des Dichtigkeitsgrades untersucht und beurteilt.

Die Studie umfasste insgesamt 120 extrahierte menschliche Zähne, die in sechs Testgruppen à 20 Zähne eingeteilt wurden. Die sechste Gruppe wurde in zwei Untergruppen à 10 Zähne für die negative und die positive Kontrolle aufgeteilt. Die Wurzelkanalfüllungen wurden in den verschiedenen Gruppen wie folgt hergestellt:

Gruppe A: Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift.

Gruppe B: Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift.

Gruppe C: Das Obturator Endo Twinn ohne Sealer.

Gruppe D: Das Obturator Endo Twinn mit Sealer (AH Plus).

Gruppe E: Herkömmliche laterale Kondensation mit Sealer (AH Plus).

Gruppe F: Aufgeteilt in die negative und positive Kontrolle.

Alle Zähne wurden manuell mit K-Flexofiles bis zur ISO-Größe 40 aufbereitet. Nach der jeweiligen Füllung und dem provisorischen Verschluss mit Cavit wurden alle Zähne für 48 Stunden in Methylenblau gelagert und für das Ausmessen der maximalen Farbstoffpenetration durch Entkalkung in einen transparenten Zustand überführt. Die Studie führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Hinsichtlich der Anzahl der Wurzeln mit überstopftem Füllmaterial:
 - a) Bei der Gutta-Flow-Technik war ein signifikanter Unterschied ($p = 0,253$) zwischen der Gruppe A und den Gruppen C, D und E nicht feststellbar.
 - b) Es bestand ein hoch signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe B und den Gruppen C, D und E ($p < 0,001$).
 - c) Zwischen der Gutta-Flow- und der Endo-Twinn-Technik konnte ein signifikanter Unterschied von $p < 0,05$ zugunsten der Endo-Twinn-Technik verzeichnet werden.
2. Hinsichtlich der Dichtigkeit:
 - a) Die Gruppe E zeigte die besten Ergebnisse. Es bestand ein hoch signifikanter Unterschied zwischen dieser Gruppe und den Gruppen A, B und C ($p < 0,01$). Allerdings bestand ein geringerer Unterschied im Vergleich zu der Gruppe D, bei der die Wurzelkanalfüllung mittels Endo-Twinn-Obturator unter der Verwendung eines Sealers hergestellt wurde ($p = 0,301$).
 - b) Ein signifikanter Unterschied wurde zwischen der Gruppe C und D zugunsten der Gruppe D verzeichnet ($p < 0,05$).
3. Die kalte laterale Kondensation mit genormten Guttapercha-Stiften erzielt die beste Abdichtung des Wurzelkanals im Vergleich zu den anderen aufgeführten Techniken. Damit gilt sie als der Goldstandard der Wurzelkanalfülltechniken.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Rolle der anatomischen Besonderheit: Seitenkanälchen	3
1.2	Rolle der Desinfektion des Wurzelkanals	4
1.3	Rolle der medikamentösen Einlage	5
1.4	Rolle der Wurzelkanalfüllung	6
1.5	Rolle der Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)	10
1.6	Wurzelkanalfüllmethoden	11
1.6.1	Kalte laterale Kondensation von Guttapercha	11
1.6.2	Einstiftmethode bzw. Zentralstifttechnik	12
1.6.3	Thermoplastische Verarbeitung von Guttapercha	13
1.6.3.1	Die 3-D-Obturation bzw. vertikale Kondensation nach Schilder	14
1.6.3.2	McSpadden-Methode	15
1.6.3.3	Guttapercha-Applikation durch Injektionstechnik	15
1.6.3.4	Thermafil-Technik	16
1.6.3.5	Die Buchanan „Continuous Wave of Condensation“-Technik	17
1.6.3.6	Das Obturatorsystem Endo-Twinn	18
1.6.3.7	Gutta-Flow	19
2	Problemstellung	21
3	Material und Methode	22
3.1	Auswahl und Vorbereitung der Zähne	22
3.2	Wurzelkanalaufbereitung	23
3.3	Wurzelkanalfüllung	24
3.4	Farbstoffpenetrationstest	31
3.5	Demineralisation der Zähne	31

4	Ergebnisse	33
4.1	Überstopftes Füllmaterial	33
4.2	Farbstoffpenetration	34
5	Diskussion	36
5.1	Bedeutung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung	36
5.2	Methode	37
5.2.1	Anforderungen an Versuchsobjekte	37
5.2.2	Bestimmung der Arbeitslänge	38
5.2.3	Bearbeitung des Wurzelkanals	39
5.2.4	Abdichtungsverhalten der verwendeten Materialien und Methoden	41
5.2.4.1	Abdichtungsverhalten von Gutta-Flow	41
5.2.4.1.1	Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift (A) versus Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift (B)	41
5.2.4.1.2	Gutta-Flow versus laterale Kondensation	44
5.2.4.2	Abdichtungsverhalten von Endo-Twinn	44
5.2.4.2.1	Endo-Twinn ohne Sealer (C) versus Endo-Twinn mit Sealer (D)	44
5.2.4.2.2	Endo-Twinn versus laterale Kondensation	45
5.2.4.3	Abdichtungsverhalten von Gutta-Flow versus Endo-Twinn	45
5.2.5	Röntgenkontrolle	46
5.2.6	Längenkontrolle	47
5.2.7	Farbstoffpenetrationstest	48
5.2.7.1	Beurteilung der Farbstoffpenetration	49
5.2.7.2	Größe des Indikators	50
5.2.7.3	Art des Indikators	51
5.2.7.4	Farbstoffe	51
5.2.8	Die Wurzelkanalfüllpaste (Sealer) und die apikale Dichtigkeit	52
5.2.9	Schlußfolgerung	55

Inhaltsverzeichnis	III
6 Zusammenfassung	56
7 Literaturverzeichnis	58
8 Danksagung	82

1 Einleitung

Bei der Betrachtung der Fülle, der an der Pathogenese der Pulpaerkrankungen beteiligten Faktoren, wird es dem Beobachter deutlich, dass in der zahnärztlichen Praxis ein Großteil der sogenannten „Schmerzpatienten“ in die Kategorie der endodontischen Behandlungen einzuordnen ist.

Die pathogenetischen Faktoren reichen von der Karies über chemische, physikalische und mechanische Noxen bis hin zu den Parodontalerkrankungen. An dieser Stelle dürfen Allgemeinerkrankungen nicht in den Hintergrund geraten, die sie eine bereits vorhandene, sich bis dahin im Gleichgewicht mit dem Immunsystem des Körpers befindende, pulpale bzw. periapikale Läsion in die akute Phase überführen können.

Auf der einen Seite ist die Behandlung des Endodonts entscheidend für die Frage nach der Erhaltungswürdigkeit des Zahnes. Auf der anderen Seite ergänzt diese Entscheidung die für den Patienten relevanten Auswirkungen auf die Ästhetik und Funktion des Kauorgans.

Bei all diesen Fragen wird deutlich, dass endodontische Behandlungen zunehmend an Bedeutung gewinnen. In Deutschland nimmt daher die Anzahl endodontischer Behandlungen ständig zu (85).

Wie schon erwähnt, sind die Noxen, die Auswirkung auf die Pulpa und das endodontische System haben, vielfältig. Daran gemessen sind die möglichen Pforten, durch die diese Noxen ihre Wirkung entfalten, unterschiedlich. Während die klinische Krone sowie der Zahnhals den verschiedensten denkbaren Einflüssen über die Mundhöhe ausgesetzt sind, ist die Zahnwurzel dagegen Noxen über das Parodontium ausgesetzt. Diese anatomischen Zahnteile stehen in direkter Verbindung mit dem Endodont durch verschiedene Strukturen. Die Zahnkrone und der Zahnhals stehen mit der Pulpa über die

Dentintubuli, das Parodontium über die periapikale Region durch Bindegewebe, Gefäße und Nervenläufer in Verbindung.

Im Folgenden wird auf die periapikale Region eingegangen, die eine enge topographische Beziehung zu den in dieser Studie zu untersuchenden Füllungsmaterialien hat.

Die Noxe, die auf diese Region Einfluss hat, ist meist bakterieller Genese. Miller hatte 1894 die Existenz von Bakterien im Wurzelkanal festgestellt (104). Die Bakterien entfalten ihre Wirkung durch ihre toxischen Stoffwechselprodukte und durch Abbauprodukte der involvierten Gewebeanteile des Dentins und der Pulpa. Durch die Pulpavenen bahnt sich die Infiltration dieser Produkte in die periapikale Region. Dieses konnte von Lin et al. 1984 bestätigt werden (91).

Die Auswirkung einer sich im periapikalen Gewebe manifestierenden akuten oder chronischen Entzündung kann ein Ausmaß annehmen, das das Entfernen des betroffenen Zahnes notwendig macht. Die Intervention einer endodontischen Behandlung soll dann erfolgen, wenn dieses Stadium noch nicht erreicht ist und eine – endodontisch gesehen – konservierende Behandlung, wie z. B. eine Pulpaamputation oder direkte Überkappung nicht mehr möglich ist.

Bei dieser Behandlung soll dann das pathologisch veränderte Gewebe – die Pulpa – entfernt werden. Insofern ist die adäquate Entfernung des Pulpainhaltes und die Sicherung der Undurchgängigkeit des Wurzelkanals mittels dauerhaft dichter Füllmaterialien unerlässlich. Diese, nur durch eine dichte Wurzelkanalfüllung zu erzielende Voraussetzung, unterstreicht die Tatsache, dass ein zwar mechanisch gereinigter, aber ungefüllter Wurzelkanal ein Wiederaufflammen einer Entzündung erneut in Gang setzen würde, denn ein leerer Kanal würde sich schon rasch durch Flüssigkeiten, Bakterien und Speichel auffüllen (25).

1.1 Rolle der anatomischen Besonderheit: Seitenkanälchen

Das Wurzelkanalsystem besteht nicht nur aus dem Hauptkanal bzw. den Hauptkanälen, sondern es ist auch die Summe der Verzweigungen und Verästelungen, die das System zu einem komplexen Gebilde macht.

Es bestehen mehrere statistische Angaben zur Häufigkeit des Vorkommens von Seitenkanälchen und Verästelungen des endodontischen Gewebes. Wenn auch nicht einheitlich, so lassen diese Angaben dennoch unverkennbar darauf schließen, dass diese anatomischen Besonderheiten häufig anzutreffen sind. So wurden von Meyer in mehr als 70 % der histologisch untersuchten Zahnschnittserien solche Nebenkanäle identifiziert (101). Wrbas et al. sprachen von 60 % (158), und bei stereomikroskopisch untersuchten Zähnen gab Green eine Inzidenz von 12 % an (52).

So wie es möglich ist, dass Zerfallsprodukte der erkrankten Pulpa und Abbau- und Stoffwechselprodukte der an der Erkrankung beteiligten Bakterien in die periapikale Region über den Hauptkanal gelangen, können diese auch über Seitenkanälchen das Desmodont erreichen. Insofern können diese Verästelungen und Kanälchen bei pathologischen Veränderungen zur Wechselwirkung zwischen Parodontium und Pulpa führen (65, 84).

Bei den unterschiedlichen pathologischen Bildern der Pulpitiden hat die Existenz von Seitenkanälchen bei einer adäquaten Behandlung des Wurzelkanals und einwandfreier Wurzelkanalfüllung keinen entscheidenden Einfluss auf den Langzeiterfolg endodontischer Behandlung. Das Vorhandensein von nichtbearbeiteten Nebenkanälchen ist selten als Misserfolgskriterium einer Wurzelkanalbehandlung zu betrachten (65).

So hat Schmalz 1990 die Langzeiterfolge einer Wurzelkanalbehandlung durch Vitalexstirpation mit 71 – 96 % angegeben (133).

In Anbetracht der Tatsache, dass die mechanische Bearbeitung und das chemische Débridement des Wurzelkanals die Seiten-, Neben- und akzessorische Kanäle aussparen würden, sind die Ergebnisse von Schmalz als plausibel zu bezeichnen und mit den Studien in Einklang zu bringen, die von Hess et al. (61) und Seltzer (139) durchgeführt wurden. Sie zeigen, dass im Rahmen einer Vitalexstirpation Wurzelkanäle infolge von Obliterationen kaum noch über offene Nebenkanälchen verfügen.

Auch eine infizierte Nekrose hat bei einer adäquaten Wurzelkanalbearbeitung und Wurzelkanalfüllung gute Erfolgsaussichten. Das reaktiv osteolytisch wirkende Granulationsgewebe am Periapex kann so resorbiert und bindegewebig oder knöchern ersetzt werden (139).

1.2 Rolle der Desinfektion des Wurzelkanals

Die Manifestation einer Entzündung ist ein Ausdruck des durch die bakteriellen Noxen entgleisten Gleichgewichts zwischen Pathogenität und Immunabwehr des körpereigenen Immunsystems. Sobald die pathogene Ursache eines erkrankten endodontischen Systems durch iatrogene Intervention beseitigt ist, ist der Körper in der Regel – soweit keine, die Immunabwehr systemisch oder lokal beeinträchtigende Faktoren vorliegen – in der Lage, die eigenen Heilungsmechanismen und Umbauprozesse in Gang zu setzen.

Ein Dogma, das die Bedeutung der mechanischen Bearbeitung und der chemischen Desinfektion eines infizierten Wurzelkanals hervorhebt, ist der oft zitierte Satz: „Wichtiger als das, was man in den Wurzelkanal hineinfüllt, ist, was man aus ihm herausholt.“ (120). Die mechanische Bearbeitung ist allerdings nur ein Teil des Desinfektionsprozesses, der die maximale Reduktion der intrakanalären Mikroorganismen bezweckt und damit die Minimierung der pathogenen Potenz der eventuell in dem endodontischen Kanalsystem noch vorhandenen Erreger.

Für die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung ist die Entfernung der durch die mechanischen Bearbeitung der Wurzelkanalwand entstehenden Belagschicht ausschlaggebend. Aufgrund der gewebsauflösenden Wirkung seiner Biokompatibilität und seiner desinfizierenden Wirkung (31, 32) ist Natriumhypochlorit (NaOCl) zum bewährten Spülmittel in der Endodontie geworden. In Kombination mit Chelatverbindungen (EDTA) wird es auch zur unerlässlichen Entfernung des Smear Layer verwendet.

Man kann nur unterstreichen, dass die Desinfektion des Wurzelkanalsystems und die maximale Reduktion der pathogenen Erreger von großer Bedeutung ist. Dieser Grundsatz kann mit der Beschreibung von Ödesjö et al. 1990 in Verbindung gebracht werden, in der es heißt, dass ein relativ hoher Anteil röntgenologisch gesunder periradikulärer Strukturen vorhanden war, obwohl eine Versorgung des Wurzelkanals mit inadäquaten Wurzelkanalfüllungen vorlag (110).

1.3 Rolle der medikamentösen Einlage

Die medikamentöse Einlage dient bis heute zur zusätzlichen Desinfektion des Wurzelkanals. Seit die Endodontie als ein eigenständiges Teilgebiet der Zahnheilkunde betrachtet wird, werden diverse Mittel zur medikamentösen Einlage verwendet. Viele dieser Mittel sind aufgrund verschiedener Unzulänglichkeiten, wie die toxische Wirkung oder das krebserregende Potential, in den Hintergrund geraten. Mittel, wie jene auf der Basis von Formaldehyd, Triclosanformalin, Kampferphenol oder Glutaraldehyd, sind nahezu aus dem endodontischen Gebrauch verschwunden. Bedingt durch die Eigenschaft, in die periapikale Region zu sickern, induzieren diese Mittel eine Gewebsnekrose der zellulären Bestandteile des periapikalen Gewebes. Diese wiederum wird als chemisch bedingte Noxe betrachtet und bildet eine Grundlage für die sich von neuem entwickelnde Inflammation in der periapikalen Region.

Die Behebung einer Pulpitis durch den Einsatz von Antibiotika ist nicht zu erreichen. Dies wurde von Langeland 1968 festgestellt (87). Langeland hat die Wirkung der Kortikosteroide auf die Heilung einer Pulpitis ebenfalls auch als ineffektiv befunden (86).

Seit Hermann 1936 (60) die bakterizide Wirkung und die Gewebeverträglichkeit von Kalziumhydroxid Ca(OH)_2 erkannte, gilt es als Mittel der Wahl bei der medikamentösen Behandlung des Wurzelkanals. Die Resorption von Kalziumhydroxid macht es notwendig, dass Mittel in Abständen von 7 Tagen zu wechseln, um eine gleichbleibende Wirkung beizubehalten und die Reinfektion bzw. Superinfektion einer sich in der apikalen Region in Abheilung befindenden Entzündung zu vermeiden.

1.4 Rolle der Wurzelkanalfüllung

Die Ergänzung zur optimalen Desinfektion ist die einwandfreie Wurzelkanalfüllung. Die chemische Bearbeitung des Wurzelkanals ist nicht ausreichend, um den zuvor als pathologisch geltenden Herd – Endodont – dauerhaft auszuschalten. Dies wird anhand der Tatsache deutlich, dass die Sterilisation eines Wurzelkanals trotz der optimalen chemisch-mechanischen Bearbeitung nicht zu erzielen ist (33). Dieses ist wiederum dadurch zu erklären, dass Bakterien und deren Metabolite sowohl die Seitenkanälchen und das verzweigte komplexe Wurzelkanalsystem besiedeln als auch in die Dentinkanälchen tief eindringen können.

Die Perlokation, also das Durchsickern von kontaminierten Flüssigkeiten in den und aus dem Wurzelkanal, würde bei einer inadäquaten Wurzelkanalfüllung die Erfolgsaussichten in Frage stellen. Über den Mundraum können Mikroorganismen, Speisereste in flüssiger Form, aber auch Speichel durch die koronale Pforte eines unzureichend gefüllten Wurzelkanals in den Kanal gelangen und diesen infizieren.

Studien von Ingle und Kuttler ergaben, dass 73 % der behandelten Wurzelkanäle aufgrund einer nicht einwandfrei durchgeführten Wurzelkanalbehandlung klinisch zu einem Misserfolg führten (66, 84). Dabei muss man beachten, dass in anderen Studien wie von Ingle (67) und Adenubi et al. (1), Thoden Van Velzen et al. (148) und Molven et al. (105), aber auch in-vitro-Untersuchungen von Dow und Ingle (36) die inadäquate Wurzelkanalfüllung im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung als Hauptmisserfolgsquelle gilt.

Wie schon erwähnt, sind Abbauprodukte und Toxine von Mikroorganismen, die ins periapikale Gewebe eindringen können, in der Lage, eine schon abgeklungene Entzündung wieder in die akute Phase zu überführen. Darüber hinaus sind auch noch nicht abgestorbene Mikroorganismen, die trotz einwandfreier mechanischer Bearbeitung und chemischer Desinfektion des Wurzelkanalsystems persistieren, dazu fähig. Eine dicht hergestellte Wurzelkanalfüllung soll die Penetration dieser Substanzen verhindern und die verbliebenen Spezies gegen die Umgebung isolieren, so dass eine Substratzufuhr blockiert werden kann.

Es wurde in diesem Zusammenhang bewiesen, dass beim Vorliegen einer dicht hergestellten Wurzelkanalfüllung einige Bakterien sogar absterben (34). Somit ist der Austausch von bakteriellen Noxen zwischen Wurzelkanalsystem und -umgebung nicht möglich.

Eine nicht bis zum Foramen physiologicum reichende Wurzelkanalfüllung spart einen Raum aus, der als Quelle für die sich aus dem periapikalen Gewebe in diesen Raum eintretenden Proteine dient. Diese Proteine koagulieren im apikalen „undichten“ Wurzelkanalabschnitt und können so erneut eine Entzündungsreaktion in Gang setzen. Nach Langeland hat unbearbeitetes Gewebe der infizierten Pulpa einen gleichen Effekt (89).

Die Überfüllung des Wurzelkanals und damit das Eindringen von Wurzelkanalfüllmaterial in das periapikale Gewebe soll ebenfalls vermieden werden, da es dadurch zu einer Fremdkörperreaktion kommen kann (77).

Eine erfolgversprechende Wurzelkanalbehandlung ist ein Prozess, der aus mehreren Teilschritten besteht, die ihrerseits sorgfältig und präzise durchgeführt werden müssen. Das Summieren von Arbeitsfehlern in den einzelnen Arbeitsgängen steigert gleichsam die Misserfolgsrate der Behandlung.

Bei der Wurzelkanalbehandlung sind die Arbeitsschritte Kanalsystembearbeitung und Kanalsystemfüllung maßgebend an der Erfolgsrate beteiligt. Obwohl die Korrelation zwischen klinischem Misserfolg und inadäquater undichter Wurzelkanalfüllung klinisch noch nicht eindeutig belegt wurde, wurden Wurzelkanalfüllmaterialien durch zahlreiche Untersuchungen bezüglich ihrer Dichtigkeit untersucht (164). Dies belegt, dass die Wurzelkanalfüllung am Erfolg der Wurzelkanalbehandlung eine wesentliche Rolle spielt.

Grossmann hatte 1940 die Eigenschaften eines Wurzelkanalfüllungsmaterials aufgelistet (55). Dabei sollte das Wurzelfüllungsmaterial leicht und schnell sterilisierbar sein, leicht in den Wurzelkanal einführbar sein, den Wurzelkanal von vertikal und lateral verschließen, das periapikale Gewebe nicht reizen, gegenüber Feuchtigkeit undurchlässig, bakteriostatisch sein oder aber zumindest das Bakterienwachstum nicht begünstigen, nicht schrumpfen, keine Verfärbung des Zahnes herbeiführen bzw. verursachen, radioopak sein und, falls nötig, wieder leicht für die Revision entfernbar sein.

Diese Aufgaben bzw. Eigenschaften eines Wurzelkanalfüllmaterials sind für die dauerhafte und hermetische Abdichtung des Wurzelkanals verantwortlich. Außerdem sollen sie die Schonung des periapikalen Gewebes durch ihre Biokompatibilität gewährleisten. Es sind zahlreiche Entwicklungen vorgenommen worden, die die Herstellung eines solchen Materials bezwecken.

In Anbetracht der Ansprüche, die an ein Wurzelkanalfüllmaterial gestellt werden, kann erklärt werden, warum bis heute die auf dem Dentalmarkt erhältlichen Wurzelkanalfüllungsmaterialien nicht allen Anforderungen genügen. Schäfer (129) beschrieb und bewertete die zur Zeit gebräuchlichen Wurzelkanalfüllmaterialien.

Die Tatsache, dass eine Resorption der verschiedenen Wurzelkanalzemente in unterschiedlichem Maße stattfindet, macht es notwendig, dass der Gehalt des Wurzelkanalzements zugunsten des Hauptfüllmaterials möglichst gering sein muss. Die starke Schrumpfung und Resorption von Pasten und Sealern (112, 117, 154, 155) führte dazu, dass sie als alleinige Wurzelfüllmaterialien disqualifiziert wurden, obwohl ihre Anwendung bezüglich der einfachen Handhabung große Beliebtheit fand. Die Verwendung eines festeren und formstabileren Materials wie Guttapercha (138) ist deshalb anzustreben.

Die Erkennung, dass die nichtverformbaren Silber- und Titanstifte mit dem Wurzelkanal häufig nicht formschlüssig sind und ihn damit nicht dicht abfüllen können, führte dazu, dass sie zugunsten des Guttapercha-Stiftes in den Hintergrund gerieten. Außerdem lösten die Silberstifte bei Kontakt mit Gewebeflüssigkeiten der periapikalen Region durch eine ständige Korrosion toxische Noxen aus, die wiederum pathogene Auswirkungen auf das periapikale Gewebe haben.

Cooke et al. bewiesen 1976 (29), dass Guttapercha-Stifte ein viel größeres Abdichtungsvermögen als Silberstifte haben. Das Material hat sich auch deshalb bewährt, da dessen Entfernung bei einer Wurzelkanalfüllungsrevision durch Erweichung und Lösung in Chloroform oder Xylol keine Schwierigkeiten bereitet. Beim eingedickten Milchsaft des Guttapercha-Baumes liegt chemisch gesehen ein ungesättigtes Polymer von Isopren vor, das verschiedene Phasentypen aufweist. Es sind zwei Formen von Guttapercha derselben chemischen Komposition bekannt (94). Die α -Form ist der β -Form in der Fließfähigkeit überlegen; ihre Viskosität ist niedrig und weist eine ausgeprägte

Neigung zur Adhäsion auf. Die α -Form gilt als Grundlage der zahnärztlichen Guttapercha-Stifte (129).

Die Bearbeitung der als Wurzelkanalfüllmaterial weltweit verbreiteten Guttapercha kann durch verschiedene Techniken erfolgen. Die kalte Bearbeitung, wie sie in der Technik der lateralen Kondensation zu sehen ist, hat sich sehr gut bewährt. Außerdem ist die Bearbeitung unter Wärmeanwendung zur Applikation in erweichter Form eine von verschiedenen Herstellern angebotene Methode. Die Verwendung der Guttapercha als Wurzelkanalfüllmaterial erreicht unter der Zugabe eines Wurzelfüllzements eine gute Abdichtung des Wurzelkanals. Verschiedene Autoren haben mittels Farbstoffpenetrationstest nachgewiesen, dass Guttapercha alleine beim Verzicht auf einen Wurzelkanalfüllzement den Wurzelkanal nicht dicht abfüllt (156).

1.5 Rolle der Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)

Die Anforderungen an einen Sealer reichen vom schnellen Abbinden, über Volumenstabilität, Unlöslichkeit gegenüber Gewebeflüssigkeiten, bis hin zu adhäsiven Eigenschaften. Um diese Anforderungen zu erreichen, wurden zahlreiche Materialien entwickelt. Dabei hatte man den Versuch unternommen, durch chemische Zusätze den Wurzelkanal zu desinfizieren. Dieser Versuch wurde von verschiedenen Autoren abgelehnt, die sich auf die Tatsache stützten, dass diese Aufgaben alleine der temporären medikamentösen Einlage zuzuschreiben ist, weil der Zusatz eines antimikrobiellen Desinfektionsmittels als Bestandteil eines permanent im Wurzelkanal liegenden Sealers als chemische Noxe fungiert und das periapikale Gewebe irritiert. Die zur Desinfektion permanent eingesetzten Wurzelkanalfüllmaterialien sind grundsätzlich abzulehnen (132).

Da das Abdichtungsvermögen ein entscheidendes Kriterium für die Erfolgsrate einer Wurzelkanalbehandlung darstellt, ist diese Eigenschaft für einen Sealer

als Teil der Wurzelkanalfüllung unentbehrlich. Mit der halbfesten Hauptfüllmasse der Guttapercha ist der bakteriendichte Verschluss des Wurzelkanals nicht zu erreichen. Wenn man die oben erwähnte Anatomie des Wurzelkanalsystems und die chemische Beschaffenheit der Guttapercha-Stifte betrachtet, wird klar, dass beim mit Guttapercha gefüllten Wurzelkanal Unebenheiten und Inkongruenzen zwischen Hauptfüllmasse und Wurzelkanalwand bestehen, die durch die Zugabe von Sealer ausgeglichen werden müssen. Sealer müssen erhärtend sein, um diese Anforderungen gewährleisten zu können. So ist das Material AH Plus derzeit der Goldstandard. AH Plus weist eine initiale Abbindeexpansion auf, die zum Abdichtungsvermögen des Materials beiträgt. Außerdem trägt die geringe Löslichkeit zur Reduktion der Toxizität und der Irritation des periradikulären Gewebes bei. Durch die Fließfähigkeit des AH Plus ist das Auffüllen von Unebenheiten und Inkongruenzen gewährleistet. Weiterhin zeichnet sich AH Plus durch eine überdurchschnittliche Druckfestigkeit aus. In der Praxis bewährt sich das Material wegen seiner Radioopazität zur Kontrolle der Wurzelkanalfüllung und wegen der langen Abbindezeit von 24 Stunden, die eine notwendige Revision der Wurzelkanalfüllung erleichtert. Diese Vorteile wurden von McComb et al. (98) im Vergleich zum Vorgängermaterial AH 26 genannt, bei dem in der Entwicklung des AH Plus auf den Inhaltsstoff Hexamethylentetramin verzichtet wurde, um die geringfügige Formaldehydfreisetzung zu unterbinden.

1.6 Wurzelkanalfüllmethoden

1.6.1 Kalte laterale Kondensation von Guttapercha

Die kalte laterale Kondensation von Guttapercha ist die Standardtechnik der Wurzelkanalfüllung. Entwickelte und sich in der Entwicklung befindliche Füllungstechniken werden stets mit dieser Methode verglichen (39, 49, 56, 99, 151). Diese Technik, bei der Guttapercha im Sinne einer kalten Kondensation der nebeneinander in den Wurzelkanal eingeführten Stifte mit einem Sealer

kombiniert wird, eignet sich zur Wurzelkanalfüllung am besten (134, 54). Schäfer (129) beschrieb diese Methode als die gegenwärtig am meisten akzeptierte und bekannte Technik.

1.6.2 Einstiftmethode bzw. Zentralstifttechnik

Es handelt sich hier um die Verwendung eines einzelnen Guttapercha-Stiftes, der sogenannte Masterpoint als Wurzelkanalfüllung. Der verwendete Guttapercha-Stift muss der ISO-Größe entsprechen, die der finalen Aufbereitung des Wurzelkanals gleicht. Allerdings ist bekannt, dass es selten Wurzelkanalquerschnittsformen gibt, die einen rundlichen Querschnitt aufweisen, entsprechend dem Querschnitt eines Guttapercha-Stiftes. Es ist nur dann eine dichte Wurzelkanalfüllung zu erzielen, wenn eine weitestgehende Passung zwischen Guttapercha-Material und Wurzelkanal gewährleistet ist. Es wurden von Beatty et al. (14) Untersuchungen durchgeführt, die diese Problematik in Bezug auf die apikale Dichtigkeit überprüften, wobei durchweg schlechte Ergebnisse resultierten, denn es fehlte die kongruente Passung zwischen Guttapercha-Stift und Wurzelkanalquerschnitt. Daher wurde der Versuch unternommen, dieses Problem zu umgehen, indem man den Guttapercha-Stift durch verschiedene Lösungsmittel bearbeitete, die die Oberfläche der Stifte anlösten, um somit bei der Einführung in den Wurzelkanal die gleiche Querschnittsform zu erreichen. Diese Methode trägt zur Verbesserung der Adaptation der Guttapercha-Stifte bei (157). Mittel wie Xylol und Chloroform wurden hierfür verwendet. Diese beeinträchtigten jedoch durch ihre Auflösung die apikale Dichtigkeit (109, 126) und erwiesen sich durch ihre neuro-zytotoxische und kanzerogene Wirkung als nicht biokompatibel. Obwohl die Methode des Zentralstiftes wenig Zeit, Material und Erfahrung erfordert, ist sie in Bezug auf die oben genannten Unzulänglichkeiten zur Herstellung einer biokompatiblen und dichten Wurzelkanalfüllung ungeeignet.

1.6.3. Thermoplastische Verarbeitung von Guttapercha

Die plastische Verarbeitung der Guttapercha wurde erstmals Anfang des 20. Jahrhunderts vorgenommen. Diese, auf Erwärmung und damit Erweichung des Guttapercha-Materials basierende Verarbeitung hatte das Ziel, das Wurzelkanalsystem mit allen seinen Freiräumen und Isthmen abzudichten (19).

Bei Noyes (108) findet sich eine Beschreibung von Versuchen, bei denen Guttapercha nach Erwärmung und Erweichung mittels eines erhitzten Trägers in den Wurzelkanal eingebracht wurde. Da man die Schrumpfung der erwärmten Guttapercha beim Abkühlen beachten muss, versucht man heute, diesem Effekt durch die Verwendung von Verdichtungsinstrumenten wie Pluggern entgegenzuwirken. Durch die Erweichung von Guttapercha würde es dem Material einfacher gelingen, in die kleinsten Räume und Nebenräume des Wurzelkanals einzudringen. So sind z. B. interne Resorptionen oder stark gekrümmte Kanäle durch dieses Vorgehen gut abfüllbar (21, 58). Auch die Auswirkung einer überschießenden Wärmeentwicklung auf das periradikuläre Gewebe wurde in diesem Zusammenhang in verschiedenen Studien kritisch betrachtet. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ergaben, dass unter den verwendeten Temperaturen keine Schädigung des periradikulären Gewebes eintrat (6). Der Verzicht auf die Verwendung eines Sealers allerdings bedingte eine Temperaturerhöhung von 4 – 7 °C auf der Wurzeloberfläche. Dieses belegten Marlin und Schilder (96) unabhängig von den Wurzelkanalfülltechniken.

Temperaturbedingte Schäden, die zu Proteinkoagulation, Ankylosierung oder Resorptionen führen (127) unterstreichen die Notwendigkeit der Sealerverwendung zur Temperatursenkung bei den thermischen Wurzelkanalfülltechniken. Es sind verschiedene Techniken der Wurzelkanalfüllung auf der Basis der thermoplastischen Verarbeitung von Guttapercha entwickelt worden. Aufzuführen sind die niedrig und hoch erwärmte Guttapercha (166), die erwärmte vertikale Kondensation (131), die

thermische Kompaktion (101), die thermoplastisch mit einem Träger applizierte Guttapercha (70) sowie die laterale Kondensation im erwärmten Zustand (46).

1.6.3.1 Die 3-D-Obturation bzw. vertikale Kondensation nach Schilder (131)

Mit seiner Methode zur vertikalen Kondensation lieferte Schilder die Grundlage für die Applikation erwärmter Guttapercha in den Wurzelkanal. Ein nicht ISO-genormter Guttapercha-Stift wird mittels eines heißen Instruments in einen mit Sealer beschickten Wurzelkanal kompaktiert. Dieser Vorgang wird mit verschiedenen Pluggern, die sich in der Größe unterscheiden und damit in verschiedenen Höhen des Wurzelkanals einsetzbar sind, vorgenommen. Das Ergebnis ist eine homogene, dichte, dreidimensionale Obturation des Wurzelkanals.

Der geschilderte Vorgang erfordert entsprechende Erfahrung und einen zeitlichen und instrumentellen Aufwand. Schilder benutzte zur Erwärmung der verwendeten Instrumente und Pluggern einen einfachen Bunsenbrenner, der keine Kontrolle der Instrumententemperaturen und deren Abkühlung zuließ. Die Entwicklung verschiedener elektrisch beheizter Instrumente sollte diesem Problem entgegenwirken. Die Umständlichkeit der Schilder-Methode führte zur Entwicklung einer ganzen Reihe von neuen Guttapercha-Erwärmungsverfahren (70):

- Einrotierung von Guttapercha: McSpadden Technik, JS Quickfil, Micro-Seal
- Verflüssigung von Guttapercha: Success Fil
- Injektion von erweichter Guttapercha: Obtura I und II, Utrafil
- Kombinierte laterale Kondensation mit erhitzter Guttapercha: Endotec, Touch`Heat, System B
- Erhitzen von Guttapercha auf einem Träger: Thermafil, Densfil, Soft Core
- Kombinationssysteme (Trifecta, Inject-R-fill).

1.6.3.2 McSpadden-Methode

Die hierzu erforderliche Hedströmfeile verfügt über umgekehrte Wendelung der Schneidekanten. Sie wird als maschinengetriebener Verdichter der Guttapercha genutzt (Gutta-Condensor oder –Compactor). Die vertikale oder laterale Kondensation wird durch die Reibungswärme und die daraus resultierende Erweichung der Guttapercha erreicht. Diese Erwärmung wird bei einer Umdrehungszahl der Hedströmfeile von 800 Umin^{-1} oder besser $15000 - 20000 \text{ Umin}^{-1}$ erreicht. Der Vergleich zwischen dieser Methode und anderen Techniken ergab, dass die McSpadden-Methode eine schnellere, aber keine dichtere Obturation des Wurzelkanals ermöglicht. Dieses wurde in mehreren Studien belegt (18, 44, 76).

Die durch Rotation und Reibung erzeugte Hitze ist bezüglich der Wirkung auf das umgebende Gewebe bei geringer Überschreitung der Kompaktionsdauer sehr kritisch zu beurteilen (59, 128).

1.6.3.3 Guttapercha-Applikation durch Injektionstechnik

Durch das Injizieren von Guttapercha mittels Applikationssysteme wird versucht, den materiellen und finanziellen Aufwand im Vergleich zu anderen Wurzelkanalfülltechniken deutlich zu senken. Darüber hinaus soll das mit der lateralen Kondensation verbundene Risiko der Wurzellängsfraktur bei der Wurzelkanalfüllung vermieden werden.

1. Niedertemperierte Erweichung von Guttapercha

Das hier eingesetzte Ultrafil-System wurde 1984 entwickelt (102). Hierzu werden vorgefertigte Ampullen mit Guttapercha in ein Wärmegerät gegeben, in dem für 15 min. die Erwärmung der Guttapercha bis $70 - 90 \text{ }^\circ\text{C}$ erfolgt. Anschließend wird das so erweichte Material mit Hilfe eines Pistolensystems in den Wurzelkanal eingebracht.

2. Hochtemperierte Erweichung von Guttapercha

Das Ausgangsmaterial besteht aus Guttapercha-Stücken, die in einem Obturagerät bis zur Temperatur von 200 °C erhitzt werden, so dass sie vollständig verflüssigen. Das flüssige Material wird dann mittels einer Injektionskanüle in den Wurzelkanal appliziert. Es wurden bisher verschiedene Variationen zu dieser Methode beschrieben (166).

Bei Injektionsmethoden von erweichtem bis verflüssigtem Guttapercha lässt sich die Applikation als technisches Problem kritisch betrachten. Sowohl die Handhabung der Injektionskanüle und deren Einführung in die Mundhöhle und dann in die zu füllenden Wurzelkanäle als auch die Dimension der Injektionskanüle erschweren das technische Vorgehen. Letzteres erlaubt es in einzelnen Fällen nicht, die Kanüle in das apikale Drittel des abzufüllenden Wurzelkanals einzuführen. Ein anderes Problem stellt die hohe Rate an Überfüllungen dar. Die Gewährleistung einer kontinuierlichen Konizität des aufbereiteten Wurzelkanals ist nicht immer gegeben, welches für das freie Fließen der verflüssigten Guttapercha nötig ist.

Abgesehen davon wurde im Hinblick auf die apikale Dichtigkeit kein signifikanter Unterschied zwischen den oben genannten Injektionsmethoden und der kalten lateralen Kondensation festgestellt (30).

1.6.3.4 Thermafil-Technik

1978 wurde eine innovative Methode zur Wurzelkanalfüllung mit erwärmter Guttapercha beschrieben (13, 70). Die Technik beruht darauf, den Wurzelkanal mit einem mit Guttapercha ummantelten Stahlkern in einem einzigen Arbeitsschritt abzufüllen. Johnson erzielte mit dieser Methodik beeindruckende Ergebnisse (70). Die Idee dieser Methode war es, möglichst wenig Guttapercha-Material zu verwenden, da es beim Abkühlen der Guttapercha zu einer gewissen Schrumpfung kommt. Je weniger Guttapercha-Masse verwendet wird, desto geringer ist die auftretende Schrumpfung. Daher hatte

man in der ursprünglichen Version feste Kerne aus Stahl, Kunststoff oder Titan verwendet. Nachteilige Aspekte des Systems führten zu dessen Überarbeitung und zur Entwicklung des verbesserten neuen Systems Thermafil Plus. Diese Nachteile spiegelten sich in der unmöglichen Sicherung einer Passgenauigkeit der verwendeten Obturatoren mit dem aufbereiteten Wurzelkanal wieder (27). Die Erhitzung der Guttapercha verlief ungleichmässig, und damit war die Temperaturkontrolle und der Übergang zur vorgesehenen Erweichungstemperatur der Guttapercha nicht immer garantiert. Außerdem war die Entfernung des Trägermaterials bei einem geplanten prothetischen Stiftaufbau mit erheblichem Aufwand verbunden.

Das System Thermafil Plus ist mit einem neuen Ofen ausgestattet, der wesentlich schneller aufheizt. Die Abstimmung zwischen den neuen Thermafil-Stiften und den Wurzelkanalaufbereitungsinstrumenten und damit dem aufbereiteten Wurzelkanal erfolgt mit den dafür vorgesehenen sogenannten Verifier. Darüber hinaus stellt die leichtere Entfernung des aus Polymerkunststoff bestehenden Trägers bei prothetischer Versorgung einen Vorteil dar.

1.6.3.5 Die Buchanan „Continuous Wave of Condensation“-Technik

Die Plastifizierung von Guttapercha mittels elektrisch erhitzbaren Instrumentariums im Wurzelkanal und dessen anschließenden Kompaktion wurden 1996 von Buchanan beschrieben (24). Hierbei handelte es sich um das Obturatorsystem B. Die Hitzeentwicklung ist für das biologische Umfeld des bearbeiteten Wurzelkanals von großer Relevanz, zumal dies eine Traumatisierung des parodontalen Ligaments herbeiführen kann. Die bei der Anwendung des Systems B entwickelte Erwärmung von 250 °C im Wurzelkanal hat eine potentielle Temperaturerhöhung an der Wurzeloberfläche von 10 °C zur Folge. Dieses wurde von Floren et al. 1999 in einer In-vitro-Studie festgelegt (47). Allerdings wurde von Romero et al. die Temperaturerhöhung an der

Oberfläche am Apex lediglich mit 1 °C und am apikalen Drittel der Wurzeloberfläche mit 2 °C angegeben (125).

Die apikale Adaptation der durch Pluggern zunächst erweichten und dann lateral und vertikal kompaktierten Guttapercha erzielte bessere Ergebnisse als die kalte laterale Kondensation (141, 160). Der Vergleich zwischen dem System B von Buchanan und der kalten lateralen Kondensation ergab in diesem Zusammenhang, dass die Methodik des Systems B die Adaptation von Guttapercha und deren Fähigkeit, in die lateralen Kanäle des Wurzelkanals im koronalen, mittleren und apikalen Anteil einzudringen, der Technik der lateralen Kondensation weit überlegen ist (38). Außerdem war die Füllung der lateralen Kanäle mit Guttapercha signifikant besser, wenn ein Sealer benutzt wurde. Maden et al. befanden, dass die laterale Kondensation und das System B über das gleiche apikale Abdichtungsvermögen verfügen (92). Allerdings wurden mit dem System B nicht immer gute Ergebnisse in Bezug auf die apikale Adaptation von Guttapercha erzielt (140).

Einen großen Einfluss auf die apikale Guttapercha-Adaptation im Wurzelkanal ist der Eindringtiefe des verwendeten erhitzbaren Instrumentariums zuzuschreiben. Je tiefer das Instrument in den Wurzelkanal und in die apikale Region eingeführt werden kann, desto besser ist die Adaptation der Guttapercha (161).

1.6.3.6 Das Obturatorsystem Endo-Twinn

Bekannt ist der positive Effekt der Ultraschallanwendung auf die Kompaktion von Guttapercha bei der lateralen Kondensation (10). Bei der Kombination von Vibrationstechnik und den Grundlagen der thermischen Plastifizierung von Guttapercha nach Buchanan führte zur Entwicklung des neuen Obturatorsystems Endo-Twinn (VDW, München, Deutschland). Die verwendeten Plugger und Spreader des Endo-Twinn-Systems werden

elektrisch beheizt und können in Vibration versetzt werden. Allerdings ist die Vibrationsfrequenz niedriger (100 Hz) als die der Ultraschallfrequenz.

Das Instrumentarium des Endo-Twinn-Systems kann im Vergleich zur System B-Methodik tiefer in den Wurzelkanal und in gekrümmte Wurzelkanäle eingeführt werden. Untersuchungen von Wu et al. ergaben, dass die Verwendung des System B schlechtere Ergebnisse lieferte als die Obturation mittels Endo-Twinn (159). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die apikale Eindringtiefe der Endo-Twinn-Instrumente größer ist als die von System B (161, 20, 64).

Der Vergleich von Endo-Twinn als Erhitzungsinstrument auf der einen Seite und als Erhitzungs- und Vibrationsinstrument auf der anderen Seite ergab eine Überlegenheit des Kombinationsmodus. Da man bis dahin nicht wusste, wie der Einfluss von niederfrequenter Vibration auf die Adaptation von Guttapercha ist, nimmt man an, dass die Kombination von niederfrequenter Vibration mit der Erhitzung wahrscheinlich ausreichend ist, um die Fließfähigkeit von erweichter Guttapercha zu verbessern (159).

1.6.3.7 Gutta-Flow

Die Entwicklung des neuen Obturationsmaterials Gutta-Flow (Roeko, Langenau, Deutschland) basiert auf dem von der Firma Roeko hergestellten Sealer RoekoSeal. Der Forderung des Ausfüllens von Spalträumen im Wurzelkanal ohne eine Schrumpfung oder gar eine Löslichkeit aufzuweisen, konnte bisher kaum ein Sealer gleichzeitig gerecht werden.

Der neu entwickelte Sealer RoekoSeal ist ein additionsvernetzendes, auf Silikonbasis hergestelltes Material, das gute Abdichtungseigenschaften aufweist (28, 45, 48, 124, 123, 162, 163). Im Gegensatz zu den herkömmlich verwendeten Sealern weist RoekoSeal eine gewisse Abbindeexpansion auf (0,2 %). Diese hervorragende Eigenschaft erklärt das gute

Abdichtungsvermögen des Sealers (111). Unter Verwendung von RoekoSeal wurden bei der Single-cone-Technik dieselben Dichtigkeitswerte gemessen, wie bei der lateralen Kondensation (163). Es sind gute thixotrope Eigenschaften, die dem Material das Eindringen in laterale Kanälchen und sogar in Dentinkanälchen ermöglichen, beschrieben worden. Die gute Klebeeigenschaft zum Kanalwanddentin (48) trägt zum Abdichtungsvermögen bei.

Das aus einem Automixingsystem zu applizierende Material weist in verschiedenen Studien ein gutes Abdichtungsverhalten auf (123, 162). Dem RoekoSeal sind zwei weitere Eigenschaften zuzuschreiben, die es zu einem besonderen Sealer machen. Es ist gegenüber Gewebsflüssigkeiten unlöslich, was das Abbinden trotz feuchter Bedingungen ermöglicht, und es verfügt über eine gute Biokompatibilität (48, 111).

Die Entwicklung von Gutta-Flow kombiniert den Sealer RoekoSeal mit seiner Silikon-Komponente mit Guttapercha-Kügelchen der Größe 40 – 45 µm. Diese Kombination soll die Fließfähigkeit des Materials erhöhen, so dass Spalträume und laterale Kanälchen des Wurzelkanals obturiert werden können. Gutta-Flow ist ein Kaltfüllsystem, das ohne Erwärmung mittels eines Applikators in den Wurzelkanal injiziert wird. Somit werden die Vorteile der Kaltfülltechnik mit denen der thermoplastischen Methoden kombiniert. Es wird durch das kalte Injizieren des Gutta-Flows jegliche thermische Traumatisierung des endoparodontalen Systems verhindert. Außerdem ist hier nicht mit der naturgemäß auftretenden Schrumpfung warm applizierter Guttapercha zu rechnen.

Es wurden mit Gutta-Flow hinsichtlich der Dichtigkeit des abgefüllten Wurzelkanals gute Ergebnisse erreicht (123). Bei Farbstoffpenetrationstests zeigte das Material keine signifikante Reduktion der Dichtigkeit, wenn die Sealerschicht dicker war (124). Diese Werte wurden bei ausschließlich mit Gutta-Flow ohne Zentralstift versiegelten Wurzelkanälen nicht verschlechtert. Dies ist ein weiteres Indiz auf das gute Abdichtungsvermögen des Gutta-Flow.

2 Problemstellung

Die Frage nach der Bedeutung der Wurzelkanalfüllmaterialien in Bezug auf die apikale Dichtigkeit stellt ein Diskussionsthema verschiedener Studien dar. Die Applikation erwärmter und erweichter Guttapercha nimmt in diesem Zusammenhang eine besondere Stellung ein, zumal mit der Überführung der Guttapercha von der semisoliden Phase in eine erweichte Phase eine bessere Obturation des Wurzelkanals bezweckt wird. Es wird behauptet, dass die Wurzelkanalfüllung z. B. mit Thermafil-Obturatoren mit der lateralen Kondensation bezüglich der Dichtigkeit vergleichbar sein soll (39, 137). Andere Studien sprechen der Thermafil-Methode ein besseres Abdichtungsvermögen als der lateralen Kondensation zu (3).

Auch die Stellung des Sealers spielt bei der Dichtigkeitsfrage der Wurzelkanalfüllung eine bedeutende Rolle. So ergaben In-vitro-Studien hinsichtlich der apikalen Dichtigkeit unabhängig von der Füllungstechnik schlechte Ergebnisse für Wurzelkanalfüllungen mit Guttapercha ohne Sealer. Die vollständige bakterielle Wiederbesiedlung der Wurzelkanäle, die mit einem einzigen Guttapercha-Stift und ohne Sealer gefüllt wurden, war nicht vermeidbar (79). Die Verwendung eines Sealers, um die Unebenheiten zwischen Wurzelkanalfüllung und Wurzelkanalwand zu füllen und damit den Wurzelkanal vollständig zu obturieren, ist unumgänglich (19, 129). Untersuchungen mit dem neuen Material Gutta-Flow und dem neuen Obturatorsystem Endo-Twinn in Bezug auf das Abdichtungsvermögen liegen kaum vor (124). Daher war das Ziel der vorliegenden In vitro-Studie auf der einen Seite, den Effekt der verschiedenen Füllungstechniken auf die apikale Dichtigkeit zu untersuchen. Diese wurden auch untereinander und mit der lateralen Kondensation verglichen. Auf der anderen Seite sollte der Effekt der Verwendung eines Sealers beim Endo-Twinn-System und der Effekt der zusätzlichen Verwendung eines Guttapercha-Stiftes bei Gutta-Flow als Hauptfüllmaterial untersucht und bewertet werden.

3 Material und Methode

3.1 Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Es wurden insgesamt 120 extrahierte menschliche Zähne ausgewählt, die frei von internen Resorptionen, ohne Infrakturen im Wurzelbereich mit komplett ausgeformter Wurzelspitze und ohne endodontische Vorbehandlung waren und deren klinische Krone weitestgehend intakt war. Diese Zähne wurden nach Extraktion und vor Versuchsbeginn in 4 %iger Formaldehydlösung gelagert. Alle Zähne waren Frontzähne mit gerader Wurzel und einem einzigen Wurzelkanal. Dies wurde durch visuelle Kontrolle nach Trepanation der Zähne anhand des sichtbaren koronalen Kanaleingangs und des apikalen Foramens festgestellt.

Entsprechend den Wurzelfüllmaterialien bzw. -techniken wurden die Zähne in sechs Gruppen unterteilt, wobei die sechste Gruppe in zwei Untergruppen aufgeteilt wurde. Die erste enthielt die Gruppe der positiven, die zweite die Gruppe der negativen Kontrolle. Jede Gruppe bestand aus zehn Zähnen.

Um die Durchgängigkeit der aufzubereitenden Wurzelkanäle zu sichern, wurden die Wurzelkanäle mit einem Reamer-Instrument der ISO-Größe 10 bis zum intakten Apex instrumentiert. Es wurden für diese Studie nur Zähne einbezogen, deren Wurzelkanallumina im apikalen Drittel ungefähr der ISO-Größe 15 entsprachen.

Weichgewebsreste und Konkremente sind mit einem Scaler entfernt worden. Die Entfernung von Karies und Füllungsmaterialien erfolgte mit diamantierten Schleifkörpern und Mikromotoren (rotes Winkelstück). Die endodontische Zugangskavität wurde ebenfalls mit diamantierten Schleifkörpern hergestellt. Die Wurzelkanäle wurden zur möglichst vollständigen Entfernung des Pulpagewebes mit einer 2,5 %igen Natriumhypochloritlösung mittels stumpfer Kanüle gespült.

3.2 Wurzelkanalaufbereitung

Um die Arbeitslänge zu bestimmen, wurde in dieser Studie zunächst die Durchgängigkeit des Wurzelkanals mit einem Wurzelkanalinstrument der ISO-Größe 10 gesichert. Dabei wurde darauf geachtet, dass beim Austritt der Instrumentenspitze aus dem Apex die apikale Struktur nicht beschädigt wurde. Sobald die Instrumentenspitze soeben sichtbar war, wurde das Instrument mit einem Stopper an dem koronalen Referenzpunkt markiert und die Messung mit einer Messlehre (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) vorgenommen. Die Arbeitslänge wurde so bestimmt, dass die abgemessene Länge um 1 mm verkürzt wurde.

Jeder Zahn wurde mit einem kompletten Satz neuer Wurzelkanalinstrumente bearbeitet. Die Wurzelkanäle wurden nach der standardisierten Technik aufbereitet. Die Aufbereitung erfolgte mit K-Flexofiles (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) bis zur ISO-Größe 40. Da Dentinspäne die apikale Region des Wurzelkanals verstopfen können, wurde die Durchgängigkeit des Foramen apikale nach Abschluss der Aufbereitung mit einem Instrument der ISO-Größe 10 überprüft. Dieses wurde vorsichtig über den Apex hinausgeschoben.

In dieser Untersuchung wurde jeder Wurzelkanal bei jedem Instrumentenwechsel mit 5 ml einer 2,5 %igen NaOCl-Lösung mittels stumpfer Kanüle gespült. Die entstandene Schmierschicht wurde mit 10 ml einer 17 %igen EDTA-Lösung, deren Einwirkzeit 10 min. betrug, entfernt. Danach erfolgte eine abermalige Spülung mit 2,5 %iger NaOCl-Lösung und die anschließende zweimalige Irrigation mit destilliertem Wasser. Mit genormten Papierspitzen (Roeko, Langenau, Deutschland) wurden die Wurzelkanäle getrocknet.

3.3 Wurzelkanalfüllung

Folgende Gruppen wurden gebildet:

Gruppe A:

Gutta-Flow von Roeko mit Guttapercha-Stift.

Gruppe B:

Gutta-Flow von Roeko ohne Guttapercha-Stift.

Gruppe C:

Das Obturator Endo Twinn von VDW ohne Sealer.

Gruppe D:

Das Obturator Endo Twinn von VDW mit Sealer (AH Plus).

Gruppe E:

Herkömmliche laterale Kondensation mit Sealer (AH Plus).

Gruppe F:

Aufgeteilt in die negative und positive Kontrolle.

Gruppe A:

In dieser Gruppe wurde das aus Guttapercha-Pulver und einer Polydimethylsiloxanmatrix bestehende Kaltfüllsystem Gutta-Flow verwendet (Colténe, Whaledent, Langenau, Deutschland).

Das in Kapseln enthaltene Material (Abbildung I) wird manuell aktiviert und für 30 s in einen Triturator angemischt. Zur Wurzelkanalfüllung wurde das Material mittels Canaltip (Abbildung II und III) in die dafür vorgesehenen Wurzelkanäle so appliziert, dass der Canaltip möglichst in das apikale Drittel des Wurzelkanals vorgeschoben und das angemischte Material eingelassen wurde. Es erfolgte unmittelbar danach das Nachschieben eines Guttapercha-Stiftes der

ISO-Größe 40 bis hin zum Einklemmen des Stiftes. Im Anschluss daran wurde die Abtragung des überschüssigen Anteils des Guttapercha-Stiftes mit einem erhitzten Instrument vorgenommen. Überschüssiges Gutta-Flow-Material wurde mit einem Wattepellet entfernt.



Abbildung I: Kapsel Gutta-Flow



Abbildung II: Gutta-Flow-Applikator mit Kanaltip



Abbildung III: Applikation von Gutta-Flow

Gruppe B:

Die Wurzelkanäle dieser Gruppe wurden analog wie bei der Gruppe A mit Gutta-Flow gefüllt. Allerdings wurde hier auf den Guttapercha-Stift verzichtet, d. h., es wurde das Gutta-Flow-Material in das apikale Kanallumen bis zur koronalen Kanalmündung eingelassen. Überschüssiges Material wurde ebenfalls mit einem Wattepellet entfernt.

Gruppe C:

Die Wurzelkanäle der dritten Gruppe wurden mit Guttapercha-Stiften unter Verwendung des endodontischen Obturatorgerätes Endo Twinn gefüllt (Abbildung IV). Zuerst wurde ein Guttapercha-Stift der ISO-Größe 40 in den Wurzelkanal bis zum apikalen Stop eingebracht. Danach erfolgte das Einführen der an das Gerät angeschlossenen Spreader-Spitze (Abbildung V) im Sinne der lateralen Kondensation. Daraufhin wurde das Gerät nach Erreichen der maximalen Tiefe der Spreader-Spitze im Wurzelkanal aktiviert und der kombinierte Modus von Vibration und Erhitzen ausgewählt. Dabei wurde die Spreader-Spitze langsam aus dem Wurzelkanal entfernt. Im Anschluss daran wurden weitere Guttapercha-Stifte eingeführt und das Vorgehen mit der

Spreader-Spitze so lange wiederholt, bis sich die Spreader-Spitze nur noch in die ersten 2 mm des koronalen Drittels des Wurzelkanals einführen ließ. Hier wurde das überschüssige Guttapercha-Material mit einem erhitzten Instrument in Höhe der Kanalmündung abgetragen und das Guttapercha-Material koronal mittels eines Kugelinstruments verdichtet.

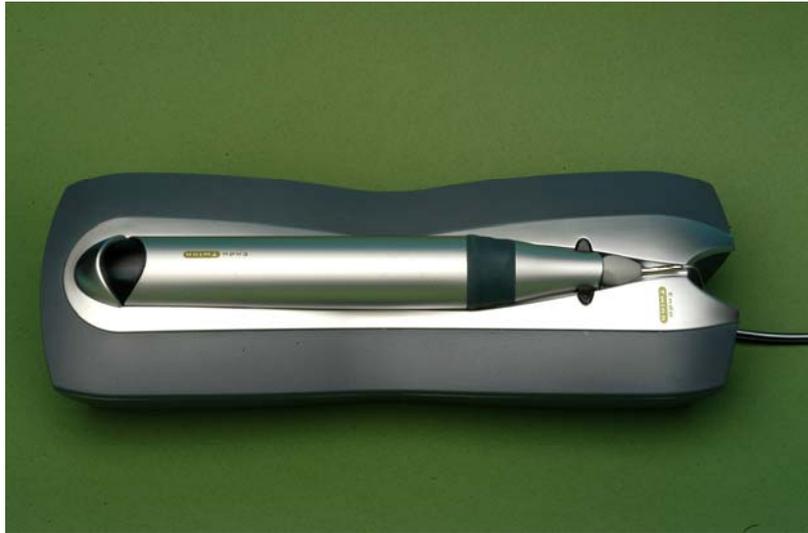


Abbildung IV: Endo-Twinn-Obturator im Ladegerät



Abbildung V: Endo-Twinn-Obturator mit Spitzen

Gruppe D:

Die Wurzelkanäle der vierten Gruppe wurden so abgefüllt, wie jene der Gruppe C unter Verwendung des endodontischen Obturatorgerätes Endo Twinn. Allerdings wurde hier zusätzlich der Sealer AH Plus (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) verwendet. Die Guttapercha-Stifte - sowohl der Masterpoint als auch die zusätzlichen Guttapercha-Stifte - wurden dünn mit AH Plus beschickt, bevor sie in den Kanal eingeführt wurden.

Gruppe E:

Bei dieser Gruppe handelte es sich um die Wurzelkanalfüllung mittels der herkömmlichen lateralen Kondensation unter Verwendung des Sealers AH Plus. Diese Gruppe galt in dieser Studie als Referenzgruppe.

Nach vollständiger Vorbereitung der aufbereiteten Wurzelkanäle wurde für jeden Wurzelkanal ein Guttapercha-Stift der ISO-Größe 40 (Masterpoint) mit Hilfe einer Messlehre (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) geprüft, um die Maßhaltigkeit des Stiftdurchmessers sicherzustellen. Der Guttapercha-Stift wurde dann vor Beginn der Wurzelkanalfüllung einprobiert, und zwar so, dass er ohne großen Druck bis zum apikalen Stop unter einer apikalen Klemmpassung eingeführt werden konnte. Damit sollte die Kongruenz zwischen dem Masterpoint und dem aufbereiteten Wurzelkanal weitgehend gewährleistet werden.

Das Anrühren des Sealers - hier AH Plus - wurde auf einer Glasplatte vorgenommen. Es wurde darauf geachtet, dass das angerührte Gemisch eine homogene, zähflüssige Konsistenz aufwies. Mit Hilfe einer K-Flexfeile der ISO-Größe 40 wurde die Wurzelkanalwand mit dem angemischtem Sealer gleichmäßig und dünn bestrichen, indem die Masterfeile in das angemischte Material eingetaucht und dann entgegen dem Uhrzeigersinn in den Kanal eingeführt wurde. Der Masterpoint wurde ebenfalls in den angerührten Sealer eingetaucht, so dass er von allen Seiten dünn mit dem Material bedeckt wurde.

Der Stift wurde anschließend langsam und kontinuierlich mittels Pumpbewegungen bis zum apikalen Stop in den Wurzelkanal eingeführt.

Die initiale laterale Kondensation des ersten Guttapercha-Stiftes erfolgte mit einem Fingerspreader der ISO-Größe 30 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz). Dafür wurde zunächst der Fingerspreader mit einem Gummi-Stopper zur Markierung der Arbeitslänge versehen. Als nächstes wurde der Fingerspreader neben den Masterpoint eingeschoben. Danach wurde ein Zusatzstift der ISO-Größe 30 ebenfalls gleichmäßig und dünn mit Sealer bestrichen und in den Kanal eingeschoben. Diese Kondensation wurde so oft wiederholt, bis sich der Fingerspreader nur noch 2 mm in den Wurzelkanal einführen ließ. Das überschüssige Guttapercha-Material wurde in Höhe des Kanaleingangs mit einem heißen Instrument abgetrennt und die Sealer-Reste mit einem Wattepellet aus der Zugangskavität entfernt. Mit einem Kugelinstrument wurde die Wurzelfüllung unmittelbar danach verdichtet.

Gruppe F:

F1 Positive Kontrolle

Zur positiven Kontrolle wurden 10 Zähne mit geraden Wurzelkanälen, wie in Abschnitt 3.2 beschrieben, aufbereitet, aber nicht gefüllt.

F2 Negative Kontrolle

So wie bei der obenstehenden negativen Kontrolle wurden hier ebenfalls 10 Zähne mit geraden Wurzelkanälen vorbereitet. Sie wurden nach der beschriebenen Technik aufbereitet und im Sinne der lateralen Kondensation gefüllt. Diese Zähne wurden vollständig – also auch im Bereich des Foramen apicale – mit Nagellack versiegelt.

Die nachfolgende Tabelle zeigt den Überblick der Gruppeneinteilung.

Wurzelkanalfüllmaterial bzw. -technik	Anzahl der Zähne
A: Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift	20
B: Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift.	20
C: Endo Twinn ohne Sealer	20
D: Endo Twinn mit AH-Plus	20
E: Laterale Kondensation mit AH-Plus	20
F1: Positive Kontrolle	10
F2: Negative Kontrolle	10
Gesamtanzahl	120

Tabelle I: Überblick der Gruppeneinteilung

Alle Zähne wurden mit einer Cavit-Füllung (Espe, Seefeld, Deutschland) versehen, die die gesamte Zugangskavität ausfüllte.

Bei der Wurzelkanalfüllung wurde jede Extrusion von Füllungsmaterialien (Sealer, Gutta-Flow, Guttapercha-Stifte) beobachtet und in ein ja-/nein-Schema vermerkt. Bei Extrusionen von Guttapercha-Stiften wurden die betroffenen Zähne ausgesondert und durch neue Zähne ersetzt. Bei Extrusion von Gutta-Flow-Material, wurde das extrudierte Material behutsam abgewischt.

Von allen Zähnen wurden anschließend Röntgenaufnahmen angefertigt, und zwar in mesialer und distaler Projektionsrichtung. Zweck der Aufnahmen war die Überprüfung der Vollständigkeit und Homogenität der Wurzelkanalfüllung. Zähne, die röntgenologisch insuffiziente Wurzelkanalfüllungen aufwiesen, oder zur Kategorie IV der Einteilung des Wurzelkanalverlaufs nach Weine (153) gehörten, wurden ausgesondert und durch neue Zähne ersetzt.

Die Aushärtung des Sealers und des Cavits wurde bei einer Temperatur von 37 °C und 100 % Luftfeuchtigkeit vorgenommen. Dafür wurden die Zähne in

einem auf diese Bedingungen eingestellten Brutschrank für 7 Tage gelagert. Danach wurden die Zähne sorgfältig mit einem Fön getrocknet.

3.4 Farbstoffpenetrationstest

Für den Farbstoffpenetrationstest wurde der Farbstoff Methylblau verwendet, dessen Penetration als ein Indiz für die Undichtigkeit der Wurzelkanalfüllung gilt. Um die Penetration dieses Farbstoffs durch sich im mittleren oder koronalen Drittel des Wurzelkanals befindende Seitenkanäle oder aber durch Undichtigkeiten im Kronenbereich, wie Infrakturen, Zugangskavität, undichte Cavit-Füllungen und Karieskavitäten mit direktem Kontakt zu Dentintubuli zu verhindern, wurden alle Zähne mit zwei farblich unterschiedlichen Nagellacken in rot und blau (Jade, Deutschland) bestrichen. Die zweite Schicht mit der zweiten Farbe wurde 1 Stunde, nachdem die erste getrocknet war, aufgetragen. Da diese Studie sich auf die apikale Dichtigkeit der verwendeten Materialien bzw. Techniken bezog, wurde ein Bereich von 2 mm um die Wurzelspitze herum ausgespart. Nach Trocknung des Nagellacks wurden die Zähne für 48 Stunden in eine 2 %ige Methylblau-Lösung bei einem pH-Wert von 7 und einer Temperatur von 37 °C gelegt. Die Zähne wurden danach mit klarem Wasser abgespült und die Nagellackschichten mit Hilfe eines Scalers sorgfältig entfernt.

3.5 Demineralisation der Zähne

Mit der Methode von Robertson et al. (122) wurden die Zähne in einen transparenten Zustand gebracht. Für die Demineralisation wurden die Zähne in eine 5 %ige Salpetersäure gelegt, die alle 12 Stunden gewechselt wurde. Die Zähne wurden für insgesamt 72 Stunden demineralisiert und danach für weitere 4 Stunden unter fließendem Leitungswasser gewässert. Danach erfolgte die Dehydrierung der Zähne über eine aufsteigende Alkoholreihe (80%, 90%, 99%). Die Transparenz der Zähne konnte durch eine 2 bis 4stündige Lagerung in 100%igem Methylsalicylat gewonnen werden. Unter einem Stereomikroskop (Zeiss, Jena, Deutschland) wurde die quantitative Auswertung des

penetrierenden Farbstoffs vorgenommen. Dafür wurden die Zähne in einer mit Methylsalicylat gefüllten Petrischale gelegt. Die lineare Farbstoffpenetration wurde für jeden Zahn 3 mal unabhängig voneinander unter einer 20fachen Vergrößerung gemessen. Die Messung bezog sich auf den Abstand des apikalen Endpunktes der Aufbereitung bis zum koronal gelegenen Penetrationsendpunkt. Aus den drei Messungen wurde dann für jeden Zahn ein Durchschnittswert berechnet.

Die Werte wurden mit Hilfe des Chi-Quadrat-Tests für überstopftes Füllungsmaterial analysiert. Die Ergebnisse der Farbstoffpenetration wurden mittels einer Varianzanalyse (ANOVA) statistisch analysiert. Zum multiplen Paarvergleich wurde der Student-Newman-Keuls-Test herangezogen. Das Signifikanzniveau wurde jeweils auf $p < 0,05$ festgelegt.

4 Ergebnisse

4.1 Überstopftes Füllungsmaterial

In der Gruppe A (Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift) waren drei und in der Gruppe B (Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift) waren elf von jeweils zwanzig Zähnen mit extrudiertem Material zu verzeichnen. Hingegen waren bei den Gruppen, deren Wurzelkanäle mittels Endo-Twinn-Obturators und der lateralen Kondensation gefüllt waren, keine Extrusionen zu beobachten (Tabelle II). Die Chi-Quadrat-Analyse ergab einen signifikanten Unterschied bezüglich der Inzidenz der Überfüllungen zwischen der Gruppe A und B ($p < 0,05$) und einen hoch signifikanten Unterschied zwischen der Gruppe B und den Gruppen C, D und E ($p < 0,001$).

Der Vergleich zwischen der Gruppe A und den Gruppen C, D und E ergab einen nicht signifikanten Unterschied von $p = 0,253$.

Gruppe	Extrusion	Total %
Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift	3	15
Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift	11	55
Endo-Twinn	0	0
Laterale Kondensation	0	0

Tabelle II: Extrusion von Wurzelkanalfüllmaterial bei den gefüllten Wurzelkanälen. Angegeben ist jeweils die Anzahl der Zähne mit extrudiertem Material.

4.2 Farbstoffpenetration

In der Tabelle III sind die Ergebnisse der apikalen Farbstoffpenetration für die jeweiligen Gruppen aufgeführt.

Gruppen	Anzahl der Kanäle ohne Undichtigkeit	Farbstoffpenetration	
		(\bar{X})	s
A: Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift	4	3,30	2,33
B: Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift	3	4,24	2,32
C: Endo-Twinn ohne Sealer	1	5,09	2,08
D: Endo-Twinn mit AH Plus	8	1,56	1,37
E: Laterale Kondensation mit AH Plus	14	0,31	0,51

Tabelle III: Angegeben ist die Anzahl der Zähne der jeweiligen Versuchsgruppen ohne eine Farbstoffpenetration bzw. eine Undichtigkeit, der Mittelwert (\bar{X}) der Farbstoffpenetrationsstrecken (mm) und die zugehörige Standardabweichung (s) für die Gruppen A bis E.

Zwischen der lateralen Kondensation und den Gruppen A, B und C besteht ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Farbstoffpenetration zugunsten der lateralen Kondensation ($p < 0,01$). Auch zwischen den beiden Gruppen C und D ergibt sich in diesem Zusammenhang ebenfalls ein signifikanter Unterschied zugunsten der Gruppe D ($p < 0,05$). Die Gruppen D und E unterschieden sich mit einem Wert von $p = 0,117$ und somit war hier ein signifikanter Unterschied nicht nachweisbar. Gleiches gilt für die Gruppen D und A bei einem Wert von $p = 0,301$ (siehe Diagramm I).

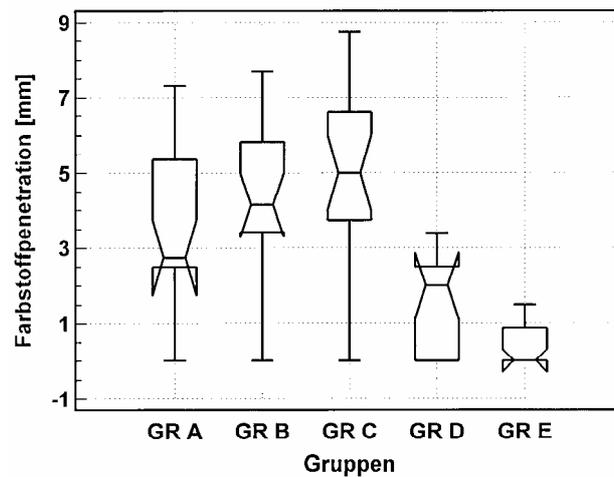


Diagramm I: Notched boxplots (n = 20 Zähne pro Gruppe) der maximalen Farbstoffpenetration [mm]. Gruppe A: Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift, Gruppe B: Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift, Gruppe C: Endo-Twinn ohne Sealer, Gruppe D: Endo-Twinn mit AH Plus, Gruppe E: Laterale Kondensation mit AH Plus.

Die Wurzelkanäle der positiven Kontrolle waren – ohne Ausnahme – vollständig von der Farbstofflösung (von apikal über die gesamte Länge des Wurzelkanals bis koronal) penetriert. Die negativen Kontrollen zeigten keine apikale Farbstoffpenetration.

5 Diskussion

5.1 Bedeutung der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung

In der vorliegenden In-vitro-Studie wurde die erzielte Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung verglichen, die durch unterschiedliche Wurzelkanalfüllmethoden resultierte. So wurde in diesem Zusammenhang bei der Injektionstechnik des neuen Materials Gutta-Flow zwischen der zusätzlichen Verwendung des Guttapercha-Stiftes und dem Verzicht auf diesen verglichen. Bei der Verwendung des Obturatorsystems Endo-Twinn wurde zwischen der erzielten Dichtigkeit unter der Verwendung eines Sealers und dem Verzicht auf diesen verglichen. Im Anschluss wurde der Vergleich zwischen beiden Methoden und der lateralen Kondensation vorgenommen. Die laterale Kondensation von Guttapercha ist eine klassische Standardmethode zur Füllung des Wurzelkanals und eine der weltweit verbreitetsten Methoden in der endodontischen Therapie. Daher diente sie in der vorliegenden Studie, aber auch in vielen anderen Studien, zur Beurteilung des Abdichtungsverhaltens verschiedener Wurzelkanalfüllmaterialien bzw. Wurzelkanalfülltechniken als Referenzmethode.

Die Beurteilung der suffizienten Wurzelkanalfüllung basiert auf mehreren Kriterien: diese sind die Länge, die Homogenität und die Dichte. Ausschlaggebend ist auch das von der Wurzelkanalfüllung unabhängige Kriterium, wie die adäquate Bearbeitung des Wurzelkanals. Allerdings sind auch klinische Kriterien, wie Symptomfreiheit und das Ausbleiben von Rezidiven weitere Erfolgskriterien einer einwandfrei hergestellten Wurzelkanalfüllung. Die klinische Prognose hängt entscheidend von den letzten apikalen Millimetern einer Wurzelkanalfüllung ab (22). Liegt in diesem Bereich eine dichte Wurzelkanalfüllung vor, wirkt sich dies positiv auf die Langzeitprognose der Behandlung aus.

5.2 Methode

5.2.1 Anforderungen an Versuchsobjekte

Klinische Beobachtungen ergaben, dass der Erfolg einer Wurzelkanalfüllung unabhängig vom ausgewählten Zahntyp ist (5). Attin hatte festgestellt, dass Unterschiede zwischen den verschiedenen Zahntypen tendenziell bestehen (5), allerdings sind größere Unterschiede nicht erkennbar. Außerdem bestehen zwischen den Standardabweichungen der einzelnen Untersuchungsgruppen keine nennenswerten Diskrepanzen.

Verschiedene Auswahlkriterien der Versuchsobjekte, wie der Zahntyp, der apikale Durchmesser des Wurzelkanals und das Karriesausmaß nehmen keinen Einfluß auf die Ergebnisse der Dichtigkeitsuntersuchungen. Dieses wurde von Pawlicka et al. festgelegt (116). Nichtsdestotrotz sollten im Hinblick auf die Standardisierung die zu untersuchenden Zähne bzw. Zahntypen gleichmäßig unter den verschiedenen Untersuchungsgruppen aufgeteilt werden. Somit sind vergleichbare Ergebnisse erzielbar.

Der klinische Erfolg einer Wurzelkanalfüllung wird wesentlich mehr durch wurzelkanalfüllungsabhängige Kriterien beeinflusst, wie der Abstand des apikalen Endpunktes der Wurzelkanalfüllung vom physiologischen Foramen.

Die Standardisierung möglichst vieler Parameter hat zur Folge, dass Standardabweichungen in den einzelnen Gruppen möglichst gering gehalten werden und eine unerwünschte Streuung der Ergebnisse vermieden wird. Häufig werden In-vitro-Studien mit Kritik begegnet, da sie mit einer In-vivo-Studie nicht vergleichbar sind. Es sind die häufigen Differenzen zwischen den Ergebnissen und Schlussfolgerungen der In-vitro-Studien, die diese Kritik zulassen und die Vergleichbarkeit stark einschränken. Die Standardisierbarkeit einer In-vitro-Studie jedoch wirkt sich insofern vorteilhaft aus, dass Ergebnisse miteinander verglichen und entsprechend ausgewertet werden können.

Dadurch wird eine hohe Aussagekraft der Untersuchungen erreicht. In diesem Zusammenhang wurden in der vorliegenden Studie die Zähne zur Überprüfung der röntgenologischen Qualität der Wurzelkanalfüllung in mesialer und distaler Richtung geröntgt. Dadurch erfolgte die Standardisierung der röntgenologischen Qualität als Beurteilungsfaktor einer erfolgreichen Wurzelkanalfüllung (39, 49). Standardisiert wurde in der vorliegenden Arbeit auch die Form des Wurzelkanalverlaufs. Es wurden nur Frontzähne mit gerader Wurzel und einem einzigen Wurzelkanal untersucht. Somit wurde eine Formvariation als beeinflussender Faktor der Untersuchungsergebnisse in Bezug auf die apikale Dichtigkeit ausgeschlossen. Die Rolle der zu untersuchenden Materialien rückt in diesem Zusammenhang in den Vordergrund.

Im Vergleich zu anderen Studien wurde hier die Anzahl der zu untersuchenden Objekte innerhalb der einzelnen Gruppen erhöht und damit die Aussagekraft der Untersuchung gesteigert. Die Anzahl der Zähne einer einzelnen Untersuchungsgruppe betrug $n = 20$.

5.2.2 Bestimmung der Arbeitslänge

Eine Erfolgsvoraussetzung der Wurzelkanalfüllung hängt unmittelbar mit der Lage des apikalen Endpunktes des verwendeten Wurzelfüllmaterials zusammen. Eine zu kurze Wurzelkanalfüllung würde einen ungefüllten Restraum des Wurzelkanals aussparen und damit die unerwünschte Wechselwirkung zwischen dem insuffizient gefüllten Wurzelkanal und dem periapikalen Gewebe begünstigen. Somit ist die chronische oder akute periapikale Läsion durch den Verbleib von nekrotischem oder infiziertem Pulpagewebe provoziert. Die Erfolgsrate ist auch dann beeinträchtigt, wenn die Wurzelkanalfüllung zu lang ist und die chemischen Bestandteile der Wurzelkanalfüllung durch direkte Einwirkung auf das periapikale Gewebe übergreifen können. Zusätzlich geht diese Traumatisierung des periapikalen Gewebes mit einer Infektion einher, zumal durch das Überinstrumentieren pathologisches Pulpagewebe in die periapikale Region gepresst wird.

Außerdem ist mit einer Übererweiterung des Foramen apikale und daraus resultierendem Überfüllen des Wurzelkanals zu rechnen.

Mit einem Abstand von 1 mm zwischen optimal bis in die Gegend der apikalen Konstruktion aufbereitetem Wurzelkanal und Apex wurde nach Untersuchungsergebnissen von Strindberg 1956 (146) die höchste endodontische Erfolgsrate erzielt. Dies wurde von Dummer und Mitarbeitern im Jahre 1984 bestätigt (40). Ihre Ergebnisse stimmten mit denen überein, die von Vande Voorde und Bjorndahl 1969 geliefert wurden (152). Ihnen zufolge wurden mit der Röntgenparalleltechnik die apikalen Referenzpunkte an 101 extrahierten Frontzähnen aus Ober- und Unterkiefer gemessen und den Abstand zwischen Foramen physiologicum und anatomischem Apex mit 1,1 mm angegeben. Die Relevanz dieser Entfernung des Foramen physiologicum und dem Apex wird anhand folgender Überlegung deutlich:

Bei der Betrachtung der Anatomie der apikalen Region der Wurzel kann man feststellen, dass das pulpoparodontale Mischgewebe in den Apex eintritt und dort in das Pulpagewebe übergeht, wo sich die Nahtstelle zwischen Wurzelzement und Dentinegewebe befindet. Diese Nahtstelle ist das Foramen physiologicum. Daher ist eine bis zum Foramen physiologicum erreichende Wurzelkanalaufbereitung eine Voraussetzung zur Schonung des pulpoparodontalen Gewebes.

5.2.3 Bearbeitung des Wurzelkanals

Durch das mechanische Abtragen des Wurzelzements bildet sich die vorwiegend aus anorganischem Material bestehende sogenannte Schmierschicht (Smear Layer). Die 1 – 2 µm dünne Schicht entsteht durch die Bearbeitung des Wurzelkanalzements mit Aufbereitungsinstrumenten nur an den bearbeiteten Flächen der Wurzelkanalwand (80, 81, 95, 118, 119).

Die Schmierschicht setzt sich aus verschiedenen Komponenten zusammen. Organische Bestandteile, vitale und nekrotische Gewebsreste der Pulpa und im Wurzelkanal verbliebene Reste von Spüllösungen kommen in dem Smear Layer vor (82). Bei vorausgegangener infizierter Pulpa gehören Bakterien und deren Toxine zum Aufbau der Schmierschicht. Da die Schmierschicht auf der Oberfläche der Wurzelkanalwand und in den Dentinkanälchen bis zu einer Tiefe von 40 µm anzutreffen ist (81, 95, 118, 119), betrachten einige Autoren die Schmierschicht als Schutzschicht. Untersuchungen von Meryon belegen eine Mobilität von Bakterien in die Dentintubuli (100). Die Schutzfunktion gewährleiste dadurch, dass die Schmierschicht als Versiegelung der Dentinkanälchen dient und somit das Nachsickern von Flüssigkeiten aus den Dentinkanälchen und ein Eintreten von Bakterien in den Wurzelkanal verhindere (37).

Untersuchungen zum Einfluß der Schmierschicht auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen ergaben unterschiedliche Ergebnisse. In diesen Untersuchungen wurde die Schmierschicht entfernt. Die Ergebnisse reichten von extrem hoher Undichtigkeit (6), über deutlich verminderte Undichtigkeit (29) bis hin zum fehlenden Einfluß der Schmierschicht auf die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen (93).

Es sind mehrere Gründe aufzuführen, die Schmierschicht vor der Füllung des Wurzelkanals zu entfernen. Durch die Entfernung der Schmierschicht wird das Penetrieren von Wurzelkanalfüllungsmaterialien in die Dentintubuli erhöht (57). Diese Penetration fördert die Haftung von Wurzelfüllmaterialien an der Wurzelkanalwand. Der Haftungsmechanismus beruht auf das Eindringen von Wurzelkanalfüllungsmaterialien in die freigelegten Dentinkanälchen. Dadurch wird die Haftungsfläche zwischen Wurzelkanalfüllungsmaterial und Wurzelkanalwand erheblich vergrößert. Dieses wirkt sich steigernd auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung aus. Aus diesem Grund wird von Guttapercha-Herstellern empfohlen, die Schmierschicht vor der Wurzelkanalfüllung zu beseitigen. Vor allem gilt dies bei der Verwendung von

erweichter Guttapercha, die durch die Erweichung ein Fließverhalten gewinnt, das es ermöglicht, in kleinere Räume einzudringen.

Die Schmierschicht gilt außerdem als Diffusionsbarriere. So würde sie die Wirkung von verwendeten antimikrobiellen Desinfizienzien bei der chemischen Bearbeitung des Wurzelkanals verhindern (82). Des Weiteren können Bakterien bei einem infizierten Wurzelkanal einen Bestandteil der Schmierschicht bilden und als Reinfektionsquelle fungieren. Um diese Quelle auszuschalten, ist eine gründliche Entfernung der Schmierschicht notwendig.

Die Schmierschicht ist durch die alleinige Verwendung des Spülmittels NaOCl nicht zu entfernen wie Baumgartner 1984 feststellte (11). Er erzielte 1987 bessere Resultate, indem er NaOCl in Kombination mit Chelatverbindungen (EDTA) oder mit Ultraschall verwendete (12). Durch EDTA werden anorganische Bestandteile innerhalb von 10 min. aufgelöst. Die Spülung mit NaOCl dient zur Beseitigung der im Wurzelkanal verbliebenen organischen Reste. Daher erfolgte hier die Entfernung der Schmierschicht mit einer Kombination von EDTA 17 % und NaOCl von 2,5 %.

5.2.4 Abdichtungsverhalten der verwendeten Materialien und Methoden

5.2.4.1 Abdichtungsverhalten von Gutta-Flow

5.2.4.1.1 Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift (A) versus Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift (B)

Das vom Hersteller als fließfähiges Material proklamierte Gutta-Flow soll durch diese Eigenschaft in die kleinsten Räume des Wurzelkanals eindringen und diese versiegeln. Außerdem sollen auch akzessorische Kanäle obturiert werden. Diese positive Eigenschaft wurde dem Gutta-Flow von Roggendorf et al. zugeschrieben (124). In der vorliegenden Studie galten die röntgenologische Kontrolle, aber auch der Farbstoffpenetrationstest, als Prüfmethode dieses

Abdichtungsverhaltens. Beim Betrachten der Röntgenaufnahmen der mit Gutta-Flow gefüllten Wurzelkanäle waren keine Obturationen von Nebenkanälen des Wurzelkanals mit dem röntgenopaken Material erkennbar. Dies lässt darauf schließen, dass die durch den Hersteller angegebene Fließfähigkeit nicht ausreicht, um dem Material das Eindringen in die kleinen Räume des Wurzelkanals zu erlauben. Bei der Betrachtung der apikalen Region jedoch stellt man anhand der zahlreichen Überfüllungen des Materials fest (Anzahl bei Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift = 3, Anzahl bei Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift = 11), dass ein gewisses Fließverhalten vorhanden ist, um den Hauptkanal abzufüllen. Die Klebeeigenschaft zum Wurzelkanalwanddentin konnte hier die Abdichtung des Hauptkanals unterstützen. Verstärkt wird dieser Effekt durch die nachgewiesene leichte Abbindeexpansion des auf der Basis des Sealers RoekoSeal Automix entwickelten Gutta-Flow.

Der hinsichtlich der Überfüllungen festgestellte signifikante Unterschied zwischen Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift und Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift ($p < 0,05$) ist ein Grund, die Rolle des Guttapercha-Stiftes genauer zu betrachten. Die Applikationstechnik von Gutta-Flow in den Wurzelkanal erfordert eine gewisse Druckerzeugung, wenn ein Wurzelkanal vollständig und ausschließlich mit erweichtem Material ausgefüllt werden soll. Hier kommt dem Instrumentarium eine nicht unerhebliche Rolle zu. Der Kanaltip, der in den Wurzelkanal eingeführt wird, um das erweichte Material einzulassen, erweist sich in dieser Studie als zu dick, um in einen bis zur ISO-Größe 40 aufbereiteten Kanal eingeführt zu werden. Somit wird eine Druckerzeugung nötig. Hinzu kommt die größere Menge, die eingelassen werden muss, um den Kanal bis zum Kanaleingang abzufüllen. Beide Faktoren führten unter dem Verzicht auf einen Guttapercha-Stift zu einer erhöhten Rate an Überfüllungen.

Im Gegensatz dazu waren die Überfüllungen unter Verwendung eines Guttapercha-Stiftes deutlich geringer. Dies lässt sich ebenfalls anhand der beiden oben genannten Faktoren erklären. Hier ist eine höhere Druckerzeugung bei einer kleinen Menge von Gutta-Flow nicht notwendig. Eine

mit leichten Pumpbewegungen durchgeführte Einführung des Guttapercha-Stiftes führt nicht zwangsläufig zur Überfüllung von Gutta-Flow.

Die Verwendung eines Guttapercha-Stiftes wirkt sich auch in Anbetracht der apikalen Dichtigkeit positiv aus. Es wird hier zwar ein geringer Unterschied zugunsten der Gruppe festgestellt, in der ein Guttapercha-Stift zusätzlich verwendet wurde. Dies lässt auf die Rolle des Guttapercha-Stiftes als Kernmasse für eine Wurzelkanalfüllung schließen. Der Kondensationseffekt eines Guttapercha-Stiftes kommt in diesem Zusammenhang zum Vorschein, durch den eine erhöhte Dichtigkeit erzielt wird. Die Notwendigkeit der Verwendung eines Guttapercha-Stiftes im Hinblick auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung steht im Widerspruch zu den Angaben des Herstellers, dass die Schichtdicke von Gutta-Flow keinen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung hat.

Bei einem Behandlungsfall konnten Hornberger und Schumann eine röntgenologisch suffiziente Wurzelkanalfüllung mit Gutta-Flow präsentieren (62). Es fehlte hier jedoch die Langzeitbeobachtung des behandelten Zahnes. Anders als in der vorliegenden Studie wurden dabei die Wurzelkanäle mittels der Crown-down-Technik aufbereitet. Diese hat ein größeres Lumen des aufbereiteten Wurzelkanals als bei der Step-back-Technik zur Folge und somit eine leichtere Gutta-Flow-Applikation.

Es sei noch erwähnt, dass sowohl in der vorliegenden Arbeit als auch beim Behandlungsfall von Hornberger und Schumann röntgenologisch suffiziente Wurzelkanalfüllungen bei der Verwendung von Gutta-Flow zu verzeichnen waren.

5.2.4.1.2 Gutta-Flow versus laterale Kondensation

Die Tatsache, dass in der vorliegenden Studie ein hoch signifikanter Unterschied hinsichtlich der Überfüllungsanfälligkeit zwischen der Gruppe der lateralen Kondensation und der Gruppe B (Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift) besteht, unterstützt die Verwendung der lateralen Kondensation als klassische hochwertige Technik der endodontischen Behandlung.

Das Kondensieren von mehreren Guttapercha-Stiften im Rahmen der lateralen Kondensation bewirkt, dass der überwiegende Hauptanteil der Wurzelkanalfüllmasse aus semisolider Guttapercha besteht. Dadurch wird der Raum, der durch einen Sealer ausgeglichen werden soll und der Effekt der nachteilig auf die Dichtigkeit wirkenden Schrumpfung des Sealers, klein gehalten.

5.2.4.2 Abdichtungsverhalten von Endo-Twinn

5.2.4.2.1 Endo-Twinn ohne Sealer (C) versus Endo-Twinn mit Sealer (D)

Es wurden in den beiden Gruppen C und D keine Überfüllungen verzeichnet. Das liegt wahrscheinlich daran, dass die Plastifizierung der Guttapercha-Stifte innerhalb des Wurzelkanals mittels Endo-Twinn-Obturatorspitzen die Guttapercha zwar erweicht, jedoch reicht diese Erweichung nicht aus, dass das Material über den Apex hinaustritt. Außerdem ist hier eine Druckerzeugung nicht notwendig, um das Material zu kompaktieren.

Hinsichtlich der apikalen Dichtigkeit war ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen nachweisbar. Die Gruppe D, bei der ein Sealer verwendet wurde, zeigte ein deutlich höheres Abdichtungsverhalten als die Gruppe C, bei der ein Sealer fehlte. Die Rolle des Sealers ist hier unübersehbar (siehe 5.2.8).

Es wurde hier der Versuch unternommen, die Bearbeitung der Guttapercha-Stifte mit zweierlei Techniken zu kompaktieren, nämlich die Erweichung durch Erwärmung und dann die Kompaktion durch Vibration. So war trotzdem bei beiden Gruppen durch die röntgenologische Kontrolle keine Obturation von Nebenkanälchen festzustellen.

5.2.4.2.2 Endo-Twinn versus laterale Kondensation

In Bezug auf die apikale Dichtigkeit konnte ein hoch signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe C (Endo-Twinn ohne Sealer) und der Gruppe der lateralen Kondensation festgestellt werden. Die kalte Bearbeitung von Guttapercha-Stiften bei der lateralen Kondensation erzielt einen annähernd gleichen Effekt wie die thermoplastische Bearbeitung der Guttapercha-Stifte durch Endo-Twinn und dessen Vibrationsmodus. Die Verwendung eines Sealers bei der Gruppe D hat sich als vorteilhaft erwiesen. Der große Unterschied zwischen der Gruppe C und der Gruppe der lateralen Kondensation ließ sich deutlich durch die zusätzliche Verwendung eines Sealers in der Gruppe D verringern.

5.2.4.3 Abdichtungsverhalten von Gutta-Flow versus Endo-Twinn

Es ist eine deutliche Überlegenheit des Obturatorsystems Endo-Twinn gegenüber der Gutta-Flow-Technik im Hinblick auf die Überfüllungsanfälligkeit zu verzeichnen. Diese Differenz nimmt ab, wenn zusätzlich ein Guttapercha-Stift bei der Gutta-Flow-Technik verwendet wird.

Der Vergleich zwischen der Gutta-Flow- und der Endo-Twinn-Technik zur Beurteilung des Dichtigkeitsverhaltens lässt sich zwischen der Gruppe A (Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift) und der Gruppe D (Endo-Twinn mit Sealer) vornehmen. In den genannten Gruppen wurden relativ zu den Gruppen B (Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift) und C (Endo-Twinn ohne Sealer) in Bezug auf die apikale Dichtigkeit die besseren Ergebnisse erzielt. Ein Unterschied

zugunsten des Obturatorsystems unter Verwendung eines Sealers war nachweisbar. Daran erkennt man, dass das Endo-Twinn-System von der mechanischen Bearbeitung analog der lateralen Kondensation und der Verwendung eines Sealers profitiert und somit in diesem Zusammenhang der Gutta-Flow-Technik überlegen ist.

5.2.5 Röntgenkontrolle

Wie bereits erwähnt, ist die Röntgenkontrolle ein Teil des Standardisierungsprozesses der Faktoren, die die Dichtigkeitsuntersuchung von Wurzelkanalfüllungen beeinflussen.

Die röntgenologische Beurteilung berücksichtigt die Dichte, die Homogenität und die Länge einer Wurzelkanalfüllung. Der Zusammenhang zwischen dem Kriterium der Dichtigkeit und der röntgenologischen Beurteilung der Wurzelkanalfüllung ist spekulativ (142, 144). Dieses wurde von Dummer et al. (40) bestätigt. Deren Untersuchungen zufolge besteht eine Korrelation zwischen einem höheren Undichtigkeitsverhalten und einer zunehmenden Länge des Wurzelkanals. Dieses gilt vor allem bei geradem Wurzelkanalverlauf. Die Vermutung, dass längere Wurzelkanäle potentiell höhere Kapillarkräfte zulassen als kürzere, erscheint anhand dieser Feststellung plausibel.

Im Gegensatz dazu wurden von Beatty et al. (15) Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse der Länge des Wurzelkanals, aber auch dessen Form, keinen Einfluss auf die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung zusprechen.

In der vorliegenden Studie wurden die zu untersuchenden Zähne deshalb in mesialer und distaler Projektionsrichtung geröntgt, da eine einzelne Projektion für eine umfassende Beurteilung nicht ausreicht. Hinzu kommt, dass die Wurzelkanalfüllung mit einer Röntgenaufnahme in einer zweiten

Projektionsrichtung als dreidimensionales Gebilde betrachtet und deren Suffizienz beurteilt werden kann.

Bei einem Mangel an klinischen Beurteilungsmöglichkeiten der Wurzelkanalfüllung bleibt die Röntgenkontrolle die einzige Methode, mit deren Hilfe eine prognostische Aussage getroffen werden kann. Rezidivbefall und Symptombefreiheit sind retrospektive Beurteilungsmöglichkeiten für eine Wurzelkanalfüllung.

5.2.6 Längenkontrolle

Überfüllungen von erweichten Wurzelkanalfüllmaterialien sind in In-vitro-Studien häufig zu beobachten. So wurden Überfüllungen unter der Verwendung von Thermafil-Obturatoren beobachtet (72, 136, 130). Allerdings hatte Beatty (13) bei der Verwendung von Thermafil keine Überfüllungen festgestellt. Das bestehende Risiko der Überfüllung von erweichten Wurzelkanalfüllmaterialien stellt zweifellos einen Nachteil der Technik oder der Beschaffenheit des Materials dar.

In der vorliegenden Arbeit wurden bei der Wurzelkanalfüllung mit Gutta-Flow unter dem Verzicht auf einen Guttapercha-Stift sehr häufig Überfüllungen des erweichten Materials verzeichnet. So zeigten fast die Hälfte der mit Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift gefüllten Zähne eine Extrusion von Gutta-Flow. Im Vergleich zu dem Endo-Twinn-Obturator und der lateralen Kondensation, bei denen keine Extrusionen beobachtet wurden, besteht ein signifikanter Unterschied hinsichtlich der Überfüllungsanfälligkeit zwischen dieser Technik und den anderen genannten Methoden (Tabelle II).

Das Risiko der Überfüllung ist nicht unbedingt auf klinische Bedingungen übertragbar, zumal der Zahn im Kiefer in einem anatomischen Gebilde eingebettet ist, in dem andere Druckverhältnisse herrschen als die in einer In-vitro-Studie. Dem Druck des mit einem Applikator eingebrachten Gutta-Flow-

Materials würde das parodontale Ligament entgegenwirken und somit die Gefahr einer Überfüllung reduzieren. Die Simulation des parodontalen Ligaments wäre eine Art Standardisierung zwischen einer In-vitro- und einer In-vivo-Studie, welches sich vorteilhaft auf die Vergleichbarkeit der Ergebnisse beider auswirkt. Solange es diese Simulationsmöglichkeit nicht gibt, muss davon ausgegangen werden, dass die Wahrscheinlichkeit der Überfüllung unter der Verwendung von Gutta-Flow-Material erhöht ist.

5.2.7 Farbstoffpenetrationstest

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

- 1) Spaltanalysen unter dem Rasterelektronenmikroskop (149)
- 2) Elektrochemische Verfahren (69)
- 3) Pressluft (107)
- 4) Eindringen von Bakterien (83)
- 5) Penetration radioaktiver Isotope (74)
- 6) Penetration von wässrigen Farbstofflösungen (15).

Diese Methoden wurden vorgenommen, obwohl deren Relevanz von Schuurs et al. (135) und Chong et al. (26) in Frage gestellt wurde.

Die oben genannten Verfahren zur Ermittlung der apikalen Dichtigkeitsgrade von Wurzelkanalfüllungen wurden von Matloff et al. (97) überprüft. Diese kamen zum Ergebnis, dass die sensitivste und geeignetste Methode zur Untersuchung der apikalen Dichtigkeit mit wässrigen Farbstofflösungen durchzuführen ist, da solche Lösungen am weitesten in den Wurzelkanal gelangen.

5.2.7.1 Beurteilung der Farbstoffpenetration

In der vorliegenden Studie dient die lineare Farbstoffpenetration als Maß für die quantitative Beurteilung der apikalen Dichtigkeit. Diese Art der quantitativen Beurteilung findet häufig Verwendung (4). Die Tiefe der Farbstoffpenetration in den Wurzelkanal korreliert mit dem Undichtigkeitsgrad der Wurzelkanalfüllung (164). Die Beurteilung der Farbstoffpenetrationstiefe erfolgte unter dem Mikroskop, da eine rein visuelle Bestimmung zu ungenauen Ergebnissen führen würde. Eine andere quantitative Beurteilungsmethode stellt die volumetrische Beurteilung dar. Diese geht mit einem immensen Auswertungsaufwand einher, der in keinem Verhältnis zum erzielbaren Ergebnis steht. Fehlmessungen, die dadurch resultieren, dass unerwünschte Reste des Farbstoffes in den Dentinkanälchen und auf der Wurzeloberfläche mitgemessen werden, lassen die Methode als ungeeignet erscheinen.

Die duale Beurteilung beider Alternativen wurde von Douglas und Zakariasen vorgenommen (35). Diese Methode basiert auf die Freisetzung des zuvor in Bezug auf die Eindringtiefe linear gemessenen Farbstoffs in Säure. Danach wird der Farbstoff mit einem Spektrophotometer volumetrisch gemessen. Untersuchungen von Beatty et al. (14, 15) ergaben zu dieser Methode sehr unterschiedliche Ergebnisse im Vergleich zu denen von Douglas und Zakariasen. Neuere Untersuchungen, bei denen die gesamte im Wurzelkanal gefärbte Kanalwand ausgewertet wurde (7, 8, 9, 42, 150), sind mit großem Aufwand verbunden und führen im Vergleich mit der linearen Bestimmung der Penetrationstiefe nicht zu präziseren Ergebnissen.

In der einschlägigen Literatur besteht Übereinstimmung darüber, dass die lineare Beurteilung der Farbstoffpenetration eine ausreichende Bewertung der apikalen Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen liefert. Die Ermittlung der Farbstoffpenetrationstiefe kann durch unterschiedliche Verfahren erfolgen. Die oben erwähnte lineare Bestimmung der Farbstoffpenetrationstiefe mittels mikroskopischer Messung bietet eine vorteilhafte Methode, die Messung ohne

Zerstörung der Zähne durchzuführen, indem man die zu untersuchenden Zähne in einem transparenten Zustand überführt (23, 49, 56, 90, 147). Diese Methode wurde von Robertson et al. beschrieben (122). Vorteile dieses Vorgehens sind die dreidimensionale Beurteilung der Farbstoffpenetration und die reproduzierbare Ermittlung des maximalen Farbstoffpenetrationspunktes (151).

Die Aufspaltung der Zähne wurde zur Bestimmung der Farbstoffpenetrationstiefe als Alternative betrachtet (2, 39). Dabei wird zwischen der Aufspaltung in Längs- (68, 121) und Querschnitten (3, 8) unterschieden. Durch die Beurteilung der bestehenden Schnitte wird die maximale Eindringtiefe bestimmt. Ein gravierender Nachteil dieser Methode besteht darin, dass durch die Zerstörung der zu untersuchenden Zähne die vollständige Darstellung der apikalen Undichtigkeiten nicht möglich ist. Außerdem bleiben durch den mit der Aufspaltung verbundenen Substanzverlust Wurzelkanalbereiche unerkant.

5.2.7.2 Größe des Indikators

Die Moleküle chemischer Substanzen und die Bakterienzellen verfügen über unterschiedliche Größen. Bei der Untersuchung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen ist die molekulare Größe des verwendeten Indikators daher ausschlaggebend. Es ist nicht immer die erneute Besiedelung des gefüllten Wurzelkanals durch eindringende Bakterien und ihre Metaboliten, die ein Wiederaufflammen einer entzündlichen Reaktion bewirkt. Kleinere Moleküle, z. B. Nährstoffe wie Zucker, können beim Penetrieren in den obturierten Wurzelkanal den persistierenden Bakterien als Substrat dienen und ihre Vermehrung in Gang setzen. Diese zuvor durch adäquate chemische und mechanische Bearbeitung des Wurzelkanals als isoliert geltende Mikroorganismen können somit ihre pathologische Wirkung erneut entfalten. Die Durchlässigkeit der kleineren Moleküle liegt bei vielen Wurzelkanalfüllungen nach kurzer Zeit vor (71, 74, 75, 76, 113). Dennoch werden 90 % dieser Wurzelkanalfüllungen als adäquat betrachtet (77, 148). Diese, als Widerspruch

erscheinenden Tatsachen, führten zur Theorie des kritischen Schwellenwertes, durch dessen Überschreitung die pathologische Reaktionskaskade ihren Lauf nimmt (78). Die Feststellung von Pashley et al. (115), nach der kleinere Moleküle 100fach tiefer in den gefüllten Wurzelkanal eindringen als größere, lässt die Frage nach dem verwendeten Indikator in Bezug auf seine Molekülgröße wichtig erscheinen.

Da also eine möglichst dichte Wurzelkanalfüllung eine hemmende Wirkung auf die Penetration von Molekülen hat, ist für die Beurteilung der Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung eine möglichst kleine Molekülgröße des Indikators sinnvoll (164).

5.2.7.3 Art des Indikators

Farbstoffe wie Methylenblau, Eosin, Safran und Radioisotope wie Jod, Schwefel und Kalzium wurden für Dichtigkeitstests verwendet. Der Vergleich zwischen den Isotopen und den Farbstoffen bei der linearen Messung der Undichtigkeit an denselben Zähnen ergab, dass die Verteilung der Farbstoffe in dem Freiraum der Undichtigkeiten gleichmässig war. Im Gegensatz dazu wurde die höchste Konzentration der Isotope apikal und die niedrigste koronal gemessen. Außerdem vermochten die Farbstoffe tiefer in den Wurzelkanal zu penetrieren als die Isotope. Dieses stellten Matloff et al. fest (97).

5.2.7.4 Farbstoffe

Es werden zum Farbstoffpenetrationstest verschiedene Farbstoffe verwendet. Hier sind die schwarze Tusche (4, 5, 63), Rhodamin B (106) und wie in der vorliegenden Studie Methylenblau (143) zu erwähnen.

Der am meisten verwendete Farbstoff ist die Methylenblaulösung (152). Sein geringes Molekulargewicht erlaubt diesem Farbstoff, tiefer in den Wurzelkanal einzudringen als die schwarze Tusche (2). In diesem Zusammenhang lässt sich

die Frage nach der klinischen Relevanz dieser Eigenschaft stellen, ob der Einsatz eines Farbstoffes sinnvoll ist, der ein geringeres Molekulargewicht aufweist als das der Bakterien und somit für In-vivo-Bedingungen ungeeignet ist. Diese Überlegung ist irrelevant in Anbetracht der Tatsache, dass - wie schon erwähnt - nicht nur Bakterien und deren Metaboliten, sondern auch kleinmolekulare Stoffe das pathologische Geschehen provozieren.

Es wird vermutet, dass ein ähnliches Kriechverhalten von Methylenblau und der Buttersäure, einem Mikroorganismenmetaboliten, besteht (78). Daher eignet sich Methylenblau als Indikator zur Beurteilung der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen. Die Säurehaltigkeit einer wässrigen Methylenblaulösung wirkt sich bei der Entkalkung der Zähne nachhaltig aus (151). Dies würde die Auflösung von Methylenblaupartikeln bewirken und somit die Festlegung des Endpunktes der Farbstoffpenetration erschweren.

5.2.8 Die Wurzelkanalfüllpaste (Sealer) und die apikale Dichtigkeit

Die Wurzelkanalfüllpaste erweist sich als unentbehrlicher Bestandteil einer erfolgreich hergestellten Wurzelkanalfüllung. Eine ausschließlich aus Guttapercha-Material bestehende Wurzelkanalfüllung ist nicht in der Lage, den Wurzelkanal hermetisch abzudichten, zumal die Guttapercha an der Wurzelkanalwand nicht haftet. Daher würde die zusätzliche Verwendung eines Sealers eine optimale Abdichtung des Wurzelkanals ermöglichen (16).

Bei der lateralen Kondensation als Kaltfülltechnik des Wurzelkanals wird durch die Kondensation genormter Guttapercha-Stifte eine Verdichtung des Guttapercha-Materials vorgenommen, mit deren Hilfe eine Steigerung der Dichtigkeit erzielt wird. Die Veränderung des molekularen Gefüges, die mit Spreadern durchgeführt wird, wird somit jedoch nicht erreicht (51, 131). Das Versiegeln von Nebenkanälchen des Wurzelkanals und das Obturieren von Dentintubuli kann durch dieses Vorgehen nicht realisiert werden. Der Gebrauch eines Sealers bei der Kaltfülltechnik scheint daher erforderlich zu sein.

Untersuchungen an thermoplastischen Füllungstechniken wie die Ultrafil-Technik schreiben dem Sealer zwar eine unterstützende Rolle des Fließverhaltens des erwärmten und erweichten Guttapercha-Materials zu. Demzufolge verhindert allerdings der Gebrauch eines Sealers das Einfließen von Guttapercha in die Dentintubuli. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen ergaben eine ausgeprägte Undichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen, bei denen ein Sealer verwendet wurde (103).

Es sind zahlreiche Studien durchgeführt worden, bei denen die Notwendigkeit der Verwendung eines Sealers bei thermoplastischer Füllmethoden bestätigt wurden (19, 41, 50, 73, 114, 150, 130). In der vorliegenden Studie konnte beobachtet werden, dass die Verwendung eines Sealers unentbehrlich ist für eine dichte thermoplastisch hergestellte Wurzelkanalfüllung. Der signifikante Unterschied zwischen der Gruppe D (Endo-Twinn mit Sealer) und der Gruppe C (Endo-Twinn ohne Sealer) lässt in diesem Zusammenhang auf die entscheidende Rolle des Sealers schließen. Dieses erklärt sich damit, dass die thermoplastisch veränderte Guttapercha bei der Erwärmung expandiert und dann durch das Abkühlen schrumpft und an Volumen verliert. Dieses fehlende Volumen wird durch die Wurzelkanalfüllpaste kompensiert (19). Die Tatsache, dass thermoplastisch verarbeitete Wurzelkanalfüllmaterialien beim Abkühlen schrumpfen, und dass die verwendeten Sealer unter klinischen Bedingungen durch Gewebeflüssigkeiten zum Teil resorbiert werden (117), begründet die Beobachtung, dass bei der Verwendung kleinerer Mengen an Sealer-Material geringere Farbstoffpenetrationstiefen festgestellt werden als bei größeren Mengen (53). Die Langzeitstudien von Wurzelkanalfüllungen, die mit dünnen Sealer-Schichten durchgeführt wurden, wiesen bessere Erfolgsraten auf (165). Daher wurde in der vorliegenden Studie der Sealer AH Plus in der Gruppe D (Endo-Twinn mit Sealer) möglichst dünn auf die Guttapercha-Stifte aufgetragen. Das optimale Verhältnis zwischen Guttapercha zum Sealer liegt bei 99:1 (88). Hinzu kommt, dass eine nach Herstellerangaben empfohlene Konsistenz des angemischten Sealers anzustreben ist. Dadurch wird eine Verschiebung des Verhältnisses zwischen den Komponenten des Sealers zugunsten einer

einzelnen Komponente verhindert und damit die Folge einer unerwünschten verstärkten Resorption oder aber übermässigen Schrumpfung unterbunden. Die Abdichtungsfähigkeit des Sealers wäre andernfalls vermindert (17). Die vorgesehene Konsistenz ist bei der Gutta-Flow-Technik durch das automatische Anmischen des in Kapseln gelieferten Materials erreichbar. Beim manuellen Anmischen des Sealers AH Plus wurden die Herstellerangaben beachtet.

Die Abdichtungsfunktion des Sealers hängt davon ab, welcher Sealer hierfür ausgewählt wird. Die Untersuchung des Sealers RSA RoekoSeal Automix ist für die vorliegende Studie deshalb insofern von großer Relevanz, als dass das hier untersuchte Material Gutta-Flow auf der Basis des oben genannten Sealers entwickelt wurde. Je größer die verwendete Menge von Gutta-Flow ist, desto höher ist die Schrumpfung. Daher wurde Guttapercha in Pulverform beigemischt, um dieser Schrumpfung entgegenzuwirken. Im Vergleich zu anderen Sealern wie AH 26 und AH Plus erzielt RoekoSeal hinsichtlich der apikalen Dichtigkeit tendenziell die besten Ergebnisse. Dieses stellte Schäfer fest (130). Als Grund dafür wurde der korrekte Anmischvorgang genannt, der mit Hilfe eines Zweikammerapplikators automatisch durchgeführt wurde. Diese Feststellung stimmt mit jener anderer Studien überein, die dem auf Silikonbasis entwickelten Sealer RoekoSeal ein gutes Abdichtungsverhalten zusprechen (41, 43). Beim Vergleich zwischen AH Plus und AH 26 wurden bei der lateralen Kondensation hinsichtlich der Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung bessere Ergebnisse erzielt, wenn man AH 26 benutzte (167). Diesen Ergebnissen stehen andere gegenüber, die unabhängig von der Wurzelkanalfülltechnik keine signifikanten Unterschiede in Bezug auf die apikale Dichtigkeit zwischen AH Plus und AH 26 festgestellt hatten (130).

5.2.9 Schlußfolgerung

Anhand der Ergebnisse der vorliegenden In-vitro-Studie ist festzustellen, dass die kalte laterale Kondensation als der Goldstandard der Wurzelkanalfülltechniken gilt. Diese ist im Vergleich zu anderen Wurzelkanalfülltechniken am geeignetsten, um einen vollständigen hermetischen Verschluss des Wurzelkanalsystems zu erreichen. Die Wurzelkanalfüllung mit Endo-Twinn ist nur dann als Alternative zu betrachten, wenn ein nicht resorbierbarer Sealer verwendet wird. Die Gutta-Flow-Technik ist nur unter der Verwendung eines zusätzlichen Guttapercha-Stiftes als akzeptable Wurzelkanalfülltechnik anzusehen. Dies entspricht der Stellungnahme der DGZMK (145), nach der die Wurzelfüllung hauptsächlich aus einem (halb-)festen Kernmaterial in Form eines (oder mehrerer) Wurzelkanalfüllstifte(s) (WF-Stift) in Kombination mit einer erhärtenden Wurzelkanalfüllpaste (WF-Paste = Sealer) bestehen sollte. Auch hier sind weichbleibende WF-Pasten zum definitiven Verschluss eines Wurzelkanals ebenso wenig geeignet, wie Wurzelkanalfüllungen, die nur aus einer Paste (ohne Stifte) bestehen.

Die Beurteilung des klinischen Verhaltens von Wurzelkanalfüllungen, die mit Gutta-Flow oder mittels Endo-Twinn hergestellt werden, soll anhand von In-vivo-Studien abgewartet werden.

6 Zusammenfassung

In dieser In-vitro-Studie wurden extrahierte menschliche Zähne mit geraden Wurzelkanälen mit Gutta-Flow als Kaltfüllsystem, mit Endo-Twinn-Obturatorssystem und mittels der lateralen Kondensation gefüllt und hinsichtlich des Dichtigkeitsgrades untersucht und beurteilt.

Die Studie umfasste insgesamt 120 extrahierte menschliche Zähne, die in sechs Testgruppen à 20 Zähne eingeteilt wurden. Die sechste Gruppe wurde in zwei Untergruppen à 10 Zähne für die negative und die positive Kontrolle aufgeteilt. Die Wurzelkanalfüllungen wurden in den verschiedenen Gruppen wie folgt hergestellt:

Gruppe A: Gutta-Flow mit Guttapercha-Stift.

Gruppe B: Gutta-Flow ohne Guttapercha-Stift.

Gruppe C: Das Obturator Endo Twinn ohne Sealer.

Gruppe D: Das Obturator Endo Twinn mit Sealer (AH Plus).

Gruppe E: Herkömmliche laterale Kondensation mit Sealer (AH Plus).

Gruppe F: Aufgeteilt in die negative und positive Kontrolle.

Alle Zähne wurden manuell mit K-Flexofiles bis zur ISO-Größe 40 aufbereitet. Nach der jeweiligen Füllung und dem provisorischen Verschluss mit Cavit wurden alle Zähne für 48 Stunden in Methylenblau gelagert und für das Ausmessen der maximalen Farbstoffpenetration durch Entkalkung in einen transparenten Zustand überführt. Die Studie führte zu folgenden Ergebnissen:

1. Hinsichtlich der Anzahl der Wurzeln mit überstopftem Füllmaterial:
 - a) Bei der Gutta-Flow-Technik war ein signifikanter Unterschied ($p = 0,253$) zwischen der Gruppe A und den Gruppen C, D und E nicht feststellbar.
 - b) Es bestand ein hoch signifikanter Unterschied zwischen der Gruppe B und den Gruppen C, D und E ($p < 0,001$).

- c) Zwischen der Gutta-Flow- und der Endo-Twinn-Technik konnte ein signifikanter Unterschied von $p < 0,05$ zugunsten der Endo-Twinn-Technik verzeichnet werden.

2. Hinsichtlich der Dichtigkeit:

- a) Die Gruppe E zeigte die besten Ergebnisse. Es bestand ein hoch signifikanter Unterschied zwischen dieser Gruppe und den Gruppen A, B und C ($p < 0,01$). Allerdings bestand ein geringerer Unterschied im Vergleich zu der Gruppe D, bei der die Wurzelkanalfüllung mittels Endo-Twinn-Obturator unter der Verwendung eines Sealers hergestellt wurde ($p = 0,301$).
- b) Ein signifikanter Unterschied wurde zwischen der Gruppe C und D zugunsten der Gruppe D verzeichnet ($p < 0,05$).

- 3. Die kalte laterale Kondensation mit genormten Guttapercha-Stiften erzielt die beste Abdichtung des Wurzelkanals im Vergleich zu den anderen aufgeführten Techniken. Damit gilt sie als der Goldstandard der Wurzelkanalfülltechniken.

7 Literaturverzeichnis

1. Adenubi, J. O., Rule, D. C.:
Success rate for root fillings in young patients.
Brit Dent J 141, 237 – 241 (1976).
2. Ahlberg, K. M., Assavanop, P., Tay, W. M.:
A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth.
Int Endod J 28, 30 – 34 (1995).
3. Alexander, J. B., Gordon, T. M.:
A comparison of the apical seal produced by two calcium hydroxide sealers and a Grossman-type sealer when used with laterally condensed gutta-percha.
Quintessence Int 9, 615 – 621 (1985).
4. Attin, T., Kielbassa, A. M., Lübke, T., Schulte-Mönting, J., Hellwig, E.:
Wurzelkanalfüllungen mit Glasionomerzement-Sealern.
Acta Med Dent Helv 1, 7 – 12 (1996).
5. Attin, T., Rettig, P., Hilgers, R. D., Hellwig, E.:
Die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen. Thermafil versus Zentralstifttechnik.
Dtsch Zahnärztl Z 49, 955 – 958 (1994).
6. Barkhordar, R. A., Goodis, H. E., Watanabe, L., Koumdijian, J. :
Evaluation of temperature rise on the outer surface of teeth during root canal obturation techniques.
Quintessence Int 21, 585 – 588 (1990).
7. Barthel, C., R., Kautz, H., Roulet, J. F.:
Dichtigkeit thermoplastischer Füllungen in geraden und gekrümmten Kanälen in vitro.

- Dtsch Zahnärztl Z 49, 939 – 942 (1994).
8. Barthel, C. R., Lösche, G. M., Zimmer, S., Roulet, J. F.:
Dye penetration in root canals filled with AH 26 in different consistencies.
J Endod 20, 436 – 439 (1994).
 9. Barthel, C. R., Noack, M. J., Roulet, J. F.:
Die Dichtigkeit von Ketac Endo und AH 26 in Abhängigkeit von der
Wurzelfülltechnik in vitro.
Dtsch Zahnärztl Z 49, 285 – 288 (1994).
 10. Baumgardner, K. R., Krell, K. V.:
Ultrasonic condensation of gutta-percha: An in vitro dye penetration and
scanning electron microscopic study.
J Endod 16, 253 – 259 (1990).
 11. Baumgartner, J. C., Braun, C., Mader, C., Peters, D., Shulman, J.:
A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement
using saline, sodium hypochlorite and citric acid.
J Endod 10, 525 – 531 (1984).
 12. Baumgartner, J.C., Mader, C. C.:
A scanning electron microscopic evaluation of four root canal irrigation
regiments.
J Endod 13, 147 - 157 (1987).
 13. Beatty, R. G., Baker, P. S., Haddix, F., Hart, F.:
The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apical
dye penetration.
J Am Dent Assoc 119, 633 – 637 (1989).
 14. Beatty, R. G., Vertucci, F. J., Zakariasen, K. L.:
Apical sealing efficacy of endodontic obturation techniques.

- Int Endod J 19, 237 – 241 (1986).
15. Beatty, R. G., Zakariasen, K. L.:
Apical leakage associated with three obturation techniques in large and small root canals.
Int Endod J 17, 67 – 72 (1984).
 16. Beer, R., Gängler, P., Beer, M.:
In-vitro Untersuchungen unterschiedlicher Wurzelkanalfülltechniken und –materialien.
Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde 74, 800 – 806 (1986).
 17. Benatti, O., Stolf, W. L., Ruhnke, L. A.:
Verification of the consistency, setting time, and dimensional changes of root canal filling materials.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 46, 107 – 113 (1978).
 18. Benner, M. D., Peters, D. D., Grower, M., Bernier, W. E.:
Evaluation of a new thermoplastic gutta-percha obturation technique using ⁴⁵Ca.
J Endod 7, 500 – 508 (1981).
 19. Bhambhani, S. M., Sprechman, K.:
Microleakage comparison of Thermafil versus vertical condensation using two different sealers.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 78, 105 – 108 (1994).
 20. Bowman, C., Baumgartner, J. G. :
Gutta-percha obturation of lateral grooves and depressions.
J Endod 28, 220 – 223 (2003).
 21. Bradshaw, G. B., Hall, A., Edmunds, D. H.:
The sealing ability of injection-molded thermoplasticized gutta-percha.

- Int Endod J 22, 17 – 20 (1989).
22. Brothman, P.:
A comparative study of the vertical and the lateral condensation of gutta-percha.
J Endod 7, 27 – 30 (1981).
23. Buchalla, W., Attin, T., Brücklmaier, R., Hellwig, E.:
Computergestützte Methode zur quantitativen Bestimmung der apikalen Undichtigkeiten in Wurzelkanalfüllungen.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 244 – 248 (1999).
24. Buchanan, L. S.:
The continuous wave of obturation technique: “centered” condensation of warm gutta-percha in 12 s.
Dentistry Today, 60 – 67, Jan (1996).
25. Byström, A., Claesson, R., Sundqvist, G.:
The antibacterial effect of camphorated paramonochlorphenol, camphorated phenol and calcium hydroxide in the treatment of infected root canals.
Endod Dent Traumatol 1, 170 - 175 (1985).
26. Chong, B. S., Pitt Ford, T. R., Watson, T. F., Wilson, R. F.:
Sealing ability of potential retrograde root filling materials.
Endod Dent Traumatol 11, 264 – 269 (1995).
27. Clark, D. S., El Deeb, M. E.:
Apical sealing ability of metal versus plastic carrier Thermafil obturators.
J Endod 19, 4 – 9 (1993).
28. Cobankara, F. K., Adanir, N., Beli, S., Pashley, D. H.:
A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers.

- Int Endod J 35, 979 – 984 (2002).
29. Cooke, H. G., Grower, M. F., del Rio, C. E.:
Effects of instrumentation with a chelating agent on the periapical seal of obturated root canals.
J Endod 2, 312 - 314 (1976).
 30. Czonstkowsky, M., Michanowicz, A., Vazquez, J. A.:
Evaluation of an injection of thermoplasticized low temperature gutta-percha using radioactive isotopes.
J Endod 11, 71 – 74 (1985).
 31. Dakin, H. D.:
On the use of certain antiseptic substances in treatment of infected wounds.
Br Med J 2, 318 - 320 (1915).
 32. Dakin, H. D.:
The behavior of hypochlorites in intravenous infection and their action on blood serum.
Brit Med J I, 852 (1916).
 33. Davis, S. R., Brayton, S. M., Goldman, M.:
The morphology of the prepared root canal: a study utilizing injectable silicone.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 34, 642 – 648 (1972).
 34. Delivanis, P. D., Mattison, G. D., Mendel, R. W.:
The survivability of F43 strain of Streptococcus sanguis in root canals filled with gutta-percha and Procosol cement.
J Endod 9, 407 – 410 (1983).
 35. Douglas, W., H., Zakariasen, K. L.:
Apical leakage utilizing a spectrophotometric dye recovery method.

- J Dent Res 60A, 438, Abstract 538 (1981).
36. Dow, P. R., Ingle, J. I.:
Isotope determination of root canal failure.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 8, 1100 – 1104 (1955).
37. Drake, D. R., Wiemann, A. H., Rivera, E. M., Walton, R. E.:
Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer.
J Endod 20, 78 – 82 (1994).
38. DuLac, K. A., Nielsen, C. J., Tomazic, T. J., Ferrillo, P. J. Jr., Hatton, J. F.:
Comparison of the obturation of lateral canals by six techniques.
J Endod 25, 376 – 380 (1999).
39. Dummer, P. M., Lyle, L., Rawle, J., Kennedy, J. K.:
A laboratory study of root fillings in teeth obturated by lateral condensation
of gutta-percha or Thermafil obturators.
Int Endod J 27, 32 – 38 (1994).
40. Dummer, P. M., McGinn, J. H., Rees, D. G.:
The position and topography of the apical canal constriction and apical
foramen.
Int Endod J 17, 192 – 198 (1984).
41. Ebert, J., Loeffler, T., Zels, H., Petschelt, A.:
Sealing ability of roekoseal-automix under different conditions.
J Dent Res 78, 320, Abstract 1715 (1999).
42. Ebert, J., Mergner, R., Petschelt, A.:
Dichtigkeit zweier neuer Wurzelfüllmaterialien.
7. Jahrestagung DGZ, Göttingen, Poster 10 (1993).
43. Ebert, J., Petschelt, A.:
Sealing ability of a new silicone-based sealer under different conditions.

- Int Endod J 31, 194, Abstract (1998).
44. El Deeb, M., Zucker, K. J., Messer, H.:
Apical leakage in relation to radiographic density of gutta-percha using different obturation techniques.
J Endod 11, 25 – 29 (1985).
45. Eldeniz, A. U., Erdemir, A., Hadimli, H. H., Belli, S., Erganis, O.:
Assessment of antibacterial activity of EndoREZ using DCT and ADT.
Abstract # 2855, IADR (2004).
46. Endotec Thermal Endodontic Condenser System. The warm lateral condensation technique clinical manual.
Dentsply Int Inc., Milford DE: L. D. Caulk Division (1986).
47. Floren, J. W., Weller, R. N., Pashley, D. H., Kimbrough, W. F.:
Changes in root surface temperatures with in vitro use of the System B HeatSource.
J Endod 25, 593 – 595 (1999).
48. Gençoglu, N., Türkmen, C., Ahiskali, R.:
A new silicon-based root canal sealer (RoekoSeal®-Automix).
J Oral Rehabil 30, 753 – 755 (2003).
49. Gilhooly, R. M., Hayes, S. J., Bryant, S. T., Dummer, P. M.:
Comparison of cold lateral condensation and a warm multiphase gutta-percha technique for obturating curved root canals.
Int Endod J 33, 415 – 420 (2000).
50. Goldberg, F., Massone, E. J., Artaza, L. P.:
Comparison of the sealing capacity of three endodontic filling techniques.
J Endod 21, 1 – 3 (1995).

51. Goodman, A., Schilder, H., Aldrich, W.:
The thermomechanical properties of gutta-percha. Part IV. A thermal profile of the warm gutta-percha packing procedure.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 51, 544 – 551 (1984).
52. Green, D.:
A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 9, 1224 – 1232 (1956).
53. Greene, H. A., Wong, M., Ingram, T. A.:
Comparison of the sealing ability of four obturation techniques.
J Endod 9, 423 – 428 (1990).
54. Grossmann, L. I., Oliet, S., del Rio, C. E.:
Endodontic Practice, Philadelphia, USA, 234 – 241, 242 - 270 (1988).
55. Grossmann, L. I.:
Root canal therapy.
Lea & Febiger, Philadelphia, S. 189 (1940).
56. Gulabivala, K., Holt, R., Long, B.:
An in vitro comparison of thermoplasticized gutta-percha obturation techniques with cold lateral condensation.
Endod Dent Traumatol 14, 262 – 269 (1998).
57. Gutmann, J. L.:
Adaption of injected thermoplasticized gutta-percha in the absence of the smear layer.
Int Endod J 26, 87 – 92 (1993).
58. Gutmann, J. L., Rakusin, H.:
Perspectives on root canal obturation with thermoplasticized injectable gutta-percha.

- Int Endod J 20, 261 – 270 (1987).
59. Hardie, E. M.
Heat transmission to the outer surface of the tooth during the thermo-mechanical compaction technique of root canal obturation.
Int Endod J 19, 73 – 77 (1986).
60. Hermann, B. W.:
Biologische Wurzelbehandlung.
Kramer, Frankfurt am Main (S. 109, 129, 131, 137) (1936).
61. Hess, J. C., Culieras, M. J., Lamiabile, N. :
A scanning electron microscopic investigation of principal and accessory foramina on the root surfaces of human teeth : thoughts about endodontic pathology and therapeutics.
J Endod 9, 275 – 281 (1983).
62. Hornberger, B., Schumann, U. :
Neues Material für Wurzelfüllungen.
Endodontie 4, 32 – 33 (2004).
63. Horning, T. G., Kessler, J. R.:
A comparison of three different root canal sealers when used to obturate a moisture-contaminated root canal cements.
J Endod 21, 345 – 347 (1995).
64. Il-Y, J., Sun, B. L., Eui, S. J., Chan Y. L, Seung, J. L. :
Effect of different temperatures and penetration depths of a System B plugger in the filling of artificially created oval canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 96, 453 – 457 (2003).
65. Ingle, J. I., Beveridge, E. E.:
Endodontics.

- Lea & Febiger, Philadelphia, S. 51 (1976).
66. Ingle, J. I., Taintor, J. F.,
Endodontics.
3. Aufl. Lea & Febiger, Philadelphia, S. 36 (1985).
67. Ingle, J. I.:
A standardized endodontic technique utilizing newly designed instruments
and filling materials.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 14, 83 – 91 (1961).
68. Jacobsen, E. L., Shugars, K. A.:
The sealing efficacy of a zinc oxide-eugenol cement, a cyanoacrylate, and
a cavity varnish used as a root canal cements.
J Endod 16, 516 – 519 (1990)
69. Jacobson, S. M., von Fraunhofer, J. A.:
The investigation of microleakage in root canal therapy. An electrochemical
technique.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 42, 817 – 823 (1976).
70. Johnson, W. B.:
A new gutta-percha technique.
J Endod 4, 184 – 188 (1978).
71. Johnson, W. T., Zakariasen, K. L.:
Spectrophotometric analysis of mikroleakage in the fine curved canals
found in the mesial roots of mandibular molars.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 56, 305 – 309 (1983).
72. Juhlin, J. J., Walton, R. E., Dovgan, J. S.:
Adaption of Thermafil components to canal walls.
J Endod 19, 130 – 135 (1993).

73. Jung, C., Baumann, M. A., Hilgers, R. D.:
Apical leakage of Thermafil versus lateral condensation after treatment with ProFile.04.
J Dent Res 78, 533 (Abstract #3423), (1999).
74. Kapsimalis, P., Evans, R.:
Sealing properties of endodontic filling materials using radioactive polar and nonpolar isotopes.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 22, 386 – 393 (1966).
75. Kennedy, W. A., Walker, W. A., Gough, R. W.:
Smear layer removal effects on apical leakage.
J Endod 12, 21 – 27 (1986).
76. Kerekes, K., Rowe, A. H.:
Thermo-mechanical compaction of gutta-percha root filling.
Int Endod J 15, 27 – 35 (1982).
77. Kerekes, K., Tronstad, L.:
Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique.
J Endod 5, 83 – 90 (1979).
78. Kersten, H. W., Moorer, W. R.:
Particles and molecules in endodontic leakage.
Int Endod J 22, 118 – 124 (1989).
79. Khayat, A., Lee, S. J., Torabinejad, M.:
Human saliva penetration of coronally unsealed obturated root canals.
J Endod 19, 458 – 461 (1993).
80. Kockapan, C.:
Oberflächenstruktur der Kanalwand nach Aufbereitung mit vibrierenden Instrumenten.

- Dtsch Zahnärztl Z 41, 778 – 782 (1986).
81. Kockapan, C.:
Elektronenmikroskopische Untersuchungen über die Struktur der Schmierschicht.
Dtsch Zahnärztl Z 42, 1028 – 1034 (1987).
82. Kockapan, C.:
Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung – Eine Übersicht.
Endodontie 4, 33 (1995).
83. Kos, W. L., Aulozzi, D. P., Gerstein, H.:
A comparative bacterial microleakage study of retrofilling materials.
J Endod 8, 355 – 358 (1982).
84. Kuttler, Y.:
Analysis and comparison of root canal filling techniques.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 48, 153 – 159 (1979).
85. KZBV-Jahrbuch 97:
Statistische Basisdaten zur vertragszahnärztlichen Versorgung.
Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, Köln (1997).
86. Langeland, K., Langeland, L. K., Anderson, D. M.:
Corticosteroids in dentistry: biological effects of corticosteroids in pulp and periapical tissues.
Int Dent J 27, 217 – 251 (1977).
87. Langeland, K., Langeland, L. K.:
Indirect capping and the treatment of deep carious lesions.
Int Dent J 18, 326 - 380 (1968).

88. Langeland, K.:
Root canal sealants and pastes.
Dent Clin North Am 18, 309 – 327 (1974).
89. Langeland, K., Liao, K., Pascon, E. A.:
Work saving devices in endodontics: efficacy of sonic and ultrasonic instruments.
J Endod 11, 499 – 510 (1985).
90. Leung, S. F., Gulabivala, K.:
An in-vitro evaluation of the influence of canal curvature on the sealing ability of Thermafil.
Int Endod J 27, 190 – 196 (1994).
91. Lin, L., Shovlin, F., Skribner, J., Langeland, K.:
Pulp biopsies from the teeth associated with periapical radiolucency.
J Endod 10, 436 – 448 (1984).
S. 91 / 1.3
92. Maden, M., Gorgul, G., Tinaz, A. C.:
Evaluation of apical leakage of root canals obturated with Nd:YAG laser-softened gutta-percha, System-B, and lateral condensation techniques.
J Contemp Dent Pract 3, 16 – 26 (2002).
93. Madison, S., Krell, K. V.:
Comparison of ethylenediamine tetraacetic acid and sodium hypochlorite on the apical seal of endodontically treated teeth.
J Endod 10, 499 – 503 (1984).
94. Marciano, J., Michalesco, P., Abadie, M. J.:
Stereochemical structure characterization of dental gutta-percha.
J Endod 19, 31 – 34 (1993).

95. Mader, C. L., Baumgartner, J. C., Peters, D. D.:
Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls.
J Endod 10, 477 – 483 (1984).
96. Marlin, J., Schilder, H.:
Physical properties of gutta-percha when subjected to heat and vertical condensation.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 36, 872 – 879 (1973).
97. Matloff, I. R., Jensen, J. R., Singer, L., Tabibi, A.:
A comparison of methods used in root canal sealability studies.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 53, 203 – 208 (1982).
98. McComb, D., Smith, D. C.:
Comparison of physical properties of polycarboxylate-based and conventional root canal sealers.
J Endod 2, 228 – 235 (1976).
99. McMurtrey, L. G., Krell, K. V., Wilcox, L. R.:
A comparison between Thermafil and lateral condensation in highly curved canals.
J Endod 18, 68 – 71 (1992).
100. Meryon, S. D., Brook, A. M.:
Penetration of dentine by three oral bacteria in vitro and their associated cytotoxicity.
Int Endod J 23, 196 – 202 (1990).
101. Meyer, W.:
Die Anatomie der Wurzelkanäle, dargestellt an mikroskopischen Rekonstruktionsmodellen.
Dtsch Zahnärztl Z 25, 1064 – 1077 (1970).

102. Michanowicz, A., Czonstkowsky, M.:
Sealing properties of an injection-thermoplasticized low-temperature (70 degrees C) gutta-percha: a preliminary study.
J Endod 10, 563 - 566 (1984).
103. Michanowicz, A. E., Czonstkowsky, M., Piesco, N. P.:
Low-temperature (70 degrees C) injection gutta-percha: a scanning electron microscopic investigation.
J Endod 12, 64 – 67 (1986).
104. Miller, W. D.:
An introduction to the study of the bacterio-pathology of the dental pulp.
Dent. Cosmos 36, 505 – 528 (1894).
105. Molven, O., Halse, A.:
Success rates for gutta-percha and Kloroperka N-Ø root fillings made by undergraduate students: radiographic findings afer 10 – 17 years.
Int Endod J 21, 243 – 250 (1988).
106. Naegly, R. L.:
The effect of dowel preparation on the apical seal of endodontically treated teeth.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 28, 739 – 745 (1969).
107. Nielson, T. H.:
Sealing ability of chelate root filling cements: the triple CA-test using compressed air. Part 3.
J Endod 6, 835 – 841 (1980).
108. Noyes, E.:
Fifty years of root-canal fillings.
J Am Dent Assoc 1, 784 – 794 (1922).

109. O'Neill, K. J., Pitts, D. L., Harrington, G. W.:
Evaluation of the apical seal produced by the McSpadden compactor and by lateral condensation with a chloroform-softened primary cone.
J Endod 9, 190 – 197 (1983).
110. Ödesjö, B., Heldén, L., Salonen, L., Langeland, K.:
Prevalence of previous endodontic treatment, technical standard and occurrence of periapical lesions in randomly selected adult general population.
Endod Dent Traumatol 6, 265 – 272 (1990).
111. Ørstavik, D., Nordahl, I., Tibballs, J. E.:
Dimensional change following setting of root canal sealer materials.
Dent Mater 17, 512 – 519 (2001).
112. Ørstavik, D.:
Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water.
Scand J Dent Res 91, 316 – 319 (1983).
113. Osins, B. A., Carter, J. M., Shih-Levine, M.:
Mikroleakage of four root canal sealer cements as determined by an electrochemical technique.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 56, 80 – 88 (1983).
114. Pallarés, A., Faus, V.:
A comparative study of the sealing ability of two root canal obturation techniques.
J Endod 21, 449 – 450 (1995).
115. Pashley, D. H., Livingstone, M. J.:
Effect of molecular size on permeability coefficients in human dentin.
Arch Oral Biol 23, 391 – 395 (1978).
116. Pawlicka, H., Ebert, J., Petschelt, A.:

- Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen mit AH 26 im zentrifugationsbeschleunigten Penetrationstest. Teil I: Einfluß von Zahnauswahlkriterien.
Endodontie 4, 305 – 312 (1996).
117. Peters, D. D. :
Two-year in vitro solubility of four gutta-percha sealer obturation techniques.
J Endod 12, 139 – 145 (1986).
118. Petschelt, A.:
Zur Schmierschicht und Dentinfeuchtigkeit nach der Wurzelkanalbehandlung.
Dtsch Zahnärztl Z 43, 1139 – 1147 (1988).
119. Petschelt, A., Oberschachtsiek, H.:
Über die Schmierschicht („Smear-Layer“) nach der Wurzelkanalaufbereitung (REM-Untersuchung).
Dtsch Zahnärztl Z 40, 845 – 849 (1985).
120. Pichler, H.:
Die quantitative Seite des Problems der Wurzelbehandlung.
Z Stomatol 28, 279 – 284 (1930).
121. Pitt Ford, T. R.:
The leakage of root fillings using glass ionomer cement and other materials.
Brit Dent J 146, 273 – 278 (1979).
122. Robertson, D., Leeb, I. J., McKee, M., Brewer, E.:
A clearing technique for the study of root canal systems.
J Endod 6, 421 – 424 (1980).

123. Roggendorf, M. J., Ebert, J., Schulz, C, Frankenberger, R., Petschelt, A.:
Microleakage of five root canal sealers in dry and wet root canals.
Abstract # 2678. J Dent Res 82 (Spec Iss B) B-345 (2003).
124. Roggendorf, M. J., Ebert, J., Schulz, C., Petschelt, A.:
Microleakage evaluation of polyvinyl-siloxane-based endodontic filling
materials using various filling methods.
Abstract # 971. The 32nd Annual Meeting of the AADR, March, 12 – 15,
San Antonio, USA (2003).
125. Romero, A. D., Green, D. B., Wucherpfennig, A. L.:
Heat transfer to the periodontal ligament during root obturation procedures
using an in vitro model.
J Endod 26, 85 – 87 (2000).
126. Russin, T. P., Zardiackas, L. D., Reader, A., Mencke, R. A.:
Apical seals obtained with laterally condensed, chloroform-softened gutta-
percha and laterally condensed gutta-percha and Grossman`s sealer.
J Endod 6, 678 – 682 (1980).
127. Sauk, J. J., Norris, K., Foster, J. M., Moehring, J., Somerman, M. J.:
Expression of heat stress proteins by human periodontal ligament cells.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 17, 496 – 499 (1988).
128. Saunders, E. M. :
In vitro and in vivo investigations into root canal obturation using thermally
softened gutta-percha techniques.
PhD Thesis, University of Dundee (1988).
129. Schäfer, E.:
Wurzelkanalfüllmaterialien.
Dtsch Zahnärztl Z 55, 15 – 25 (2000).

130. 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, 638 – 642 (2002).
131. Schilder, H. C.:
Filling root canals in three dimensions.
Dent Clin North Am 11, 723 – 744 (1967).
132. Schilder, H.:
Cleaning and shaping the root canal.
Dent Clin North Am 18, 269 – 296 (1974).
133. Schmalz, G.:
Die Wurzelkanalbehandlung – Klinische Erfolge.
Dtsch Zahnärztl Z 45, 251 – 256 (1990).
134. Schroeder, A.:
Endodontie. Ein Leitfaden für Studium und Praxis, 2. Aufl. Quintessenz, Berlin (1981).
135. Schuurs, A. H., Wu, M. K., Wesselink, P. R., Duivenvoorden, H. J.:
Endodontic leakage studies reconsidered. Part II. Statistical aspects.
Int Endod J 26, 44 – 52 (1993).
136. Scott, A. C., Vire, D. E.:
An evaluation of the ability of a dentin plug to control extrusion of thermoplasticized gutta-percha.
J Endod 18, 52 – 57 (1992).
137. Scott, A. C., Vire, D. E., Swanson, R.:
An evaluation of the Thermafil endodontic obturation technique.
J Endod 18, 340 – 343 (1992).

138. Seltzer, S. :
Endodontology: Biologic Consideration in Endodontic Procedures.
McGraw – Hill, New York 271, 317 – 323 (1971).
139. Seltzer, S.:
Endodontology – Biologic consideration in endodontic procedures.
Lea & Feibinger, Philadelphia, S. 13 (1988).
140. Silver, G., K., Love, R. M., Purton, D. G.:
Comparison of two vertical condensation obturation techniques. Touch `n
Heat modified and System B.
Int Endod J 32, 287 – 295 (1999).
141. Smith, R. S., Weller, R. N., Loushine, R. J., Kimbrough, W. F.:
Effect of varying the depth of heat application on the adaptability of gutta-
percha during warm vertical compaction.
J Endod 26, 668 – 672 (2000).
142. Smith, M. A., Steiman, H. R.:
An in vitro evaluation of mikroleakage of two new and two old root canal
sealers.
J Endod 20, 18 – 20 (1994).
143. Smith, D. W., Wong, M.:
Comparison of apical leakage in teeth obturated with a polyamide varnish
or zinc oxide and eugenol cement using lateral condensation.
J Endod 18, 25 – 27 (1992).
144. Spangberg, L. S., Acierno, T. G., Youngbum Cah, B.:
Influence of entrapped air on the accuracy of leakage studies using dye
penetration methods.
J Endod 15, 548 – 551 (1989).

145. Stellungnahme der DGZMK V 1.0, Stand 6/99. Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ.
146. Strindberg, L. Z.:
The dependence of the results of pulp therapy on Certain Factors; an Analytic study Based on Radiographic and Clinical Follow-up Examination. Acta Odontol Scand 14: Supp. 21, Stockholm (1956).
147. Taylor, J. K., Jeansonne, B. G., Lemon, R. R.:
Coronal leakage: effects of smear layer, obturation technique, and sealer. J Endod 23, 508 – 512 (1997).
148. Thoden Van Velzen, S. K., Duivenvoorden, H. J., Schuurs, A. H. B.:
Probabilities of success and failure in endodontic treatment: a Bayesian approach. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 5, 85 – 90 (1981).
149. Torabinejad, M., Skobe, Z., Trombly, P. L., Krakow, A. A., Gron, P., Marlin, J.:
Scanning electron microscopic study of root canal obturation using thermoplasticized gutta-percha. J Endod 4, 245 – 250 (1978).
150. Unverdorm, D., Petschelt, A., Hickel, R.:
Dichte von Wurzelkanalfüllungen. Dtsch Zahnärztl Z 47, 486 – 489 (1992).
151. Valli, K. S., Rafeek, R. N., Walzer, R. T.:
Sealing capacity in vitro of thermoplasticized gutta-percha with a solid core endodontic filling technique. Endod Dent Traumatol 14, 68 – 71 (1998).
152. Van de Voorde, H. E., Bjoerndahl, A. M.:
Estimating endodontic „working length” with paralleling radiographs.

- Oral Surg Oral Med Oral Pathol 27, 106 - 110 (1969).
153. Weine, F. S. :
Endodontic Therapy, 4th ed. Mosby, St. Louis 1989.
154. Wiener, B. H., Schilder, H.:
A comparative study of important physical properties of various root canal sealers. Part II. Evaluation of dimensional changes.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 32, 928 – 937 (1971).
155. Wilson, A. D., Batchelor, F.:
Zinc oxide-eugenol cements. Part II. Study of erosion and disintegration.
J Dent Res 49, 593 – 598 (1970).
156. Wollard, R. R., Brough, S. O., Maggio, J., Seltzer, S.:
Scanning electron microscopic examination of root canal filling materials.
J Endod 2, 98 – 110 (1976).
157. Wong, M., Peters, D. D., Lorton, L., Bernier, W. E.:
Comparison of gutta-percha filling techniques: three chloroform – gutta-percha filling techniques, Part II.
J Endod 8, 4 – 9 (1982).
158. Wrbas, K.-Th., Kielbassa, A. M., Hellwig, E.:
Histologische Untersuchung des Wurzelspitzenbereichs wurzelkanalbehandelter Zähne mit Parodontitis apicalis.
Dtsch Zahnärztl Z 54, 240 – 244 (1999).
159. Wu, M. K. W., van der Sluijs, L. W. M., Wesselink, P. R.:
An in vitro comparison of the apical filling quality of the root canal of the mesial root of the lower molar filled with the System B device and the Endo Twinn using the continuous wave of gutta-percha technique.
ACTA Clinical Study, Endo Twinn (2004).

160. Wu, M. K., Kastakova, A., Wesselink, P. R.:
Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars.
Int Endod J 34, 485 – 491 (2001).
161. Wu, M. K., Sluis, L. W. M., Wesselink, P. R.:
A preliminary study of the percentage of gutta-percha-filled area in the apical canal filled with vertically compacted warm gutta-percha.
Int Endod J 35, 527 – 535 (2002).
162. Wu, M. K., Tigos, E., Wesselink, P. R.:
An 18-month longitudinal study on a new silicon-based sealer, RSA RoekoSeal: A leakage study in vitro.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 94, 499 – 502 (2002).
163. Wu, M. K., van der Sluis, L. W., Ardila, C. N., Wesselink, P. R.:
Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques.
Int Endod J 36, 533 – 540 (2003).
164. Wu, M.-K., Wesselink, P. R.:
Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance.
J Endod 26, 37 – 43 (1993).
165. Wu, M.-K., Wesselink, P. R., Boersma, J.:
A 1-year follow-up study on leakage of four root canal sealers at different thicknesses.
Int Endod J 28, 185 – 189 (1995).
166. Yee, F. S., Marlin, J., Krakow, A. A., Gron, P.:
Three-dimensional obturation of the root canal using injection-moulded, thermoplasticized dental gutta-percha.

J Endod 3, 168 – 174 (1977).

167. Zmener, O., Spielberg, C., Lamberghini, F., Rucci, M.:
Sealing properties of a new epoxy resin-based root-canal sealer.
Int Endod J 30, 332 – 334 (1997).

8 Danksagung

Meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Edgar Schäfer, bin ich zu großem Dank verpflichtet, da er mir die Möglichkeit zur Erstellung dieser Dissertation gab und meine wissenschaftliche Arbeit konstruktiv unterstützte.

Für den lieben Beistand und die vielen motivierenden Worte danke ich meiner Frau, Monika Rohe-Al Torman, besonders herzlich.

Mein Studium und meine Promotion wären ohne die langjährige bedingungslose Unterstützung und Förderung durch meine Eltern nicht möglich gewesen. Ihnen habe ich das Erreichte zu verdanken und somit widme ich ihnen diese vorliegende Arbeit.

