

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Zahnerhaltung
- Direktor Univ.-Prof. Dr. med. dent. K. H. R. Ott -

Anteile an Sealer und Guttapercha nach Obturation
gekrümmter Wurzelkanäle – ein *in vitro* Vergleich fünf
verschiedener Obturationstechniken

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

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

vorgelegt von
Birthe Nelius
aus Essen
2009

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

Dekan: Univ.-Prof. Dr. med. Wilhelm Schmitz

1. Berichterstatter: Prof. Dr. med. dent. Edgar Schäfer

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

Tag der mündlichen Prüfung: 05.03.2009

Aus dem Universitätsklinikum Münster
Poliklinik für Zahnerhaltung
- Direktor Univ.-Prof. Dr. med. dent. K. H. R. Ott -
Referent: Prof. Dr. med. dent. E. Schäfer
Korreferentin: Priv.-Doz. Dr. A. Wolowski

Zusammenfassung

Nelius, Birthe

Anteile an Sealer und Guttapercha nach Obturation gekrümmter Wurzelkanäle – ein in vitro Vergleich fünf verschiedener Obturationstechniken

Eine intensive Forschung und Entwicklung ist notwendig, um dem stetig zunehmenden Qualitätsstandard in der Zahnmedizin gerecht werden zu können. In diesem Zusammenhang werden regelmäßig neue Produkte auf dem Dentalmarkt vorgestellt, bewertet und miteinander verglichen, mit dem Ziel, eine Optimierung zum Beispiel in der Endodontie zu bewirken. Der Bedarf nach schnellen, schmerzarmen und erfolgreichen Wurzelbehandlungen steigt. Für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung sind eine chemo-mechanisch, antibakterielle Reinigung, eine füllungsgerechte, konische Ausformung und eine abschließende hermetische, dauerhafte und dreidimensionale Obturation des Wurzelkanals notwendig. Das Füllungsmaterial sollte den gesamten Wurzelkanal dicht ausfüllen, um zum einen Bewegungen von verbliebenen Bakterien und Flüssigkeiten entlang der Kanalwand zu verhindern und zum anderen Dentinkanälchen, akzessorische Kanäle und das Foramen apicale suffizient zu verschliessen.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Auswirkungen von fünf verschiedenen Obturationstechniken auf die Verteilung des Wurzelkanalfüllmaterials in stark gekrümmten Wurzelkanälen, entlang des gesamten Wurzelkanals zu testen. Zur Durchführung der Untersuchung wurden insgesamt 60 extrahierte menschliche Ober- und Unterkiefermolaren mit mindestens einer gekrümmten Wurzel und einem gekrümmten Wurzelkanal herangezogen (Krümmungsradius 5,0 bis 9,0 mm, Krümmungswinkel zwischen 25° und 35°). Jeweils 12 Zähne wurden derart auf 5 Gruppen verteilt, dass hinsichtlich des Krümmungswinkels und –radius homogene Gruppen resultierten, dies wurde mittels multipler Varianzanalyse (ANOVA) und post-hoc Student-Newman-Keuls-Test sichergestellt. Alle 60 Zähne wurden standardisiert maschinell mit dem Endo IT professional –System (VDW, München, Deutschland) aufbereitet. Die homogen verteilten Zähne wurden mittels Einstifttechnik (Gruppe A und B), lateraler Kondensation (Gruppe C mit Taper 4% und E mit Taper 2%) und der warm-vertikalen Kondensation in Schildertechnik (Gruppe D) obturiert. Anschließend wurden die Zähne für 14 Tage bei 37°C und einer Luftfeuchtigkeit von 100% gelagert, um dann jeweils senkrecht zur Wurzelachse in einen kaltpolymerisierenden Kunststoff eingebettet und nach der Auspolymerisierung mit einer Innenlochsäge unter Wasserkühlung in den Höhen 1, 2, 3, 4, 6 und 8 mm, gemessen vom anatomischen Apex, horizontal geschnitten zu werden. Die Schnitte wurden fotografiert und die Flächenanteile von Guttapercha, Sealer und Voids mit dem Bildanalyseprogramm Image J vermessen. Hierbei ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Einstifttechnik (Gruppe A und B) und der lateralen- sowie vertikalen Kondensations-technik in allen sechs Abschnitten. Beste Guttapercha / Sealer-Verhältnisse wiesen die Gruppen C, D und E auf und zeigten sich so der Einstiftmethode überlegen ($p < 0,05$).

Vergleicht man die Ergebnisse der lateralen Kondensation mit denen der Einstiftmethode so kann die Einstifttechnik als probate Alternative zur lateralen Kondensation angesehen werden, jedoch stets unter der Voraussetzung, dass der zu obturierende Wurzelkanal eine möglichst geringe Kanalkrümmung und ein rundes Kanallumen aufweist. Bei anspruchsvoller Kanal Anatomie ist jedoch die laterale Kondensation das Mittel der Wahl um die Forderungen der DGZ und DGZM, sowie der ESE zu erfüllen (DGZ und DGZMK 2000 / ESE 1994) und gilt als der Goldstandard der Wurzelkanalfülltechniken.

Tag der mündlichen Prüfung: 05.03.2009

meiner Familie

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung in die Thematik	1
1.1 Einleitung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1 Guttapercha als Kernmaterial	3
2.2 Wurzelkanalfüllstifte	5
2.3 Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)	6
2.3.1 Wurzelkanalfüllpaste auf Epoxidharz-Basis	8
2.3.2 Wurzelkanalfüllpaste auf Zinkoxid-Eugenol-Basis	9
2.3.3 Wurzelkanalfüllpasten auf Polyketon-Basis	9
2.3.4 Wurzelkanalfüllpasten auf Glasionomer- Zement- Basis	10
2.3.5 Wurzelkanalfüllpasten auf Salicylat-Basis mit Kalziumhydroxi	10
2.3.6 Wurzelkanalfüllpasten auf Silikon-Basis	11
2.4 Wurzelkanalaufbereitung	13
2.5 Wurzelkanalspülungen	14
2.6 Wurzelkanalfülltechniken	17
2.6.1 Kalttechniken	18
2.6.1.1 Zentralstift- / Einstift- / Single-Cone-Technik	18
2.6.1.2 Laterale Kondensation	19
2.6.2 Thermoplastische Verfahren	20
2.6.2.1 Vertikale Kondensation nach Schilder	21
2.6.2.2 Buchanan „Continuous Wave of Obturation“-Technik	22
3. Problemstellung	24
4. Eigene Untersuchungen	25
4.1 Material und Methode	25
4.1.1 Auswahl der Zähne	25
4.1.1.1 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung	26
4.1.1.2 Wurzelkanalfüllungen	27
4.2 Auswertung und Statistik	31
5. Ergebnisse	32
5.1 Homogenität der Versuchsgruppen (Tab. 2)	32
5.2 Zeitbedarf (Tab. 3)	32
5.3 Volumenverhältnisse Guttapercha / Sealer / Voids (Tab. 4)	33

5.3.1 Guttapercha	33
5.3.2 Sealer	34
5.3.3 Voids	35
5.4 Extrusion von Füllungsmaterial (Tab.5)	37
6. Diskussion	38
6.1 Diskussion der Methode	38
6.2 Diskussion der Ergebnisse	41
6.2.1 Homogenität der Versuchsgruppen	41
6.2.2 Zeitbedarf	41
6.2.3 Volumenverhältnisse Guttapercha / Sealer / Voids	42
6.2.3.1 Guttapercha	42
6.2.3.2 Sealer	43
6.2.3.3 Voids	44
6.2.3.4 Extrusion von Füllungsmaterial	45
7. Zusammenfassung	46
8. Literaturverzeichnis	48
9. Danksagung	67
10. Curriculum vitae	68

1 Einführung in die Thematik

1.1 Einleitung

Die Endodontologie beschäftigt sich mit der Form und Funktion des Endodonts und der Ätiologie, Epidemiologie, Pathologie, Prävention, Diagnose und Behandlung von Erkrankungen des Endodonts und des periapikalen Gewebes (Hellwig et al. 2006). Die endodontische Behandlung umfasst die Aufbereitung des Wurzelkanalsystems und die sich anschließende Wurzelkanalfüllung. Zur Notwendigkeit einer Wurzelkanalbehandlung kommt es immer dann, wenn eine Vitalerhaltung der Pulpa nicht mehr möglich oder diese bereits nekrotisch geworden ist. Die Entzündung der Pulpa eines Zahnes kann durch bakterielle, traumatische, chemisch-toxische oder thermische Reize verursacht werden (Harndt 1967), deren Verlauf wird jedoch durch Dauer und Intensität der Reizeinwirkung bestimmt. Zunächst kommt es zu einer Veränderung des physiologischen Zellstoffwechsels. Ist die Reizeinwirkung von geringer Intensität, kann es nach Ausschaltung des Reizes zu einer *restitutio ad integrum* kommen (reversible Pulpitis). Bei fortschreitender Entzündung oder anhaltender Reizeinwirkung kann sich aus der reversiblen eine irreversible Pulpitis entwickeln, eine Vitalerhaltung der Pulpa ist dann nicht mehr möglich und eine Wurzelkanalbehandlung muss eingeleitet werden (Harndt 1938).

Die Ziele einer Wurzelkanalbehandlung sind somit die Erhaltung des erkrankten Zahnes und die dauerhafte Verhütung von schädlichen Auswirkungen auf das periradikuläre Gewebe oder den Gesamtorganismus. Wesentliche Faktoren für den Erfolg oder Misserfolg einer endodontischen Behandlung sind neben der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung und der konsequenten Einhaltung aseptischer Kautelen der dreidimensional dichte Verschluss des Wurzelkanals.

Die Wurzelkanalbehandlung kann erfolgreich sein, wenn ihr Ziel, die vollständige Entfernung der Mikroorganismen und des infizierten Pulpagewebes aus dem Wurzelkanalsystem gelingt (Walkhoff 1949).

Bei der instrumentellen Aufbereitung und Formgebung des Wurzelkanals muss die komplexe Anatomie beachtet werden. Das Kanallumen weist nicht nur in Form, Größe und Verlauf Unregelmäßigkeiten auf, es existieren eine Vielzahl von Dentinkanälchen sowie lateralen und akzessorischen Nebenkanälen, deren Anzahl

und Durchmesser sich im Lauf des Lebens verändern (Preiswerk 1908). Besonders im Molarenbereich finden sich zu 84% gekrümmte Wurzelkanäle (Schäfer et al. 2002), hier sind die Präparation des Wurzelkanalsystems und der dreidimensional dichte Verschluss erschwert.

Schon *Fischer* (1907) kam nach intensivem Studium des Wurzelkanalaufbaues zu dem Schluss, dass eine restlose Entfernung der Pulpa nicht durchführbar sei. *Hess* (1917) bestätigte die Untersuchungen Fischers. Dies brachte ihn zu der Annahme, dass auch eine bakteriendichte Wurzelkanalfüllung undurchführbar sei. Trotz dieser Erkenntnisse wurde die Wurzelkanalaufbereitung in Praxis und Theorie weiter verfolgt, Aufbereitungsmethoden und Instrumente verfeinert. Alle Bemühungen und Forschungen führten bis heute nicht zu dem angestrebten Ergebnis, das Wurzelkanalsystem in vivo vollständig zu erschließen. Das Einzige in der Zahnarztpraxis durchgesetzte diagnostische Hilfsmittel in diesem Zusammenhang, welches eine anatomische Darstellung des aufzubereitenden Kanalsystems erlaubt, ist das zweidimensionale Röntgenbild. Neuere Entwicklungen sind mit der dreidimensionalen Darstellung des Endodontes mittels Magnetresonanztchnik und der hochauflösenden Computertomographie betraut (Baumann 1995 / Peters et al. 2000).

Zahnerhaltende Maßnahmen, und in diesem Rahmen insbesondere die endodontischen Therapieverfahren, haben in den letzten Jahren an Bedeutung gewonnen und die Anzahl an jährlich durchgeführten Wurzelkanalfüllungen in Zahnarztpraxen nahm stetig zu. Darüber hinaus verschob sich das Verhältnis zwischen den jährlich ermittelten Zahlen an durchgeführten Extraktionen und Wurzelkanalbehandlungen zunehmend zu Gunsten der endodontischen Behandlung (KZBV 1997). Dieser Entwicklung wird durch die stetige Forschung, Studien und Weiterentwicklungen auf dem Gebiet der endodontischen Behandlungsmethoden Rechnung getragen.

Sie haben das Ziel, neben der Sicherung des Behandlungserfolges auch den Zeit- und Arbeitsaufwand von Wurzelkanalbehandlungen zu optimieren. Darüber hinaus ist auch aus prothetischer Sicht die sichere endodontische Therapie interessant, da 10-15% aller prothetisch versorgter Zähne im späteren Verlauf eine endodontische Behandlung erfahren (Bergenholtz und Nyman 1984 / Karlsson 1986).

2 Literaturübersicht

2.1 Guttapercha als Kernmaterial

Guttapercha ist zwar das weltweit bekannteste und gebräuchlichste Wurzelkanalfüllmaterial, alleine aber nicht in der Lage, den Wurzelkanal dauerhaft dicht zu verschließen (Tagger et al. 1994 / Skinner und Himel 1987). Den Autoren gelang der Nachweis, dass Guttapercha, unabhängig von der gewählten Verarbeitungstechnik, ohne die Verwendung einer Wurzelkanalpaste (Sealer) zum Kongruenzgleich der Unregelmäßigkeiten zwischen der Wurzelkanalwand und dem Kernmaterial nicht in der Lage ist, den Wurzelkanal dicht zu verschließen. Ebenso ermöglicht die alleinige Anwendung eines Sealers keinen langfristigen und zugleich bakteriendichten Verschluss des Wurzelkanals (Hülsmann und Meyer 1991 / Wesselink 1995). Die Dimensionsstabilität und die damit verbundene Wanddichtigkeit der Wurzelkanalfüllung sind bei ausschließlicher Anwendung des verformbaren Sealers als unzureichend zu beurteilen (De Gee et al. 1994). Auf dieser Erkenntnis basierend setzte sich die Kombination eines volumenstabilen Kernmaterials in Kombination mit einer erhärtenden Wurzelkanalpaste zum Ausgleich von Unregelmäßigkeiten im Bereich der Kanalwände durch. Nur so ist ein dauerhafter bakteriendichter Verschluss des endodontischen Systems sicher zu stellen (Guldener und Langeland 1982 / Heidemann 1989 / Hülsmann und Meyer 1991 / Thoden van Velzen et al. 1988 / Tronstad 1991 / Wesselink 1995).

Das erprobteste Material für Wurzelkanalfüllungen ist Guttapercha. Es erfüllt in einem hohen Maße die Anforderungen, die in Bezug auf Gewebeverträglichkeit, Abdichtungsverhalten, Handhabung und der gegebenenfalls notwendigen Entfernbarkeit an Wurzelkanalfüllmaterialien gestellt werden. Guttaperchastifte zählen zu den halbfesten Stiften, sie sind biokompatibel, inert, mittlerweile in verschiedenen Konizitäten erhältlich, entsprechend den Wurzelkanalinstrumenten normiert und bei einer Temperatur von ca. 60 °C plastisch verformbar. Bei niedrigen Temperaturen stellt sich Guttapercha als dimensionsstabil dar. Das Material kann in zwei kristallinen Phasen (α und β) und in einer amorphen Phase vorliegen. Frisch gewonnen liegt Guttapercha zumeist in der α -Phase vor und wird in dieser Form u. a. bei den Thermafil-Stiften verwendet. Konfektionierte Guttaperchastifte befinden sich in der β -Phase, die durch eine Erwärmung auf 42 - 49 °C in die α -Phase und bei

anhaltender Erwärmung auf 53 - 59°C oder noch höhere Temperaturen bis in die amorphe Phase überführt werden kann. Dabei gilt: je höher die Erwärmung der Guttapercha, desto stärker ist ihre Schrumpfung bei der Abkühlung. Eine routinemäßige Abkühlung der Masse führt überwiegend zu der Bildung von β -Guttapercha. Da eine Veränderung der Phase stets mit einer Volumenveränderung verbunden ist, kann dies bei Füllungstechniken, bei denen Guttapercha erwärmt wird, eine wichtige Rolle spielen. Die Stifte bestehen zu 20 – 45 m% aus Guttapercha, dem eingedickten Milchsaft tropischer Bäume als Matrix, Zinkoxid als Füllstoff (33 - 61,5 m%), enthalten kleine Mengen Wachse, Harze oder Kunststoffe (1,0 - 4,1 m%) zur Erhöhung der Plastizität, Metallsulfate als Röntgenkontrastmittel und Farbstoffe zur ISO-Kodierung (Friedmann et al. 1975 / Goss et al. 1992 / Gurney et al. 1971 / Heidemann 2001 / Hülsmann 1993). Darüber hinaus sind ihnen Farbstoffe und einige Spurenelemente (unter 1 m%, u. a. Cd, Cu, Fe, S und Ti) zugesetzt. Chemisch handelt es sich bei Guttapercha um ein trans-Isomer des 1,4-Poly-Isoprens, welches mit Naturkautschuk, ein cis-Isomer des 1,4-Poly-Isoprens, verwandt ist. Trotz der guten Biokompatibilität des Materials konnte eine gewisse Zytotoxizität nachgewiesen werden, die jedoch wahrscheinlich auf das in Guttaperchastiften enthaltene Zinkoxid zurückzuführen ist (Pascone und Spångberg 1990 / Tanzilli et al. 1983). Insgesamt nehmen die Guttapercha-Stifte eine Zwischenstellung zwischen Wurzelkanalfüll-Stiften und Sealern ein, da sie nach Erweichung auch als plastisches Material verwendet werden können. Das Erweichen der Stifte kann entweder durch Wärmezufuhr (auch heute noch anwendbar) oder durch organische Lösungsmittel wie Eukalyptol, Xylol oder Chloroform erreicht werden. Bei den zuletzt genannten Lösungen besteht der Verdacht der Kanzerogenität (U. S. Department of Health 1985). Darüber hinaus wirken diese organischen Lösungsmittel zytotoxisch (Klaiber et al. 1981 / Ørstavik und Mjör 1988) und in direktem Kontakt zu Nervenfasern auch neurotoxisch (Brodin et al. 1982). Daher ist die Verwendung von Guttapercha in Kombination mit diesen Lösungsmitteln nicht mehr angezeigt (Schäfer 2000). Guttaperchastifte sollten stets in Kombination mit Wurzelkanalfüllpasten, auch bei Wurzelfüllungen mit thermisch plastifizierter Guttapercha, benutzt werden (DGZ und DGZMK 2000).

2.2 Wurzelkanalfüllstifte

Stifte werden grundsätzlich in Verbindung mit einem Sealer eingebracht, bilden den stabilen Kern der Wurzelkanalfüllung und kondensieren die sie umgebende Wurzelkanalfüllpaste. Sie bestehen aus Guttapercha, Metall oder Kunststoff (Hong et al. 1991 / Thoden van Velzen et al. 1988 / Wesselink 1995), werden im Allgemeinen inerte als Wurzelkanalfüllpasten eingestuft (DGZ und DGZMK 2000) und verfügen im Gegensatz zu den meisten Wurzelkanalfüllpasten nicht über Aushärtungsschrumpfungen (Thoden van Velzen et al. 1988). Die besonders in der Vergangenheit angebotenen Stifte aus Metall bestanden aus Silber, Gold oder Titan. Neben einem recht hohen Stückpreis fehlte den Metallstiften die für Kondensationstechniken notwendige Verformbarkeit und auch für die Heißfülltechnik schieden sie aus, da für diese Wurzelkanalfülltechnik ausschließlich thermoplastisch verformbare Materialien in Frage kommen. Die Silberstifte bieten den Nachteil der Korrosionserscheinungen, falls sie mit Gewebeflüssigkeit (außerhalb oder im Wurzelkanalsystem) in Berührung kommen, wobei zytotoxische Produkte (Silbersulfide, -chloride, -sulfate und -karbonate) entstehen, die dann das periapikale Gewebe schädigen können (Gutiérrez et al. 1982 / Handtmann et al. 1987 / Lindemann et al. 1987). Sie sollten deshalb nicht mehr verwendet werden (Hellwig et al. 2006). Darüber hinaus besitzen Wurzelkanalfüllstifte aus Silber eine im Vergleich zu den Wurzelfüllpasten erhöhte Radioopazität (Hickel und Voss 1986 / Hong et al. 1991), was die radiologische Überprüfung der Wurzelkanalfüllung erschweren kann (Hülsmann und Meyer 1991 / Langeland 1974 / Thoden van Velzen et al. 1988 / Wesselink 1995). Auch ist eine gegebenenfalls indizierte Revision einer Wurzelkanalfüllung mit Verwendung eines festen Stiftes erschwert oder teilweise sogar unmöglich (DGZ und DGZMK 2000).

Titanstifte sind sowohl korrosionsresistent als auch biokompatibel und ihre Anwendung kann empfohlen werden, wenn ein enger, gekrümmter Kanal nicht so weit aufbereitet werden kann, dass eine Wurzelkanalfüllung mit Guttaperchastiften erfolgen kann. Sie weisen jedoch aufgrund ihres runden Querschnittes und der fehlenden Komprimierbarkeit eine schlechte Abdichtung des Wurzelkanalsystems auf. Ihre Röntgensichtigkeit ist der von Guttapercha sehr ähnlich, sodass in der Praxis die röntgenologische Unterscheidung teilweise nicht möglich ist (Kleier et al. 1999).

Ein weiterer Vertreter der festen Stifte sind die Kunststoffstifte. Hierbei handelt es sich um mit Guttapercha ummantelte Stifte, die bei einer nur geringen Erwärmung der Guttapercha eine gute Abdichtung des Wurzelkanals bieten (Chohayeb 1992a / Clark und ElDeeb 1993 / Scott et al. 1992). Von einigen Autoren wurde darauf hingewiesen, dass in Bezug auf die Arbeitssicherheit (Unter- und Überfüllung des Wurzelkanals) aber eine gewisse Vorsicht geboten sei, da es teilweise zu Überfüllungen in das apikale Gewebe kommen kann (Chohayeb 1992b / Clark und ElDeeb 1993 / Dummer et al. 1993 / Haddix et al. 1991 / Juhlin et al. 1993 / Scott et al. 1992). Reine Kunststoffstifte sind heute als Wurzelkanalfüllstifte nicht mehr üblich (DGZ und DGZMK 2000).

2.3 Wurzelkanalfüllpasten (Sealer)

Erhärtende Materialien, die dem Zweck dienen, den Zwischenraum zwischen dem Kernmaterial (z.B. Guttapercha) und der Wurzelkanalwand zu füllen, werden üblicherweise als Wurzelkanalzemente oder Sealer bezeichnet (Hellwig et al. 2006). Ihre wichtigsten Anforderungen können wie folgt benannt werden (in Anlehnung an Grossmann):

- keine Schrumpfung beim Abbinden
- angemessene Abbindezeit
- Haftung an der Wurzelkanalwand
- Schaffung einer apikalen, koronalen sowie lateralen Versiegelung des Endodonts
- in physiologischen Flüssigkeiten unlöslich
- Radioopazität
- keine spätere Verfärbung der Zähne verursachen
- Gewebetoleranz

Früher wurde darüber hinaus auch eine medikamentöse Wirkung des Sealers gefordert, was in der modernen Endodontie, in der man auf das Prinzip der Selbstheilung des Körpers unter Voraussetzung einer adäquaten chemo-mechanischen Aufbereitung unter aseptischen Kautelen vertraut, sogar als unerwünscht gilt. Man versprach sich von den medikamentösen Zusätzen in den Sealern, die unter anderen aus Antibiotika, Kortison oder Kampfer bestanden, eine lokale Wirkung auf periradikuläre entzündliche Prozesse.

Paraformaldehydhaltige Desinfizienzien setzen aber während und nach der Aushärtung das neurotoxisch wirkende Formaldehyd frei (Grossmann 1978 / Serper et al. 1998). Derartige Zusätze werden daher aufgrund ihrer lokalen und systemischen Nebenwirkungen zunehmend kritischer bewertet (Thoden van Velzen et al. 1988). Die Verwendung von Wurzelkanalfüllpasten mit einem Zusatz von Paraformaldehyd und/oder Kortikosteroiden (Antiphlogistika) ist in der heutigen Zeit als obsolet anzusehen (Geurtsen und Leyhausen 1997 / Schäfer 2000).

Buddecke (1980) und *Spector* (1981) kamen zu dem Schluss, dass Kortikosteroide grundsätzlich zur lokalen Immunsuppression führen und selbst unter dem Zusatz eines Desinfizienz oder eines Antibiotikums die unkontrollierte lokale Vermehrung von Mikroorganismen im periapikalen Gewebe zunimmt und so zu einer Verschlechterung der bereits bestehenden Entzündung führen (Tepel et al. 1994). Aus diesen Gründen ist die Verwendung von kortikoidhaltigen Wurzelkanalpasten als nicht mehr adäquat anzusehen (DGZ und DGZMK 2000).

Man kann weichbleibende und erhärtende Wurzelkanalfüllpasten unterscheiden. Da weichbleibende Wurzelkanalfüllpasten löslich sind und vom vitalen Gewebe resorbiert werden (Ørstavik 1983 / Wesselink 1995), sind sie als Bestandteile einer definitiven Wurzelkanalfüllung abzulehnen (Pallarés und Faus 1995 / Wesselink 1995). Daher kommen für den definitiven Verschluss des Wurzelkanals ausschließlich erhärtende Wurzelkanalfüllpasten in Frage.

Die aktuell gebräuchlichen Sealer können auf der Basis von Epoxidharz-, Zinkoxid-Eugenol-, Polyketon-, Glasionomermzement und Silikon eingeteilt werden. Des Weiteren werden noch kalziumhydroxidhaltige Pasten zur definitiven Wurzelkanalfüllung angeboten. Die meisten dieser Sealer weisen klinisch akzeptable Ergebnisse auf (Schäfer 2000).

2.3.1 Wurzelkanalfüllpaste auf Epoxidharz-Basis

AH Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) zählt zu den auf Epoxidharzbasis entwickelten Wurzelkanalfüllpasten. Sealer dieser Gruppe weisen sowohl ein sehr gutes Abbindevermögen als auch eine gute Volumenbeständigkeit auf (Gettleman et al. 1991 / Guldener und Langeland 1982). Bei AH Plus, dem Nachfolgeprodukt des 1954 von Schröder vorgestellten AH 26 (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) wurde besonders Wert darauf gelegt, dass das Produkt zu keinem Zeitpunkt der Verarbeitung Formaldehyd freisetzt. AH 26 gibt unmittelbar nach dem Anmischen zeitlich begrenzt eine geringe Menge von Formaldehyd ab und zwar aus dem enthaltenden Hexamethylentetraamin. Das Maximum der Freisetzung wird am zweiten Tag nach dem Anmischen erreicht (Spångberg et al. 1993). Im abgebundenen Zustand sind Epoxidharze aber als biologisch inert zu bewerten (Spångberg et al. 1993 / Geurtsen und Leyhausen 1997) und Wurzelkanalfüllpasten auf Epoxidbasis als empfehlenswert einzustufen (Guldener und Langeland 1982 / Spångberg et al. 1993).

AH Plus setzt zu keinem Zeitpunkt Formaldehyd frei (Koulaouzidou et al. 1998 / Spångberg et al. 1993) und wies in verschiedenen In-vitro Studien keinerlei mutagene oder genotoxische Effekte auf. Es ist mit denselben hervorragenden physikalischen und materialtechnischen Eigenschaften wie sein Vorgänger ausgestattet und kann somit, im Vergleich zu AH 26, hinsichtlich seiner Biokompatibilität als verbessertes Produkt angesehen werden (Leonardo et al. 1999). AH 26 und auch AH Plus weisen vergleichbar gute Versiegelungseigenschaften auf (De Moor und De Bruyne 2004) und sind darüber hinaus bei der Beurteilung der Abdichtungseigenschaften anderen Sealern überlegen (Barthel et al. 1994 / De Almeida et al. 2000 / De Moor et al. 2004 / Limkangwalmongkol et al. 1991 / Limkangwalmongkol et al. 1992). Die materialimmanente Schrumpfung konnte bei AH Plus reduziert werden, da es nicht mehr kondensationsvernetzend ist wie noch AH 26 sondern additionsvernetzend. Auch hinsichtlich der Langzeitstabilität wies AH Plus die besten Ergebnisse aller Sealer auf (McMichen et al. 2003 / Schäfer und Zandbiglari 2003). Unter der Vielzahl der zurzeit auf dem Markt angebotenen Wurzelkanalfüllpasten stellt AH Plus den Goldstandard dar (DGZ und DGZMK 2000).

2.3.2 Wurzelkanalfüllpaste auf Zinkoxid-Eugenol-Basis

Diese Zweikomponentenpräparate bilden nach dem Vermischen von Pulver und Flüssigkeit ein wenig widerstandsfähiges und poröses Zinkeugenolat (Wilson et al. 1973). Darüber hinaus liegt auch bei sachgerechter Anmischung überschüssiges, freies Eugenol vor und schwächt das Zinkeugenolat in seiner Integrität. Auch wurde von einigen Autoren belegt, dass das enthaltene Eugenol sogar in kleinen Mengen eine Kontakturtikaria hervorrufen und unterhalten kann (Barkin et al. 1984 / Grade 1995).

Einige Autoren wiesen eine erhebliche Löslichkeit des Eugenolates in Gewebeflüssigkeit nach (Fraunhofer und van Branstetter 1982 / Wilson et al. 1973). Daher dürfen diese Wurzelkanalfüllpasten – wie alle Sealer - nur in Kombination mit einem festen Kernmaterial verwendet werden (Wesselink 1995). In dieser empfohlenen Kombination weisen sie gute klinische Ergebnisse auf und sind in der Lage, den Wurzelkanal dauerhaft randständig zu verschließen (Ørstavic 1983 / Tepel et al. 1994 / Tronstad 1991). Als Nachteile der Wurzelkanalfüllpasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis sind anzusehen, dass Eugenol in In-vitro-Versuchen eine genotoxische (Geurtsen und Leyhausen 1997) und zytotoxische Wirkung auf verschiedene humane und tierische Zellen zeigte (Gerosa et al. 1996 / Guigand et al. 1999). Insbesondere bei einer Überfüllung mit Wurzelkanalfüllpasten dieser Art traten Irritationen, eine negative Beeinflussung des Heilungsverlaufs (Ørstavik et al. 1987) sowie Nekrosen des Desmodontes oder des Knochens auf (Leonardo et al. 1999).

2.3.3 Wurzelkanalfüllpasten auf Polyketon-Basis

Der einzige Vertreter dieser Gruppe ist die Wurzelkanalfüllpaste Diaket (Espe, Seefeld, Deutschland), es handelt es sich um eine Mischung aus Vinylpolymerisaten, die infolge von Komplexbildung aushärten und deren Abbindeverhalten von der Anmischung des Materials abhängt (Hellwig et al. 2006). Irritationen des periapikalen Gewebes bei direktem Kontakt mit dem Wurzelkanalfüllmaterial sind vergleichsweise zu anderen Materialien gering ausgeprägt (Olsson und Wennberg 1985) und es zeigen sich auch weder karzinogene noch mutagene Wirkungen (Schweikl und Schmalz 1991).

Biokompabilität, Abdichtungsverhalten und Volumenbeständigkeit können bei Diaket insgesamt als gut beurteilt werden. Als nachteilig zu beurteilen sind die vergleichsweise kurze Abbindezeit (7 Minuten) und die relativ schwere Entfernung der ausgehärteten Wurzelkanalfüllung. Bei Untersuchungen am N. phrenicus der Ratte zeigte Diaket des Weiteren eine neurotoxische Wirkung, bei der die Hemmung der Aktionspotentiale aber reversibel waren (Brodin et al. 1982).

2.3.4 Wurzelkanalfüllpasten auf Glasionomer- Zement- Basis

Zu den Vertretern dieser Gruppe gehört unter anderen Ketac-Endo (Espe, Seefeld, Deutschland). Es handelt sich hierbei um eine Gruppe von Sealern mit verlängerter Abbindezeit, bei denen feinstteiliges Kalzium-Aluminium-Fluoro-Silikatglas mit einer wässrigen Lösung, der Polycarbonsäure, vermischt wird. Das Haftverhalten dieser Wurzelkanalfüllpasten ist dann am größten, wenn die Schmierschicht vorher entfernt wurde und sie können als weitestgehend gewebeverträglich eingestuft werden. Mutagene oder zytotoxische Effekte wies Ketac-Endo bei In-vitro-Tests nicht auf (Ersev et al. 1999) und aufgrund der Tatsache, dass diese Sealer im periapikalen Gewebe nicht resorbiert werden, gelten sie als gewebeverträglich (Wrbas et al. 1998). Des Weiteren wird dieser Wurzelkanalfüllpaste ein klinisch akzeptables Abdichtungsverhalten zugesprochen (Wu et al. 1995) und Nachuntersuchungen nach 6 - 18 Monaten, von mit Ketac-Endo wurzelkanalgefüllten Zähnen, ergaben gute klinische Ergebnisse (Friedman et al. 1995).

2.3.5 Wurzelkanalfüllpasten auf Salicylat-Basis mit Kalziumhydroxid

Wurzelkanalfüllpasten der Gruppe der kalziumhydroxidhaltigen Präparate werden in der Praxis häufig angewendet, da sie gute Materialeigenschaften, wie zum Beispiel eine antibakterielle Wirkung und eine befriedigende Biokompatibilität aufweisen (Gambarini et al. 2003). Bei In-vitro-Untersuchungen wurden nur sehr geringe bis nicht nachweisbare zytotoxische Wirkungen dieser Wurzelkanalfüllpasten diagnostiziert (Guigand et al. 1999 / Langeland 1974) und auch nach mehrtägiger Liegedauer verschiedener Wurzelkanalfüllpasten dieser Gruppe konnten keine

Hemmungen der zellulären DNA-Synthese festgestellt werden (Matsumoto et al. 1989).

Bekannte Präparate auf der Basis von polymerem Methylsalicylat in einer Mischung mit Kalziumhydroxid sind Sealapex (Kerr, Karlsruhe, Deutschland) und Apexit (Vivadent, Ellwangen, Deutschland). In-vitro-Studien belegen, dass Sealapex eine Löslichkeit in Speichel und Gewebeflüssigkeit aufweist, was die Ausbildung von Randspalten zur Folge hat (Wu et al. 1995 / Tagger et al. 1988). In primären und permanenten Fibroblastenkulturen konnten darüber hinaus zytotoxische Effekte des Sealapex festgestellt werden (Beltes et al. 1995).

Apexit erwies sich in Untersuchungen als zellverträglich (Bratel et al. 1998), und ist initial bezüglich der Dichtigkeit und Volumenbeständigkeit als gut zu bewerten (Barkhordar et al. 1989 / Zmener 1987). Eine genotoxische Wirkung konnte nicht nachgewiesen (Heil et al. 1996) und auch langfristig konnte dem Material ein gutes Abdichtungsverhalten bescheinigt werden (Limkangwalmogkol et al. 1992). Im Gegensatz zu Sealapex wird Apexit kaum durch Gewebeflüssigkeit auf- oder angelöst werden.

Zusammenfassend betrachtet weisen Wurzelkanalfüllpasten auf Salicylat-Basis eine gute bis ausgezeichnete Biokompatibilität auf (Holland und de Souza 1985), denn auch bei direktem Kontakt zum periapikalen Gewebe rufen diese Materialien nur eine vergleichsweise geringe entzündliche Reaktion hervor (Mittal und Chandra 1995).

2.3.6 Wurzelkanalfüllpasten auf Silikon-Basis

Bei RSA RoekoSeal (Colténe Whaledent, Langenau, Deutschland) handelt es sich um ein additionsvernetzendes, auf Silikonbasis hergestelltes Material, das in verschiedenen Studien gute Abdichtungseigenschaften (Cobankara et al. 2002 / Eldeniz et al. 2004 / Gençoglu 2003 / Wu et al. 2002 / Wu et al. 2003) sowie im Gegensatz zu herkömmlich verwendeten Sealern sogar eine gewisse Expansion (0,2%) während des Abbindevorgangs aufweist. Die Eigenschaft der Expansion führt zu dem guten Abdichtungsvermögen dieser Fülltechnik (Ørstavik et al. 2001) und wird noch von der guten Klebeeigenschaft zum Kanalwanddentin hin unterstützt

(Gençoglu 2003). Neben dem beschriebenen guten Abdichtungsverhalten ist RSA RoekoSeal unlöslich gegenüber Gewebsflüssigkeit, was ein Abbinden trotz eventuell feuchter Bedingungen in dem Wurzelkanal ermöglicht und verfügt über eine gute Biokompatibilität (Gençoglu 2003 / Ørstavik et al. 2001).

Bei der Weiterentwicklung des RSA RoekoSeal dem GuttaFlow (Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland) handelt es sich um einen Sealer in Kombination mit einem extrem feinen Guttaperchapulver (Partikelgröße < 30 µm), sowie Nano-Silber (Coltène Whaledent 2008) welches eine antibakterielle Wirkung sicherstellen soll, die aber der Wirkung von AH26 unterlegen (Mohammadi und Yazdizadeh 2007), bzw. allgemein nur gering ausgeprägt ist (Brzovic et al. 2007 / Eldeniz und Ørstavik 2007). Die Zytotoxizität von GuttaFlow ist als geringer als die von AHPlus (Bouillaguet et al. 2008) einzustufen und insgesamt nur als gering zu beurteilen (Eldeniz und Ørstavik 2007).

Das Kaltfüllsystem GuttaFlow (Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland), welches ohne Erwärmung mittels eines Applikators in den Wurzelkanal injiziert wird, vereinigt die Vorteile der Kaltfülltechnik mit denen der thermoplastischen Methode. Jegliche thermische Traumatisierung des Parodonts wird durch das kalte Injizieren des GuttaFlow verhindert und darüber hinaus ist auch mit der sonst auftretenden Schrumpfung warm applizierter Guttapercha nicht zu rechnen. Uneinigkeit unter den Autoren herrscht hinsichtlich des Abdichtungsverhaltens von GuttaFlow. In einigen Studien werden gute Ergebnisse in Hinblick auf die Dichtigkeit der mit GuttaFlow abgefüllten Wurzelkanäle berichtet, mit wenn nur kleinen, zentral gelegenen Undichtigkeiten (ElAyouti et al. 2005) fest. Auch zeigte das Material eine relative Unempfindlichkeit gegenüber Spülflüssigkeitsresten während der Wurzelkanalfüllung (Roggendorf et al. 2005). In anderen Studien fielen hingegen erhebliche Undichtigkeiten auf (Ozok et al. 2008). GuttaFlow findet seine Indikation nach den vorliegenden Studien eher in geraden Wurzelkanälen (Bouillaguet et al. 2008) mit ovalem Querschnitt (De-Deus et al. 2007).

2.4 Wurzelkanalaufbereitung

Die Ansprüche an eine gute Wurzelkanalaufbereitung umfassen unter anderem die vollständige Entfernung von Geweberesten aus dem Wurzelkanalsystem und die Schaffung eines abfüllbaren Hohlraumes. Doch trotz einer optimal durchgeführten chemisch-mechanischen Bearbeitung des Wurzelkanals ist seine vollständige Sterilisation nicht zu erreichen (Davis et al. 1972). Die Hauptprobleme des Wurzelkanalsystems sind die apikale Zone mit ihren deltaartigen Verzweigungen, in der Regel die letzten 3 mm des Kanals und die verschieden ausgeprägte Krümmung im Verlauf des Wurzelkanals von koronal nach apikal, was besonders die Aufbereitung, die Entfernung des pulpalen Gewebes sowie die abschließende dichte Wurzelkanalfüllung erschweren. Für den langfristigen Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist insbesondere die vollständige Obturation des Wurzelkanalsystems, welche eine bakterielle Rekolonisation verhindern soll, entscheidend (Cohen und Burns 1994 / Weine 1995). Die Voraussetzung dafür schafft nur eine adäquate Aufbereitung des Wurzelkanals.

Wesentliche Aufgaben der Wurzelkanalaufbereitung sind die Reinigung und die Formgebung des Wurzelkanals, wodurch ein Zustand größtmöglicher Keimarmut geschaffen werden soll. Um dieses Ziel zu erreichen, bedient man sich einer Kombination von mechanischer und chemischer Reinigung.

Grundsätzlich stehen sich bei den mechanischen Aufbereitungsmethoden zwei Techniken gegenüber: die manuelle Aufbereitung mit Handinstrumenten und die maschinelle Kanalaufbereitung mit maschinell betriebenen Instrumenten. Häufig werden auch beide Aufbereitungsmethoden kombiniert in Form einer Hybridtechnik und insbesondere bei der manuellen Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle müssen auch mehrere Instrumententypen miteinander kombiniert werden (Cohen und Burns 1994 / Hoppe et al. 1993 / Kröncke 1981). Trotz der Vielzahl an Techniken und Instrumenten in diesem Bereich der Zahnheilkunde gelingt es nicht, sämtliche Bereiche der Kanalwand zu bearbeiten (Thoden Van Velzen et al. 1988 / Gutiérrez und Garcia 1968).

Für die manuelle Wurzelkanalaufbereitung stehen verschiedene Instrumententypen aus unterschiedlichen Legierungen (u. a. Edelstahl und Nickel-Titan) zur Verfügung (Schäfer 1997 und 1998). Zu den gängigsten manuellen Wurzelkanalinstrumenten

gehören die aus Chrom-Nickel-Edelstahl gefertigten Reamer, Hedström und K-Feilen. Diese Instrumente unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Geometrie und in ihrer der geometrischen Form zugrunde liegender Arbeitsweise (Schäfer 1998 / Thoden Van Velzen 1988).

Die European Society of Endodontology formulierte die Anforderungen an die Wurzelkanalaufbereitung (ESE 1994):

- Entfernung des Pulpagewebes
- Elimination von Mikroorganismen
- Beseitigung von Debris
- Aufbereitung des Wurzelkanals, um einen dichten Verschluss zu erreichen

Folgende Bedingungen wurden dabei gestellt:

- Möglichst keine Verlegung des Kanalverlaufes
- Erhalt des physiologischen Foramens
- Die Präparation soll einen apikalen Stopp aufweisen
- Die Präparation soll von koronal nach apikal eine konische Form aufweisen
- Des Weiteren wird eine Aufbereitung mit reichlich Spüllösung gefordert.

Trotz der gut erforschten und deutlich formulierten Anforderungen an eine ideale Wurzelkanalaufbereitung und seine dazu verwendeten Materialien hat die Praxis gezeigt, dass derzeit eine absolute Reinigung des Kanallumens nicht zu erzielen ist (Beer und Baumann 1997).

2.5 Wurzelkanalspülungen

Die chemische Wurzelkanalaufbereitung soll die mechanische Wurzelkanalaufbereitung hinsichtlich der Reinigung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems unterstützen. Um eine gründliche Reinigung zu erreichen, wird eine Aufbereitung im feuchten Milieu mit geeigneten Spüllösungen empfohlen. Ein geeignetes Mittel sollte folgende Eigenschaften haben (Hellwig et al. 2006):

- geringe Toxizität
- bakterizide Wirkung
- Auflösung von vitalem und nekrotischem Pulpagewebe
- niedrige Oberflächenspannung
- Schmiereffekt

Die Ziele einer Wurzelkanalspülung insgesamt können wie folgt zusammengefasst werden (Hülsmann 1997):

- gewebelösende Wirkung
- Ausschwemmung von nekrotischem Pulpagewebe und Dentinspänen
- Desinfektion des Wurzelkanales
- keine Schädigung des periapikalen Gewebes
- Erhöhung der Schneidleistung der Wurzelkanalinstrumente
- Reduktion der Gefahr der Instrumentenfraktur

Derzeit stehen zahlreiche Wurzelkanalspülungen verschiedenster Art und Konzentration zur Verfügung. Zu den gebräuchlichsten Spüllösungen zählen NaOCl, EDTA, H₂O₂, Chlorhexidindigluconat und Zitronensäure. Trotz der unterschiedlichen Eigenschaften ist ihnen gemein, dass ihre Effizienz vom Durchmesser und von der Länge des mechanisch aufbereiteten Wurzelkanals abhängt. Der Wirkmechanismus der Wurzelkanalspülungen entfaltet sich ausschließlich in den Bereichen des Wurzelkanals, zu denen die Lösung direkten Kontakt aufzunehmen vermag. Darüber hinaus ist ihre Effektivität von Konzentration, Temperatur, Einwirkzeit und Applikationsart abhängig (Abou-Rass und Piccinino 1982).

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

Das Mittel, was die oben genannten Anforderungen zumindest weitgehend erfüllt, ist Natriumhypochlorit (NaOCl), es stellt daher auch das am häufigsten verwendete Agens im Bereich der Endodontie dar. Über die ideale Konzentration dieser Spüllösung herrscht in der Literatur keine Einigkeit, im Allgemeinen wird aber eine Konzentration von 0,5 – 5,25% empfohlen. Neben einer antibakteriellen Wirkung, besitzt es die Fähigkeit, nekrotisches Material und Pulpagewebe aufzulösen

(Gutiérrez et al. 1990 / Hülsmann 1997). Die Effektivität der Spülung mit NaOCl hängt entscheidend von der Eindringtiefe in den Wurzelkanal, der eingebrachten Menge und einer angemessenen Einwirkdauer ab. Die Entfernung der bei der mechanischen Wurzelkanalaufbereitung entstehenden Schmierschicht (smear layer) gelingt mit der alleinigen Applikation von NaOCl jedoch nicht (Baumgartner und Cuenin 1992).

Nach der Präparation des Zahnhartgewebes entsteht auf dem bearbeiteten Dentin eine Schmierschicht (smear layer) bestehend unter anderem aus Zahnhartgewebe- und Zelltrümmern, Bakterien und Dentinliquor. Bei einer infizierten Nekrose enthält diese Schicht darüber hinaus noch Bakterien (Koçkapan 1995 / Petschelt und Oberschachtsiek 1985 / Sen et al. 1995). Diese Schmierschicht ist zwischen 1 - 5 µm dick und nicht durch Wasserspray oder Wattepellets zu entfernen. Effekt und Einfluss dieser von Mc Comb und Smith 1974 erstmals beschriebenen Schmierschicht werden bis heute kontrovers diskutiert. Klinisch problematisch stellt sich die Tatsache dar, dass trotz intensiver Desinfektionsmaßnahmen Bakterien sowohl in der Schmierschicht, als auch in den Dentintubuli verbleiben können (Brönström 1984). Uneinigkeit herrscht auch über die Eigenschaft der Schmierschicht, das Eindringen von Mikroorganismen in die Dentinkanälchen zu verhindern (Clark-Kolke et al. / 2003 Drake et al. 1994 / Love et al. 1996). So gehen einige Autoren davon aus, dass es durch die Verbolzung der Dentintubuli durch die anfallende Schmierschicht zu einer gewissen Versiegelung der Wurzelkanaloberfläche kommt, was ein Nachsickern von Feuchtigkeit aus den Dentinkanälchen verhindern und so die Voraussetzung für einen wanddichte Kanalfüllung schaffen soll (Kröncke 1981). Ein anderer Ansatz ist, dass die apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen nicht alleine von dem Vorhandensein bzw. Fehlen der Schmierschicht bestimmt wird, sondern vielmehr von der Kombination der Schmierschicht mit der jeweils verwendeten Wurzelkanalfüllung (Valle Fröes et al. 2000). Beim Belassen der Schmierschicht wird auch diskutiert, ob die Haftung der Füllmaterialien an der Dentinoberfläche des Wurzelkanals reduziert (Gettleman et al. 1991) und das Eindringen des Sealers in die Dentintubuli erschwert wird, so dass es zu einer geringeren Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung kommen kann (Kennedy et al. 1986 / Petschelt et al. 1987).

Strebt man nun an, die Schmierschicht vollständig zu entfernen, bietet sich die Kombination von NaOCl und EDTA (Ethylendiamintetraessigsäure) oder Zitronensäure an (O'Connell et al. 2000). EDTA ist ein organischer Chelator, der mit Kalziumionen wasserlösliche Metallkomplexe bildet, wodurch es zu einer Demineralisation von anorganischen Substanzen kommt. Die entmineralisierende Wirkung dieser Spüllösung erleichtert vor allem die Aufbereitung enger bzw. stark kalzifizierter Wurzelkanäle. Auch konnte ein antibakterieller Effekt gegen alpha-hämolyzierende Streptokokken und Staphelokokkus aureus bei gleichzeitiger, geringer Zytotoxizität nachgewiesen werden (Hülsmann 1997 / Patterson 1963).

2.6 Wurzelkanalfülltechniken

Durch die Wurzelkanalaufbereitung wird ein Zustand der größtmöglichen Keimarmut geschaffen, der durch einen dauerhaften, flüssigkeits- und bakteriendichten Verschluss des gesamten Wurzelkanalsystems konserviert werden soll. Hierdurch soll sowohl das Eindringen von Mikroorganismen oder Flüssigkeit (Hellwig et al. 2006) als auch eine Reinfektion von apikal oder koronal verhindert werden (Guldener und Langeland 1993 / Heidemann 1989 / Wesselink 1995). Hierzu müssen neben den apikalen und koronalen Bereichen des Wurzelkanals auch die akzessorischen Kanäle sowie offen liegende Dentintubuli verschlossen und darüber hinaus eine Überfüllung über den physiologischen Apex vermieden werden, da eigentlich alle Wurzelkanalfüllungsmaterialien im periapikalen Gewebe Fremdkörperreaktionen bewirken können (Kerekes und Tronstad 1979) und insbesondere apikale Undichtigkeiten einer Wurzelkanalfüllung als Hauptursache für Misserfolge in der Endodontie gelten (Ingle und Taintor 1985). Zahlreiche Studien (Thoden Van Velzen et al. 1981 / Molven und Halse 1988) und In-vitro-Untersuchungen belegen, dass eine inadäquate Wurzelkanalfüllung im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung als die Hauptmisserfolgsquelle gilt (Dow und Ingle 1955). Auf die Verwendung eines Sealers sollte niemals verzichtet werden, da sonst der bakteriendichte Verschluss des Wurzelkanalsystems nicht gewährleistet ist (Beer 1991 / De Moor und De Boever 2000).

Allerdings muss zusätzlich beachtet werden, dass unabhängig von der gewählten Methode der Wurzelkanalfüllung immer gilt, je höher der Anteil an Sealer in einer

Wurzelkanalfüllung ist, umso ausgeprägter kann die Auswaschung des Materials sein (Peters 1992a, 1992b, 1992c).

Man unterscheidet bei den gebräuchlichen Wurzelkanalfülltechniken zwischen Kalt- und Warmtechniken. Zu den Kalttechniken zählen die Zentralstifttechnik und die laterale Kondensation und zu den Warmtechniken bzw. den thermoplastischen Verfahren die vertikale Kondensation, die thermoplastische Kondensation (Obtura Spartan, Fenton Missouri, USA) sowie die warme Einstiftmethode (Thermafil Densply Maillefer Instruments, Ballaigues, Schweiz).

2.6.1 Kalttechniken

2.6.1.1 Zentralstift- / Einstift- / Single-Cone-Technik

Als Modifikation der reinen Pastenfüllung kann die Zentralstifttechnik bzw. Einstifttechnik (single-cone-Technik) angesehen werden. Entsprechend der Länge und Größe des zuletzt verwandten Aufbereitungsinstrumentes wird ein entsprechend genormter Guttaperchastift als volumenstabiles Kernmaterial (Masterpoint) gewählt. Der Stift wird nun entweder direkt mit Sealer beschickt, oder der Sealer wird mit einem Reamer oder Lentulo auf die Kanalwände gebracht. Da die Stiftform der des aufbereiteten Wurzelkanals möglichst entsprechen soll, setzt diese Technik eine standardisierte Aufbereitung voraus, die so eher bei geraden Wurzelkanälen mit rundem Querschnitt möglich ist (Heidemann 2001 / Petschelt und Oberschachtsiek 1985 / Zidan et al. 1987) und den Indikationsbereich für diese Technik stark eingrenzt. Entspricht die aufbereitete Kanalform nicht der des Guttaperchastiftes, wird der Sealeranteil an der Wurzelkanalfüllung unverhältnismäßig groß und führt besonders im mittleren und koronalen Wurzelkanaldrittel zu erheblichen Porositäten im Sealer und mangelnder Randständigkeit durch die während der Abbindephase eintretende Schrumpfung des Sealers. Auch können Unebenheiten des Kanals durch die fehlende laterale Kondensation nur ungenügend ausgeglichen werden. So erklärt sich auch, warum die Zentralstifttechnik in zahlreichen Dichtigkeitsuntersuchungen schlechtere Ergebnisse als andere Wurzelkanalfülltechniken aufwies (Wesselink 1990). Zur Verbesserung dieser Fülltechnik wurde versucht die kongruente Passung zwischen Guttaperchastift und Wurzelkanalquerschnitt zu verbessern, indem der

Guttaperchastift mit verschiedenen Lösungsmitteln bearbeitet wurde. Dies sollte zur Anlösung der Stiftoberfläche führen, um so bei der Einführung in den Wurzelkanal die Form des Kanalquerschnittes zu erreichen. Dieser Versuch trug zwar zur Verbesserung der Adaptation des Guttaperchastiftes bei (Wong et al. 1982), doch die verwendeten Lösungsmitteln u. a. Xylol und Chloroform beeinträchtigten durch ihre Lösungseigenschaften die apikale Dichtigkeit (O'Neill et al. 1983 / Russin et al. 1980) und erwiesen sich darüber hinaus aufgrund ihrer neuro-zytotoxischen und kanzerogener Wirkung als nicht biokompatibel. Obwohl die Einzelstifttechnik also wenig Zeit, Material und Erfahrung erfordert, ist sie in Bezug auf die oben genannten Unzulänglichkeiten zur Herstellung einer biokompatiblen und dichten Wurzelkanalfüllung als ungeeignet zu beurteilen.

2.6.1.2 Laterale Kondensation

Die gebräuchlichste Abfüllmethode ist die Technik der lateralen Kondensation, mit der bis heute bestehende oder neu entwickelte Füllungstechniken verglichen werden (Dummer et al. 1994 / Gilhooly et al. 2000 / Gulabivala et al. 1998 / McMurtrey et al. 1992 / Valli et al. 1998), da Autoren in Studien die Überlegenheit dieser Technik belegen (Grossmann et al. 1988 / Schroeder 1981) und sie als die gegenwärtig am meisten bekannte und akzeptierte Technik einordnen (Schäfer 2000). Bei dieser Technik werden Guttapercha-Stifte durch ihre kalte Verformbarkeit (Friedmann et al. 1975) zu einer homogenen Masse verdichtet. Neben einem Hauptstift (Masterpoint) werden akzessorische Guttaperchastifte (Beisteckstifte) in den Wurzelkanal eingebracht. Um eine möglichst dichte Ansammlung aus Guttaperchastiften zu erzielen, müssen die auf den Spreader folgenden Beisteckstifte zwei ISO-Größen geringer als die Spreadergröße gewählt werden, da sonst die Gefahr auftritt, dass Hohlräume in der Wurzelkanalfüllung entstehen. Der Masterpoint entspricht in seiner Größe dem zuletzt verwendeten Instrument (apikale Masterfeile) und sollte unter etwas Spannung eingebracht werden (Klemmpassung). Nach Einbringen des mit Sealer benetzten Masterpoints wird der Stift mit Hilfe eines bis kurz vor den Apex reichenden Spreaders nach apikal und koronal kondensiert. Der so entstandene Raum wird mit einem akzessorischen Guttaperchastift aufgefüllt. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis sich der Spreader nur noch weniger als bis zu der Hälfte des Wurzelkanals einführen lässt (Hellwig et al. 2006). Die in verschiedenen Studien aufgeführten Ergebnisse zur lateralen Kondensation differieren.

Bei Dichtigkeitsuntersuchungen von Wurzelkanalfüllungen mit verschiedenen Fülltechniken berichteten einige Autoren von einer hohen Dichtigkeit der laterale kondensierten Wurzelkanalfüllungen im Vergleich zu Füllungen, die mit der Zentralstifttechnik (Beatty und Zakariasen 1985 / Beatty et al. 1986 / Beatty et al. 1989) oder mit erwärmter Guttapercha (thermoplastische Fülltechnik) durchgeführt wurden (Haddix et al. 1991 / LaCombe et al. 1988 / Lutz et al. 1986 / Mann und Mc Walter 1987). Anderen Autoren zufolge passten sich lateral kondensierte Wurzelkanalfüllungen nur mangelhaft dem Wurzelkanalverlauf an (Brayton et al. 1973 / Budd et al. 1991), Kanalausbuchtungen wurden nur unzureichend (Brayton et al. 1973 / Larder et al. 1976) oder ausschließlich mit Sealer gefüllt (Brayton et al. 1973 / Budd et al. 1991). Die Sealerschichtdicke innerhalb der Wurzelkanalfüllung zeigte große Variationen und es fielen auch Porositäten und Inhomogenitäten auf, die darauf zurückzuführen waren, dass die Guttaperchastifte untereinander keine homogene Füllung bilden (Brayton et al. 1973 / Budd et al. 1991 / Larder et al. 1976). Allerdings hielten andere Autoren schon früh dagegen, dass die Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung eher von der Passgenauigkeit des verwendeten Masterpoints als von der Menge der Nebenstifte abhängig sei (Brothmann 1979 / Nicholls 1979). Apikale Extrusionen sind bei der lateralen Kondensation seltener als bei thermoplastischen Fülltechniken anzutreffen (LaCombe et al. 1988 / Lutz et al. 1986 / Mann und Mc Walter 1987), es besteht aber die Gefahr der vertikalen Wurzelfraktur durch einen zu hohen Kondensationsdruck (Meister et al. 1980 / Pitts et al. 1983). Als Voraussetzung für die optimale Durchführung dieser Fülltechnik ist eine entsprechende Übung seitens des Behandlers anzusehen (Lischitz 1920 / Roulet und Beringer 1985). Eines der Probleme dieser Fülltechnik ist sicherlich die schwierige Verdichtung der Guttaperchastifte im Bereich des apikalen Wurzeldrittels, da der Spreader nur eine begrenzte Flexibilität aufweist. Als eigentlicher Nachteil der lateralen Kondensation kann nach einer Studie (Wong et al. 1981) ein erhöhter Zeitbedarf, mit einer durchschnittlichen Füllzeit von 5,60 (+/- 1,10) Minuten eines Wurzelkanals, angesehen werden.

2.6.2 Thermoplastische Verfahren

Sämtliche thermoplastischen Methoden basieren auf der Eigenschaft der Guttapercha, bei Wärmezufuhr zu erweichen und so als plastisch-verformbares Material verwendet werden zu können (Guldener und Langeland 1993). Durch die

so entstandene Plastizität ist es überhaupt nur möglich, den aufbereiteten Wurzelkanal im Sinne einer dreidimensionalen Wurzelkanalfüllung mit Guttapercha aufzufüllen (Gençoglu et al. 2002 / Jarrett et al. 2004 / Wu et al. 2001). Bezüglich der Dichtigkeit thermoplastischer Wurzelkanalfüllung besteht hingegen noch Uneinigkeit. Allen thermoplastischen Verfahren gemein ist, dass die Abkühlung des zuvor erwärmten Füllungsmaterials im Wurzelkanal eine Schrumpfung der Guttapercha bewirkt (Schilder et al. 1985) was zu einer mangelhaften Wanddichtigkeit führt. Diese Inkongruenz zwischen Kanalwand und erkalteter Guttapercha bedingt, dass Warmtechniken bis jetzt ausnahmslos in Kombination mit einem Sealer angewandt werden müssen (Ishley und ElDeeb 1983). Einige Autoren sehen dennoch die Abdichtungseigenschaften der thermoplastischen Wurzelkanalfüllung gegenüber der lateralen Kondensation im Vorteil (Al-Dewani et al. 2000 / Beatty et al. 1989), andere konnten keinen signifikanten Dichtigkeitsunterschied zwischen thermoplastischen und lateral kondensierten Wurzelkanalfüllungen nachweisen (Abarca et al. 2001 / Pallarés und Faus 1995). Ein weiterer in der Literatur beschriebener Nachteil der thermoplastischen Verfahren ist die Gefahr der Überextension der Wurzelkanalfüllung (Chohayeb 1992b / Gatot et al. 1989 / LaCombe et al. 1988). Auf Grund der verschiedenen Vor- und Nachteile konnten die thermoplastischen Wurzelkanalfülltechniken die laterale Kondensation bislang im klinischen Alltag noch nicht ersetzen.

2.6.2.1 Vertikale Kondensation nach Schilder

Alternativ zu der Technik der lateralen Kondensation verbreitet sich zunehmend die Technik der vertikalen Kondensation. Die vertikale Kondensation, entwickelt 1967 von H. Schilder zur dreidimensionalen Wurzelkanalfüllung, hat den entscheidenden Vorteil, dass mit ihrer Hilfe erstmals eine vollständige und dreidimensionale Füllung des Wurzelkanalsystems durchgeführt werden konnte (Stoll und Stachniss 2006). Bei dieser Technik wird thermisch plastifizierte Guttapercha zusammen mit dem verwendeten Sealer mechanisch mittels eines Planstopfers (plugger) eingebracht und nach apikal kondensiert. Der so entstehende Druck hilft, Sealer und Guttapercha auch in Seitenkanäle und nicht instrumentierte Bereiche des Kanalsystems zu pressen. Es wird ein nicht genormter konischer Guttaperchastift auf Arbeitslänge in den konisch aufbereiteten Wurzelkanal eingebracht und auf seine Passgenauigkeit kontrolliert. Im Idealfall soll der Guttaperchastift beim

Herausziehen apikal etwas klemmen („tugback“). Vor dem erneuten Einbringen wird der Guttaperchastift ca. 0,5 mm an seiner apikalen Spitze gekürzt und dünn mit Sealer beschickt. Anschließend beginnt man mit dem „downpack“. Man trennt mit einer erwärmten Hitzesonde den Guttaperchastift auf der Höhe des Kanaleinganges ab und kondensiert mit dem Planstopfer („Plugger“) in vertikaler Richtung. Nach der Kondensation dringt man mit der Hitzesonde („heat carrier“) in den Wurzelkanal ein und lässt sie dort erkalten. Beim Herausziehen der erkalteten Sonde wird meist etwas Guttapercha mit aus dem Kanal entfernt, anschließend wird mit einem kleineren Planstopfer kondensiert. Beim letzten Erwärmungsvorgang erreicht die Sonde den apikalen Bereich des zu füllenden Wurzelkanals und der dünnste Planstopfer wird bis etwa 5mm vor Apex herangeführt und dort bis zum Erkalten der Guttapercha mit Druck positioniert um die Schrumpfung während der Abkühlungsphase zu kompensieren. An diesen so genannten „downpack“ schließt sich nun die Auffüllung der verbleibenden Wurzelkanalabschnitte mittels kleiner Guttaperchastücke und weiterer Phasen von Plastifizierung und Kondensation an, der so genannte „backfill“.

Nachteile der vertikalen Kondensation sind, neben der Tatsache, dass diese Fülltechnik für den Behandler schwierig zu erlernen, zu beherrschen und mit einem hohen zeitlichen Aufwand einhergeht, die Voraussetzung für die Anwendung dieser Fülltechnik. Es muss ein stark konisch ausgeformter Wurzelkanal mit einem Taper von mindestens vier Prozent vorliegen.

Es konnte in einigen Studien gezeigt werden, dass mit der warmen vertikalen Kondensationstechnik dichte und homogene Wurzelkanalfüllungen produziert werden können, insbesondere im Vergleich zu kalten Kondensationstechniken (Gençoglu et al. 2002 / Jacobson et al. 2002).

2.6.2.2 Buchanan „Continuous Wave of Obturation“-Technik

Als Weiterentwicklung der oben genannten vertikalen Kondensation nach Schilder kann die 1987 von Buchanan entwickelte Wurzelkanalfülltechnik „Continuous Wave of Obturation“ angesehen werden. Hier wurde die zuvor manuell verwendete und zu erwärmende Sonde durch einen elektrisch beheizbaren „heat carrier“ mit konstanter Temperaturregelung, welcher den „downpack“ in einem einzigen Arbeitsschritt ermöglicht ersetzt (System B, SybronEndo, Orange CA, USA). Bei einer angelegten

Temperatur von 200°C wird die Wärmesonde bis ca. 3-4mm vor den Apex in den Wurzelkanal vorgeschoben. Die Guttapercha wird plastifiziert, es baut sich in der nun viskösen Guttapercha eine kontinuierliche hydraulische Druckwelle („continuous wave“) bis zum Apex auf und dadurch soll die Guttapercha bis in Seitenkanäle und nicht instrumentierte Bereiche gepresst werden. Es konnte gezeigt werden, dass besonders die Obturation der Seitenkanäle mit der continuous-wave-Technik schneller durchführbar war als mit der in lateralen Kondensation (Keçeci et al. 2005). Der „downpack“ muss bei dieser Methode im Gegensatz zu der ursprünglichen Füllmethode nach Schilder nicht mehr unterbrochen werden und auch die Guttaperchaapplikation kann in den Wurzelkanal während des „backfill“ zeitlich optimiert und in nur einem Arbeitsschritt absolviert werden (Jerome 1994). Der „backfill“ kann durch Injektion thermisch plastifizierter Guttapercha mittels z.B. der Obtura I-III Geräte (Obtura Spartan, Fenton Missouri, USA) erfolgen. Buchanan empfiehlt jedoch kleine Portionen in den Kanal einzubringen und mit einem geeigneten Planstopfer zu kondensieren, um Inhomogenitäten in der Wurzelfüllung auszugleichen. Auch sollte die Obtura-Kanüle vor dem „backfill“ ca. 5 Sekunden im Kanal verweilen um die Kanalwände anzuwärmen (Buchanan 1994 / 1996 / 2004).

3 Problemstellung

In den letzten Jahrzehnten lag der Forschungsschwerpunkt der Endodontie zunächst auf den Untersuchungen der Wurzelkanalanatomie, den pathologischen Veränderungen der Zahnpulpa und deren Behandlung. Es wurde in zahlreichen Studien festgestellt, dass der Wurzelkanal tatsächlich ein Wurzelkanal-System mit Haupt- und Seitenkanälen und Ramifikationen ist. Aufbereitet und mit herkömmlichen Wurzelkanalfüllmaterialien gefüllt werden können aber nur die Hauptkanäle. Allein diese Tatsache ist zu einem hohen Grad für die Misserfolgsquoten bei Wurzelkanalfüllungen verantwortlich. Des Weiteren wurde die entscheidende Rolle der Bakterien in der Ätiologie pulpaler und periapikaler Erkrankungen, beziehungsweise der Reinfektion aufbereiteter und obturierter Wurzelkanäle durch Forschungsergebnisse der letzten 15-20 Jahre verifiziert (Sundqvist 1995). Besonders die Notwendigkeit eines dauerhaft hermetischen dreidimensionalen Wurzelkanalverschlusses wurde stets betont. Auch das die vollständige bakterielle Wiederbesiedlung der Wurzelkanäle, die mit nur einem Guttapercha-Stift und ohne Sealer gefüllt waren unvermeidbar ist, wurde angeführt (Khayat et al. 1993). Die Frage nach der Bedeutung des Wurzelkanalfüllmaterials in Bezug auf die Dichtigkeit verschiedener Wurzelkanalfüllungen stellt ein Diskussionsthema verschiedener Studien dar. Die Applikation kalter oder erwärmter Guttapercha sowie verschiedener Sealer nimmt in diesem Zusammenhang eine besondere Stellung ein. Darüber hinaus standen endodontische Techniken, Behandlungsstrategien und natürlich die Eigenschaften der Füllmaterialien im Mittelpunkt zahlreicher Untersuchungen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, fünf verschiedene Fülltechniken hinsichtlich der Qualität der Obturation in gekrümmten Wurzelkanälen miteinander zu vergleichen. Folgende Parameter wurden hierfür ausgewertet:

- 1) Prozentualer Anteil der Guttapercha in der Wurzelkanalfüllung
- 2) Prozentualer Anteil des Sealers in der Wurzelkanalfüllung
- 3) Prozentualer Anteil von Hohlräumen (Voids) in der Wurzelkanalfüllung
- 4) Häufigkeit der Extrusion der Füllungsmaterialien
- 5) Zeitbedarf für die Wurzelkanalfüllung

4 Eigene Untersuchungen

4.1 Material und Methode

4.1.1 Auswahl der Zähne

Zur Durchführung der Untersuchungen wurden insgesamt 60 extrahierte menschliche Ober- und Unterkiefer-Molaren mit mindestens einer gekrümmten Wurzel und einem gekrümmtem Wurzelkanal herangezogen. Die koronale Zugangskavität wurde entsprechend der anatomischen Lage der Wurzelkanäle mit einem diamantierten Schleifkörper, bei weitgehend intakten Kronen unter Wasserkühlung präpariert und die Durchgängigkeit des Wurzelkanals mit Hilfe eines Wurzelkanalinstrumentes der ISO-Größe 10 überprüft. Es wurden nur Zähne mit intakten Wurzelspitzen und einem apikalen Kanaldurchmesser entsprechend der ISO-Größe 15 ausgewählt. Dies wurde mit Silberspitzen (VDW, München, Deutschland) der ISO-Größen 15 und 20 überprüft.

Standardisierte Röntgenaufnahmen mit der Initialfeile der ISO-Größe 15 im gekrümmten Kanal wurden vor Beginn der Instrumentierung angefertigt. Dazu wurden die Zähne in ein silikonbasiertes Abformmaterial (Silaplast Futur, Detax, Ettlingen, Deutschland) eingebettet, um eine reproduzierbare Position zu gewährleisten. Die Längsachse des Wurzelkanals wurde parallel und so nah wie möglich zur Oberfläche des Kodak Ultra-speed Films (Kodak, Stuttgart, Deutschland) ausgerichtet. Der Röntgentubus und damit der Zentralstrahl wurden im rechten Winkel zum Wurzelkanal ausgerichtet. Bei einem Fokus-Objekt-Abstand von 50 cm und einem geringen Objekt-Film-Abstand von 5 mm ließen sich verzerrungsarme Abbildungen erreichen. Bei 70 kV und 7 mA betrug die Belichtungszeit 0,12 Sekunden. Die Filme wurden maschinell entwickelt, fixiert und getrocknet (Dürr-Dental XR 24 NOVA, Dürr, Bietigheim-Bissingen, Deutschland). Die computergestützte digitale Bestimmung von Krümmungswinkel und -radius wurde nach der Methode von Schäfer et al. (Schäfer et al. 2002) anhand eines Bild-Analyse-Systems erhoben.

In die Untersuchung wurden nur solche Zähne eingeschlossen, die einen Krümmungsradius von 5,0 bis 9,0 mm und einen Krümmungswinkel zwischen 25° und 35° aufwiesen. Zusätzlich wurde der Abstand vom Apex zur Schmelz-

Zementgrenze gemessen. Jeweils 12 Zähne wurden derart auf 5 Gruppen verteilt, dass hinsichtlich des Krümmungswinkels und -radius homogene Gruppen resultierten. Die angestrebte Homogenität wurde mittels multipler Varianzanalyse (ANOVA) und post-hoc Student-Newman-Keuls-Test sichergestellt.

4.1.1.1 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

Pro Zahn wurde jeweils ein Wurzelkanal bis zu einer apikalen Größe von ISO 35 mittels drehmomentgesteuerter maschineller Präparation mit Endo IT professional (VDW, München, Deutschland) und Mtwo-Nickel-Titan-Instrumenten (VDW, München, Deutschland) aufbereitet. Der Einsatz der Mtwo-Instrumente erfolgte analog der Single-length-Technik. Jedes verwandte Instrument einer Sequenz wurde auf volle Arbeitslänge in den aufzubereitenden Kanal eingebracht. Die Aufbereitungen erfolgte in folgender Sequenz: ISO 10, 4% Konizität, ISO 15, 5% Konizität, ISO 20, 6% Konizität, ISO 25, 6% Konizität, ISO 30, 5% Konizität, ISO 35, 4 % Konizität.

Die Arbeitslänge wurde durch die Messung der Initialfeile (ISO 10) bis zum apikalen Foramen minus 1 mm bestimmt. Alle Instrumente wurden mit dem EDTA-haltigen Gleitmittel FileCare (VDW, München, Deutschland) zur leichteren Aufbereitung beschickt, bevor sie jeweils in den Wurzelkanal eingebracht wurden. Nach jedem Instrument wurde der Wurzelkanal mit 5 ml einer 2,5% NaOCl-Lösung und nach Erreichen der ISO-Größe 35 abschließend mit 5 ml NaCl-Lösung unter Benutzung einer Plastikspritze mit einer am Ende stumpfen Nadel (Hawe Neos, Gentilino, Schweiz) gespült. Sämtliche Aufbereitungen wurden von einem Behandler ausgeführt. Vor der Wurzelkanalfüllung wurde die Schmierschicht durch Spülung mit 10 ml EDTA (17%) sowie 10 ml NaOCl (5%) entfernt und die behandelten Wurzelkanäle anschließend mit Papierspitzen (sterile ISO-Papierspitzen, Roeko, Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland) getrocknet. Nach abgeschlossener Aufbereitung wurden die Wurzelkanäle entsprechend ihrer Gruppeneinteilung (A bis E) gefüllt.

4.1.1.2 Wurzelkanalfüllungen

Tabelle 1: Kenndaten der gekrümmten Wurzelkanäle (n=12 Zähne pro Gruppe), der bei der Gruppe (A-E) jeweils verwendeten Wurzelkanalfüllpaste (Sealer), der ISO-Größe der jeweiligen verwendeten Guttapercha-Stifte und der jeweils zum Einsatz gekommenen Wurzelkanalfülltechnik (Technik). Die Überprüfung der homogenen Verteilung der Zähne auf die einzelnen Gruppen erfolgte mittels multipler Varianzanalyse (ANOVA) und post-hoc Student-Newman-Keuls-Testes. Im Folgenden werden die Gruppen nur mit A-E benannt, die Technik bleibt jedoch immer die in dieser Tabelle jeweils angeführte.

Gruppen	Anzahl der Zähne	Sealer	Guttapercha-Stift	Technik
A	12	AHPlus	35, Taper 4%	Einstifttechnik
B	12	GuttaFlow	35, Taper 4%	Einstifttechnik
C	12	AHPlus	35, Taper 4%	Laterale Kondensation
D	12	AHPlus	BeeFill	Schildertechnik (vertikale Kondensation)
E	12	AHPlus	35, Taper 2%	Laterale Kondensation

Zur Wurzelkanalfüllung fand in den Gruppen A, C, D und E der Sealer AHPlus (DeTrey Dentsply, Konstanz, Deutschland) Verwendung. Seine zwei Materialkomponenten (Paste A und Paste B) wurden mit einem Metallspatel gemäß den Herstellerangaben im Verhältnis 1:1 auf einer Glasplatte angemischt. Sämtliche Zähne der Gruppen A und B wurden entsprechend einer Zentralstifttechnik gefüllt.

Als Wurzelkanalfüllpaste wurde bei der Gruppe B GuttaFlow (Roeko, Coltène Whaledent, Langenau, Deutschland) verwendet.

Gruppe A: Einstifttechnik (Mtwo-Guttapercha, Größe 35, 4 % Konizität) mit AHPlus als Sealer. Der ISO-Größe und Arbeitslänge des zuletzt benutzten Aufbereitungsinstrumentes (ISO-Größe 35) entsprechend, wurde ein passender Guttaperchastift ausgewählt. Der Sealer (AHPlus) wurde mit Hilfe eines Reamers auf die Kanalwände aufgebracht und der Wurzelkanal im Anschluss mit dem ausgewählten Guttaperchastift abgefüllt. Überschüssiges Guttapercha am Kanaleingang wurde mit einem heißen Kugelstopfer abgeschmolzen und überschüssiger Sealer aus dem Kronenkavum entfernt.

Gruppe B: Einstifttechnik (Mtwo-Guttapercha, Größe 35, 4 % Konizität) mit GuttaFlow als Sealer. Nach Bestimmung der Aufbereitungslänge und Bestimmung der ISO-Größe des zuletzt verwendeten Aufbereitungsinstrumentes (ISO-Größe 35) wurde ein Masterpoint ausgewählt und eingepasst. Zur exakten Ermittlung der Füllungstiefe wurde die Arbeitslänge mit einem Stopper auf dem Canal Tip der GuttaFlow-Kapseln markiert. Danach wurde der Canal Tip in den Wurzelkanal eingebracht, bis die zuvor bestimmte Arbeitslänge erreicht war. Nun wurde der Stopper 3 mm in Richtung der Austrittsöffnung des Canal Tips verschoben, um den Austrittspunkt für die GuttaFlow-Füllungstiefe zu setzen. Das Material wurde aktiviert, der mit Stopper versehene Canal Tip wurde auf die Kapsel geschraubt und anschließend in dem Applikationsgerät befestigt. Zur Kontrolle des korrekten Anmischverhältnisses innerhalb der Kapsel wurde etwas Material außerhalb der Wurzelkanäle abgegeben und mit der GuttaFlow-Farbskala verglichen. Überflüssiges Material wurde vom Canal Tip abgewischt, der Canal Tip bis zu der mit dem Stopper voreingestellten Tiefe in den Kanal eingebracht und GuttaFlow in den apikalen Wurzelkanalanteil appliziert. Anschließend wurde der zuvor ausgewählte Masterpoint mit GuttaFlow benetzt und ebenfalls langsam in den Kanal eingebracht. Nach ausreichender Positionierung wurde der Masterpoint zweimal hin und her bewegt, um eine vollständige Benetzung des Masterpoints und der Kanalwand zu gewährleisten. Floss das applizierte GuttaFlow nicht koronal aus dem Wurzelkanal heraus, nachdem der Masterpoint positioniert war, wurde der verbleibende ungefüllte Teil des Kanals mit Hilfe des apikal-koronalen Backfills

obturiert. Die Masterpoints wurden abschließend mit einem heißen Instrument gekürzt und die koronale Zugangskavität versäubert.

Die Wurzelkanalfüllungen der Zähne der Gruppen C und E wurden im Sinne einer lateralen Kondensation von Guttapercha angefertigt. Als Kernmaterialien kamen bei beiden Gruppen herkömmliche Guttapercha-Stifte zum Einsatz, jedoch mit dem Unterschied, dass bei Gruppe C Guttapercha-Spitzen mit einer Konizität von 4 %, bei der Gruppe E mit einer Konizität von 2 % verwandt wurden.

Gruppe C: laterale Kondensation mit einer der letzten Aufbereitungsgröße entsprechenden Guttapercha-Spitze (Mtwo-Guttapercha, Größe 35, 4% Konizität) und AHPlus als Sealer. Der Masterpoint wurde eingepasst, so dass er jeweils eine gewisse Klemmpassung im apikalen Kanalabschnitt aufwies. Danach wurde der Sealer zweimalig mit Hilfe einer K-Flexofile (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) in den Wurzelkanal eingebracht. Darüber hinaus wurden auch der Masterpoint ganz und die Beisteckstifte an der Spitze dünn mit Sealer benetzt. Mit Hilfe eines Nickel-Titan-Spreaders der ISO-Größe 25 wurde bis mindestens 2 mm vor Apex, unter Verwendung von Beisteckstiften der ISO-Größe 20, lateral kondensiert. Überschüssiges Guttapercha wurde anschließend mit einem erwärmten Kugelstopfer abgetrennt und die Wurzelkanalfüllung mit einem erwärmten Zementstopfer von koronal vertikal kondensiert.

Gruppe D: Schilder-Technik mit Beefill (VDW, München, Deutschland) und AHPlus. Die Wurzelkanäle der Gruppe D wurden mit einer Kombination aus Beefill und dem Sealer AHPlus im Sinne einer vertikalen Kondensation nach Schilder obturiert. Das BeeFill-System (VDW, München, Deutschland) zählt zu den noch selten angewandten „Warmfülltechniken“, welche wesentlich techniksensitiver sind. BeeFill, ein neuartiges Gerät zur thermoplastischen Obturation von Wurzelkanälen mit Guttapercha, bietet die individuelle Regulierung von Temperatur und Fließgeschwindigkeit. Der Markt bietet zurzeit BeeFill Pack für die Downpack-Technik, BeeFill für die Technik des Backfill und BeeFill 2in1 für Downpack und Backfill in einem Gerät an und zählt zu den warmen vertikalen Kondensationstechniken. Für diese Arbeit wurden die vorbereiteten Wurzelkanäle der Gruppe D in Downpack- und Backfill-Technik abgefüllt. Des Weiteren wurde

auch hier der Sealer AHPlus gemäß den Herstellerangaben verarbeitet und in die Wurzelkanäle eingebracht.

Gruppe E: laterale Kondensation mit ISO-genormten Guttapercha-Spitzen (2% Konizität) und AHPlus Sealer; Spreader ISO 25; Beistockstifte ISO 20. Das sich anschließende Prozedere entsprach dem der Gruppe C.

Die Zeit bis zur vollständigen Wurzelkanalfüllung wurde jeweils pro Zahn mit einer Stoppuhr gemessen.

Anschließend wurden die Zähne, ohne Röntgenkontrolle nach der Wurzelkanalfüllung, für 14 Tage bei einer Temperatur von 37°C und einer Luftfeuchtigkeit von 100% gelagert. Dies sollte ein vollständiges Abbinden der Füllmaterialien in einer dem intraoralen Milieu möglichst ähnlichen Umgebung gewährleisten und gleichzeitig ein Austrocknen der Zähne vermeiden. Danach wurden die Versuchszähne mit dem zu untersuchenden Wurzelkanal senkrecht auf dem Boden einer Kunststoffform mit Hilfe von Klebewachs (Hartklebewachs rot, Deiberit 502, Siladent, Goslar, Deutschland) befestigt und in einen kaltpolymerisierenden Kunststoff (Technovit 4071, grün-transparent, Heraeus-Kulzer, Wehrheim, Deutschland) eingebettet. Nach erfolgter Auspolymerisierung des Kunststoffes wurden die Proben in eine Lochsäge (Innenlochsäge Typ 1600, Leica, Wetzlar, Deutschland) so eingespannt, dass Schnitte senkrecht zu dem zu untersuchenden Wurzelkanal angefertigt werden konnten. Die Schnitte wurden unter Wasserkühlung zur Verhinderung des Verschmierens der Guttapercha in den Höhen 1, 2, 3, 4, 6 und 8 mm, gemessen vom anatomischen Apex, angefertigt (insgesamt 360 Schnitte), mit Gruppenzahl und Nummer versehen und anschließend stereomikroskopisch fotografiert (Minolta dynax 7d, Leitz, Wetzlar, Deutschland).

Die Arbeitszeit für die Wurzelkanalfüllungen, die Inzidenz von Überfüllungen, sowie das Verhältnis von Guttapercha/Sealer/Lufteinschlüsse (PGP) in der Wurzelkanalfüllung wurden gemessen und statistisch ausgewertet. Der PGP der Querschnitte wurde mit Hilfe eines Bildanalyseprogramms (Bildanalyseprogramm Image J, Public Domain, Open Source, Nachfolgeprogramm des NIH Image) bestimmt.

Die Messung des Volumenverhältnisses von Guttapercha, Sealer und Voids, welches als Qualitätsmaßstab bei vergleichbaren Untersuchungen gilt, wurde an jeweils sechs Schnitten (1 mm, 2 mm, 3 mm, 4 mm, 6 mm und 8 mm gemessen vom Apex) pro Zahn vorgenommen. Insgesamt wurden 360 Schnitte ausgewertet.

4.2 Auswertung und Statistik

Jeweils 12 Zähne wurden derart auf die Gruppen A bis E verteilt, dass sich im Vergleich untereinander homogene Gruppen hinsichtlich Krümmungswinkel, Krümmungsradius und Länge der Wurzel (Schmelz-Zement-Grenze bis Apex, gemessen in mm) ergaben (siehe Tabelle 2).

Da die Schnitte in Höhe von 1 mm, gemessen vom Apex, uneinheitlich in Form und Struktur waren, wurden sie für die Erhebung der statistischen Auswertung nicht berücksichtigt. So konnten schließlich 300 Schnitte der Schnitthöhen 2, 3, 4, 6 und 8 mm statistisch ausgewertet werden.

Aus der Pixelzahl der erstellten Fotos wurden die prozentualen Verhältnisse Guttapercha / Sealer / Voids errechnet. Die statistische Auswertung erfolgte unter Anwendung der Varianzanalyse (ANOVA) und des Student-Newman-Keuls-Tests.

Ferner wurde die Zeit für die jeweilige Wurzelkanalfüllung von der ersten Anprobe des Spreaders und des Masterpoints bis zum Abtrennen der überschüssigen Guttapercha ermittelt. Die Zeitmessung erfasste also alle anfallenden Arbeitsschritte der fünf unterschiedlichen Obturationstechniken. Die statistische Analyse zum Vergleich der fünf Gruppen erfolgte mittels Varianzanalyse (ANOVA) und post-hoc Student-Newman-Keuls-Test bei einem Signifikanzniveau von $p < 0,05$.

Mittels des Chi-Quadrat-Tests wurde die Häufigkeit von Überfüllungen statistisch analysiert.

5 Ergebnisse

5.1 Homogenität der Versuchsgruppen (Tab. 2)

Tabelle 2: Homogene Verteilung von jeweils 12 Zähnen auf die Gruppen A-E. Für die Verteilung wurden die statistischen Auswertungen hinsichtlich: Krümmungswinkel, Arbeitslänge und der Länge der Wurzel (Schmelz-Zementgrenze bis Apex = SZ-Apex) berücksichtigt. Angegeben wurden jeweils das arithmetische Mittel (MW), die Standardabweichung (s), sowie der jeweils kleinste (Min) und größte Wert (Max) der untersuchten Einheit. Die statistische Auswertung erfolgte unter Anwendung der Varianzanalyse (ANOVA) und des Student-Newman-Keuls-Testes (p = Signifikanzniveau).

Gruppe	Krümmung [°]			Arbeitslänge [mm]			SZ-Apex		
	MW	s	Min-Max	MW	s	Min-Max	MW	s	Min-Max
A	30,98	2,93	25,0 – 35,0	19,70	1,93	17,0 – 24,0	13,50	1,61	11,0 – 16,0
B	30,83	3,63	25,0 – 35,0	19,08	1,86	15,0 – 21,0	13,54	1,46	12,0 – 17,0
C	30,87	3,53	25,8 – 35,0	19,29	1,50	17,0 – 22,0	13,62	1,44	11,5 – 16,5
D	31,03	2,96	25,7 – 34,8	19,58	2,43	17,0 – 24,5	13,58	1,49	12,0 – 17,0
E	30,93	2,65	25,1 – 34,1	18,75	1,65	16,0 – 21,0	13,54	1,39	11,0 – 15,5
	p = 1,000			p = 0,742			p = 1,000		

5.2 Zeitbedarf (Tab. 3)

Die mittlere Obturationszeit war in den Gruppen A (Einstiftmethode 4% / 35 Mtwo-Guttapercha / AHPlus) und Gruppe B (GuttaFlow / ISO 35 Mtwo-Guttapercha) signifikant kürzer ($p < 0,05$) als bei den Gruppen C (laterale Kondensation 4% / 35

Mtwo-Guttapercha / AHPlus), D (Schilder mit BeeFill / AHPlus) und E (laterale Kondensation ISO-Guttapercha / AHPlus).

Tabelle 3: Zeitbedarf für die Obturation (n = 12 Zähne pro Gruppe). Angegeben sind jeweils das arithmetische Mittel (MW) und die Standardabweichung (s). Gruppen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$).

Gruppe	Zeit [sec]	
	MW	s
A	44,00 ^a	4,32
B	40,33 ^a	4,97
C	105,25 ^b	4,45
D	259,08 ^d	15,35
E	180,50 ^c	15,61
	$p < 0,05$	

Zwischen den Füllungszeiten für die Wurzelkanäle der Gruppen A und B war ein signifikanter Unterschied nicht nachweisbar ($p > 0,05$). Signifikant am längsten dauerte die Obturation der Zähne der Gruppe D ($p < 0,05$).

5.3 Volumenverhältnisse Guttapercha / Sealer / Voids (Tab. 4)

5.3.1 Guttapercha

- Signifikant am meisten Guttapercha wiesen die Wurzelkanalfüllungen der Gruppen C, D und E in allen Schnittebenen auf ($p < 0,05$). Zwischen diesen Gruppen war ein signifikanter Unterschied indes nicht feststellbar ($p > 0,05$).
- Signifikant am wenigsten Guttapercha wiesen die mit der Einstiftmethode (Gruppe A) und GuttaFlow (Gruppe B) obturierten Wurzelkanäle, ebenfalls in jeder Schnittebene, auf ($p < 0,05$).
- Im Vergleich zwischen Gruppe A und B war ein signifikanter Unterschied nicht nachweisbar ($p > 0,05$).

5.3.2 Sealer

- Signifikant am meisten Sealer war in den Wurzelkanalfüllungen der Gruppen A und B, kontinuierlich durch alle Schritthöhen, nachweisbar ($p < 0,05$). Zwischen den beiden Gruppen war ein signifikanter Unterschied nicht feststellbar ($p > 0,05$).
- Signifikant am wenigsten Sealer wiesen die Wurzelkanalfüllungen der Gruppen C, D und E auf ($p < 0,05$).
- Im Vergleich zwischen den Wurzelkanalfüllungen der Gruppen C, D und E konnte ein signifikanter Unterschied nicht nachgewiesen werden ($p > 0,05$).

5.3.3 Voids

- Zwischen den fünf Gruppen lag bei keiner Schnittebene ein signifikanter Unterschied vor ($p > 0,05$).

Tabelle 4: Statistischer Vergleich zwischen den Wurzelkanalfüllungen der Zähne der Gruppen A-E für die Schnitte auf Höhe 2, 3, 4, 6 und 8 mm gemessen vom Apex. Angegeben sind der jeweilige durchschnittliche Anteil von Guttapercha (GP), Wurzelkanalfüllpaste (Sealer) und Lufteinschlüsse (Voids) in der Wurzelkanalfüllung.

Gruppe A: Einstiftmethode mit 4% Konizität, Guttapercha-Stift ISO-Größe 35 und Sealer AHPlus

Gruppe B: Einstifttechnik mit 4% Konizität, Guttapercha-Stift ISO-Größe 35 und Sealer GuttaFlow.





Gruppe C: laterale Kondensation mit 4% Konizität, Guttapercha-Stift ISO-Größe 35 und Sealer AHPlus.

Gruppe D: vertikale Kondensation nach Schilder, BeeFill und Sealer AHPlus.

Gruppe E: laterale Kondensation mit 2% Konizität, Beisteckstiften ISO-Größe 20 und Sealer AHPlus.

Gruppen mit verschiedenen Buchstaben unterscheiden sich signifikant ($p < 0,05$).

Gruppe	2 mm			3 mm			4 mm			6 mm			8 mm		
	GP	Sealer	Voids	GP	Sealer	Voids	GP	Sealer	Voids	GP	Sealer	Voids	GP	Sealer	Voids
A	^a 61,14 ±14,08	^a 55,88 ±14,57	2,98 ±3,08	^a 67,29 ±8,14	^a 28,55 ±7,35	4,15 ±3,85	^a 71,07 ±7,24	^a 24,98 ±5,77	3,94 ±2,52	^a 75,41 ±7,99	^a 22,27 ±8,49	2,31 ±1,93	^a 83,60 ±5,91	^a 12,95 ±5,83	3,45 ±2,90
B	^a 62,70 ±9,20	^a 31,94 ±10,88	5,36 ±3,43	^a 68,61 ±9,19	^a 25,58 ±10,24	5,81 ±4,96	^a 73,69 ±11,60	^a 21,99 ±11,21	4,88 ±3,16	^a 77,72 ±4,51	^a 18,64 ±4,54	3,63 ±2,70	^a 80,29 ±6,40	^a 13,46 ±7,32	5,49 ±3,40
C	^b 76,24 ±6,99	^b 19,10 ±6,10	4,25 ±3,70	^b 78,78 ±9,61	^b 15,58 ±9,65	4,39 ±3,74	^b 84,57 ±7,26	^b 12,31 ±4,85	3,45 ±5,40	^b 90,96 ±3,56	^b 5,04 ±3,02	3,93 ±2,58	^b 93,42 ±2,74	^b 3,50 ±3,48	3,04 ±2,28
D	^b 78,71 ±7,45	^b 16,64 ±7,18	4,65 ±3,87	^b 79,68 ±10,74	^b 17,89 ±9,86	3,34 ±3,26	^b 85,52 ±9,62	^b 12,18 ±8,48	2,47 ±2,48	^b 90,32 ±4,54	^b 5,52 ±3,42	4,16 ±2,53	^b 92,10 ±4,67	^b 5,21 ±3,27	2,68 ±2,58
E	^b 80,05 ±9,13	^b 16,88 ±8,20	3,04 ±3,46	^b 82,03 ±5,63	^b 14,34 ±6,58	3,62 ±2,99	^b 86,63 ±5,81	^b 10,30 ±4,82	3,16 ±3,00	^b 90,83 ±3,98	^b 5,95 ±3,79	3,21 ±1,83	^b 93,00 ±2,47	^b 3,13 ±2,18	3,86 ±3,03
			p = 0,440			p = 0,560			p = 0,532			p = 0,342			p = 1,154

	<p>Gruppe A: Einstifttechnik (Mtwo-Guttapercha, Größe 35, Taper 4%); Sealer AHPlus.</p>
	<p>Gruppe B: Einstifttechnik (Mtwo-Guttapercha, Größe 35, Taper 4%); Sealer GuttaFlow.</p>
	<p>Gruppe C: laterale Kondensation (Mtwo-Guttapercha; Größe 35, Taper 4%); Sealer AHPlus.</p>
	<p>Gruppe D: Schildertechnik / vertikale Kondensation mit Beefill; Sealer AHPlus.</p>
	<p>Gruppe E: laterale Kondensation (Mtwo-Guttapercha, Größe 35, Taper 2%); Sealer AHPlus.</p>

5.4 Extrusion von Füllungsmaterial (Tab.5)

Tabelle 5: Die Gruppen A-E bezeichnen die jeweilig angewandte Füllungstechnik der Wurzelkanäle der jeweiligen Gruppe (siehe Tab.4). (n = 12 Zähne pro Gruppe). Die Häufigkeit von Überfüllungen (Extrusion) wurde mittels Chi-Quadrat-Test statistisch analysiert.

Gruppe	Anzahl der Zähne n	Anzahl der Zähne mit Extrusion von Füllungsmaterial
A	12	1
B	12	6
C	12	5
D	12	9
E	12	4

Hinsichtlich der Häufigkeit von Überfüllungen (Sealer und/oder Guttapercha) lagen signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen vor (Chi-Quadrat, $p=0,021$).

In der Gruppe A traten Überfüllungen signifikant seltener auf als in der Gruppe D ($p<0,05$).

Alle anderen Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen waren indes nicht signifikant ($p>0,05$).

6 Diskussion

6.1 Diskussion der Methode

Als Parameter für die Qualität von Wurzelkanalfüllungen wurde in der vorliegenden Arbeit das prozentuale Verhältnis zwischen Guttapercha, Sealer und Voids in der Wurzelkanalfüllung untersucht. Ein möglichst hoher Anteil Guttapercha in einer Wurzelkanalfüllung ist wünschenswert, da viele Sealer in Wasser und in noch größerem Maße in Speichel einen Substanzverlust von bis zu 7% durch Löslichkeit und Resorption aufweisen (Schäfer und Zandbiglari 2003). Die so entstehenden Hohlräume innerhalb der Wurzelkanalfüllung begünstigen ein erneutes Bakterienwachstum im Wurzelkanal.

Einen entsprechend negativen Einfluss auf die Qualität der Wurzelkanalfüllung haben entstehende Lufteinschlüsse (Voids). Auch hier begünstigt die so entstehende Feuchtkammer ein erneutes Bakterienwachstum und mitunter sogar die vollständige Passage von Mikroorganismen von koronal nach apikal, respektive in umgekehrter Richtung. Daher wurden in dieser Arbeit, neben dem prozentualen Anteil von Guttapercha und Sealer, auch der prozentuale Anteil von Lufteinschlüssen (Voids) zur qualitativen Beurteilung der jeweiligen Wurzelkanalfüllung herangezogen.

Im Gegensatz zu vielen anderen Studien die Untersuchungen mit standardisierten Acrylklötzchen durchgeführt haben (Rangel et al. 2005), wurden in der vorliegenden Studie extrahierte menschliche Molaren mit jeweils einem gekrümmten Wurzelkanal, mit einem Krümmungswinkel zwischen 25° bis 35° verwandt, um der komplexen menschlichen Wurzelkanalanatomie Rechnung zu tragen. Es ergeben sich dabei zwar sicherlich Einflüsse durch Variationen des Kanalquerschnitts, der Kanallänge und Kanalkonfiguration. Diese wurden jedoch sowohl durch Präselektion der verwendeten Zähne, als auch durch eine standardisierte Aufbereitung der Wurzelkanäle minimiert. *Rice* und *Weine* wiesen jedoch schon 1986 darauf hin, dass bei gekrümmten Wurzelkanälen keine vollständig standardisierte Aufbereitung und Abfüllung möglich sei (Rice und Wine 1986).

Auch in den vergleichbaren neueren Studien aus den Jahren 2002 bis 2006, die sich mit verschiedenen Abfüllmethoden und dem Verhältnis von Guttapercha zu Sealer

im Wurzelkanal beschäftigten, wurden ebenfalls ausnahmslos extrahierte Zähne und nicht Acrylklötzchen verwendet. Die Schnittbereiche von 1, 2, 3, 4, 6 und 8 mm Abstand vom Apex wurden zur besseren Vergleichbarkeit der eigenen Ergebnisse entsprechend den Versuchsprotokollen ähnlicher Arbeiten gewählt (De-Deus et al. 2006 / Gençoglu 2003 / Jarrett et al. 2004 / Wu et al. 2001). Die seriellen Querschnitte der aufbereiteten und abgefüllten Wurzelkanäle umfassen nahezu alle Abschnitte des Wurzelkanals, um alle fünf Wurzelkanalfüllmethoden entlang der gesamten Wurzelkanallänge aussagekräftig untereinander vergleichen zu können.

Die zu untersuchenden Zähne wurden hinsichtlich des Krümmungswinkels und Krümmungsradius gleichmäßig auf die verschiedenen Untersuchungsgruppen verteilt, um vergleichbare Versuchsgruppen zu erzielen. Somit wurde der Einfluss von Formvariationen des Wurzelkanals als beeinflussender Faktor der Untersuchungsergebnisse minimiert. Die Rolle der zu untersuchenden Wurzelkanalfüllmaterialien rückt in diesem Zusammenhang mehr in den Vordergrund. Die Standardisierung möglichst zahlreicher Parameter hatte daher zur Folge, dass die Standardabweichungen in den einzelnen Gruppen vergleichsweise gering waren und somit eine unerwünschte Streuung der Ergebnisse vermieden wurde.

In der vorliegenden Arbeit wurden die 360 Zahnschnitte mit Hilfe einer Lochsäge (Innenlochsäge Typ 1600, Leica, Wetzlar, Deutschland) angefertigt. Die Gefahr bei der Anfertigung der Schnitte mit einer Säge oder rotierenden Trennscheiben ist die vermehrte Entstehung von Artefakten am thermoplastischen Material Guttapercha. Dieser Tatsache wurde durch den Einsatz einer kontinuierlichen starken Wasserkühlung während des Schneidens entgegengewirkt.

De-Deus et al. (2006) bearbeiteten derartige Schnitte mit Schleifpapier nach, um beschädigte oder verschmierte Areale zu entfernen. Jarrett et al. (2004) verzichteten ganz auf die Anwendung einer Säge oder rotierender Trennscheiben und erstellten die Schnitte mit Hilfe einer Skalpellklinge Nr. 15. In einer weiteren Studie wurde festgestellt, dass Rasierklingen sogar eine noch sauberere Schnittfläche erzeugen als Skalpellklingen (Gani et al. 2000).

Der Versuchsaufbau mit Dünnschliffpräparaten statt wie in der vorliegenden Untersuchung mit 1 mm dicken Querschnitten, hätte den Vorteil gehabt, dass die

Auswertungen der jeweiligen Schnitte mit einem Elektronenmikroskop vorgenommen werden könnten. Neben einem aufwendigeren Versuchsaufbau hat diese Methode jedoch den Nachteil, dass die REM-Fotos nicht mit Hilfe des Bildanalyseprogrammes Image J ausgewertet werden könnten und so der subjektive Eindruck des Beobachters von Homogenität und Dichtigkeit die Auswertung stärker beeinflusst hätte als bei dem vorliegenden Versuchsaufbau.

Die exakte Bestimmung der Arbeitslänge des aufzubereitenden Wurzelkanals ist eine der Voraussetzungen für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung. Idealerweise sollten Wurzelkanalfüllungen an der apikalen Konstriktion, dem endodontischen Apex, oder sehr kurz davor enden. Da der physiologische Apex und die apikale Konstriktion im Röntgenbild nicht ausreichend dargestellt werden können, sollte die Aufbereitungslänge 0,5-1 mm vor dem röntgenologischen Apex enden (Dummer et al. 1984 / Van de Voorde und Bjoerndahl 1969) um so die höchste Erfolgsrate zu erzielen. Bei Zähnen mit vitaler Pulpa wird so vermieden, dass das gesunde Gewebe jenseits der Konstriktion mechanisch oder chemisch traumatisiert wird. Bei Zähnen mit einer infizierten Pulpa wird die Verschleppung von Keimen in das noch nicht infizierte periapikale Gebiet verhindert. Eine zu kurze Wurzelkanalaufbereitung oder eine sich anschließende zu kurze Wurzelkanalfüllung hinterlassen jedoch einen nicht gesäuberten apikalen Wurzelabschnitt bzw. einen ungefüllten apikalen Hohlraum, der eine unerwünschte Wechselwirkung zwischen den insuffizient gefüllten Wurzelkanalanteilen und dem periapikalen Gewebe begünstigt. Bei einer unnötigen Erweiterung über die apikale Wurzelkanalkonstriktion hinaus besteht die Gefahr einer möglichen Überfüllung des Wurzelkanals und die daran geknüpfte Traumatisierung oder Infektion des periapikalen Gewebes.

Da es sich in der vorliegenden Arbeit um eine In-vitro-Studie handelt, konnte hier eine noch exaktere Methode als die röntgenologische Bestimmung der Arbeitslänge gewählt werden. Die Arbeitslänge wurde durch die Messung der Initialfeile (ISO-Größe 10) bis zum apikalen, sichtbaren Foramen minus 1 mm bestimmt. Der Vorteil dieser Methode ist, dass es zu keinerlei röntgenologisch bedingter Verzerrung und Ungenauigkeit kommen kann.

In den letzten Jahrzehnten nahm die Anzahl der in der Literatur veröffentlichten vergleichbaren Studien über die Volumenverhältnisse von Wurzelkanalfüllungen stetig zu und sind auch heute noch ein wesentlicher Bestandteil von endodontischen Forschungsarbeiten (Zidan et al. 1987).

6.2 Diskussion der Ergebnisse

Die in dieser In-vitro-Studie gewonnenen Ergebnisse lassen sich nur eingeschränkt auf die klinische Behandlungssituation übertragen, da die Untersuchung extraoral, also unter optimalen Bedingungen mit festgelegten Parametern stattfand.

6.2.1 Homogenität der Versuchsgruppen

Die Zähne der vorliegenden Studie wurden alle hinsichtlich des apikalen Kanaldurchmessers, des Krümmungswinkels und des Krümmungsradius sowie der Wurzellänge (vom Apex zur Schmelz-Zementgrenze) homogen auf die einzelnen Gruppen aufgeteilt. Der statistischen Analyse (Tab. 2) ist zu entnehmen, dass vergleichsweise homogene Gruppen als Grundlage für einen annähernd standardisierten Versuchsablauf vorlagen. Es wurde so in vergleichenden Untersuchungen der Volumenanteil von Guttapercha, Sealer und Voids an Wurzelkanalfüllungen in definierten Querschnitten (auf Höhe von 2,3, 4, 6 und 8 mm vom Apex) ermittelt. Durch die einheitliche Verfahrensweise bei allen Versuchsgruppen und die zuvor stattgefundenene homogene Verteilung der Zähne auf die Versuchsgruppen fand eine Standardisierung statt, die eine Vergleichbarkeit der Gruppen untereinander gewährleistet.

6.2.2 Zeitbedarf

Die benötigte kurze Obturationszeit der Wurzelkanäle der Gruppen A und B (siehe Tab. 3), die mit der Methode der Einstifttechnik gefüllt wurden, überzeugt für die Praxis zwar sowohl durch geringen Zeit- und Materialbedarf, führte jedoch in der vorliegenden Studie (siehe Tab. 4) und verschiedenen anderen Untersuchungen zu schlechteren Ergebnissen als andere Wurzelkanalfülltechniken (Wesselink 1990). Diese Technik ist nur bei geraden Wurzelkanälen mit einem weitestgehend runden Kanallumen zu empfehlen.

Signifikant am längsten dauerte die Obturation der Zähne der Gruppe D. Hier wurde die Schilder-Technik mit Beefill im Rahmen einer warm-vertikalen Kondensation angewandt. Diese Obturationstechnik bedarf zwar einer etwas längeren Obturationszeit, führte aber zu einer sehr dichten Wurzelkanalfüllung mit einem hohen Guttaperchaanteil (Tab. 4) und ist daher für Zähne mit einem nicht runden Wurzelkanal zu empfehlen. Da der Behandler neben dem erhöhten Zeitbedarf auch den erweiterten technischen Aufwand abwägen muss, konnte sich diese Obturationstechnik in der Praxis noch nicht gegen den Goldstandard laterale Kondensation, mit bewährten, relativ einfachen und Kosten sparenden Mitteln durchsetzen.

6.2.3 Volumenverhältnisse. Guttapercha / Sealer / Voids

6.2.3.1 Guttapercha

In der vorliegenden Studie ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen C, D und E in Bezug auf ihren Guttaperchaanteil im Vergleich zu den Gruppen A und B (Tab. 4). Die Ergebnisse der Gruppen C, D und E zeigten im Vergleich mit denen der Gruppen A und B einen deutlich höheren Guttaperchaanteil als bei der Einstifttechnik (A und B).

Die Überlegenheit (in Bezug auf einen hohen Guttapercha- und geringen Sealeranteil) der warm-vertikalen Kondensation lässt sich auch aus der Studie von Wu und Wesselink (Wu und Wesselink 2001) erklären. Danach waren Wurzelkanäle im apikalen Bereich zu über 50% oval. Ovale Kanalbereiche können mit der Einstifttechnik, die sich eines runden Guttaperchastiftes bedient, jedoch schon rein technisch nicht vollständig ausgefüllt werden. Hier kann nur der Sealer die restlichen Areale obturieren. Auch Silver et al. kamen in einer vergleichenden Studie aus dem Jahr 1999 zu dem Ergebnis, dass mit der warm-vertikalen Kondensation (unter Verwendung von System B und Obtura II) Wurzelkanalfüllungen mit einem Guttaperchaanteil von über 90% erzielt wurden (Silver et al. 1999).

Nach wie vor gilt jedoch die laterale Kondensation von Guttapercha in Kombination mit einer unlöslichen Wurzelkanalfüllpaste als Methode der Wahl zur Wurzelkanalfüllung (Schäfer 2000). Im Gegensatz zur Einstifttechnik gelingt es mit der Mehrstifttechnik auch ovale oder nierenförmige Wurzelkanäle zuverlässig zu füllen (Heidemann 1989).

Zahlreiche Studien belegen, dass mit der Methode der lateralen Kondensation im Vergleich zur Einstifttechnik bessere Resultate bezüglich der Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen zu erzielen sind (Beatty et al. 1986 / Monticelli et al. 2007 / Schirrmeister et al. 2005). Deshalb wurde in der vorliegenden Untersuchung der Anteil von Guttapercha, Sealer und Voids mit der als Goldstandard angesehenen lateralen Kondensation von Guttapercha und AHPlus als Sealer verglichen.

Neben ISO-genormten Masterpoints wurden zur besseren Standardisierung bei der lateralen Kondensation auch ISO-genormte Guttaperchabeisteckestifte verwendet. Wesselink betonte schon 1995 (Wesselink 1995), dass die Beisteckestifte zur optimalen Obturierung entweder die gleiche ISO-Größe wie der benutzte Fingerspreader oder eine ISO-Größe dünner sein sollten, um eine vereinfachte und bessere Einbringung in das vom Fingerspreader geschaffene Lumen zu ermöglichen. Aus diesem Grund wurden ISO-standardisierte Guttaperchastifte der Größe 20 in Kombination mit einem Fingerspreader benutzt. Die Anzahl der kolateralen Guttaperchastifte wurde nicht standardisiert, sondern richtete sich nach der individuellen Situation des zu füllenden Wurzelkanals.

6.2.3.2 Sealer

Bei allen Versuchsgruppen wurden die Wurzelkanalfüllungen einer Trocknungsphase von vierzehn Tagen in einer dem intraoralen Milieu ähnlichen Umgebung unterzogen, bevor die Versuchszähne weiter behandelt wurden. Dies diente neben der Sicherstellung der Aushärtung der Wurzelkanalfüllung auch einem besseren Vergleich mit vorangegangenen Studien, bei denen den Sealern ebenfalls eine Aushärtungsphase, wenn auch meist nur von zwei bis drei Tagen, eingeräumt wurde (Dummer et al. 1993 und 1994 / Gilhooly et al. 2000 / Gulabivala et al. 1998).

Die vorliegenden Ergebnisse (Tab. 4) zeigen deutlich, dass Sealer bei Verwendung der Einstifttechnik zum Ausgleich der Inkongruenzen zwischen Guttaperchastift und Wurzelkanalwand zwingend erforderlich sind. Besonders bei gekrümmten und nicht durchgehend runden Wurzelkanälen, wie in dieser Studie, stößt die Einstifttechnik, auch in Verbindung mit GuttaFlow als Sealer, schnell an ihre Grenzen. Die Eignung dieser Technik bei geraden Wurzelkanälen mit nahezu rundem Querschnitt (wie z.B. nach der maschinellen Wurzelkanalaufbereitung) wird neben zahlreichen anderen

Studien (Heidemann 2001 / Petschelt und Oberschachtsiek 1985 / Zidan et al. 1987) auch in der vorliegenden bestätigt.

Am wenigsten Sealer wiesen die Wurzelkanalfüllungen der Versuchsgruppen auf, die gleichzeitig den höchsten Guttaperchaanteil (C, D und E) zeigten, und zwar auf allen Schnitthöhen (Tab. 4). Diese Wurzelkanalfüllungen sind also in doppelter Hinsicht qualitativ besser als die Wurzelkanalfüllungen der Gruppen A und B. Denn auf der einen Seite besteht eine gute Wurzelkanalfüllung aus einem möglichst hohen Anteil an Guttapercha, der langfristige Formstabilität gewährleistet, und auf der anderen Seite aus einem möglichst geringen Anteil an Sealer, der zwar die Inkongruenzen zwischen Guttapercha und Wurzelkanalwand ausgleicht aber trotzdem einen deutlich geringeren Anteil an der Wurzelkanalfüllung haben sollte als der Anteil des langfristig stabileren Kernmaterials.

Des Weiteren fanden sich in den seriell angefertigten Querschnitten deutlich geringere Sealeranteile bei den Gruppen C, D und E im koronalen Anteil der Wurzelkanalfüllungen (bei 6 und 8 mm) und höhere im apikalen Bereich. Dies spricht für die notwendige Anwendung eines Sealers, um besonders die apikalen Anteile einer Wurzelkanalfüllung möglichst optimal zu obturieren.

6.2.3.3 Voids

In der vorliegenden Studie konnte auf allen Schnittebenen ein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen nicht festgestellt werden (Tab.4). Zum einen liegt es bei den Wurzelkanalfüllmethoden der Gruppen A und B sicherlich daran, dass Undichtigkeiten am Rande der Guttaperchastifte vorwiegend mit dem verwendeten Sealer ausgeglichen wurden, zum anderen, dass die Beurteilung von Undichtigkeiten, Artefakten und Inhomogenitäten stets zu einem gewissen Grad von dem subjektiven Eindruck des Beobachters abhängt. Anhand der erstellten Querschnittfotos und der computergestützten Bildanalyse mit Hilfe des Image J-Programmes wurde versucht, durch eine möglichst gute Reproduzierbarkeit der Volumenberechnung diesen Effekt zu minimieren.

6.2.3.4 Extrusion von Füllungsmaterial

Die Bewertung der Extrusion erfolgte als Ja/Nein-Entscheidung ohne Differenzierung ob es sich bei der Extrusion um Guttapercha und/oder Sealer handelte.

Hinsichtlich der Extrusion von Füllungsmaterial (Tab. 5) stellten sich die Ergebnisse in dieser Studie derart dar, dass Wurzelkanalfüllungen die unter Verwendung eines formstabilen Guttaperchastiftes angefertigt wurden deutlich seltener Extrusionen aufwiesen (Gruppe E) als solche, die auf den Einsatz eines Masterpoints verzichteten (Gruppe D). Diese Tatsache geht mit den Ergebnissen einer Studie von Keçeci et al. (2005) konform. Deutlich wird, dass durch den Einsatz von Guttaperchastiften eine höhere Längensicherheit der Wurzelkanalfüllung erzielt werden kann. Besonders im Hinblick auf die Extrusionshäufigkeit bei der Wurzelkanalfülltechnik der Gruppe D (BeeFill und AHPlus im Sinne einer vertikalen Kondensation nach Schilder) weist die vorliegende Studie auf eine erhöhte Inzidenz an Überfüllungen hin. Dieses Ergebnis steht in Übereinstimmung mit einer kürzlich publizierten Meta-Analyse (Peng et al. 2007) die aufzeigte, dass thermoplastische Fülltechniken signifikant häufiger zu Überfüllungen führen als Kalttechniken.

7 Zusammenfassung

Eine intensive Forschung und Entwicklung ist notwendig, um dem stetig zunehmenden Qualitätsstandard in der Zahnmedizin gerecht werden zu können. In diesem Zusammenhang werden regelmäßig neue Produkte auf dem Dentalmarkt vorgestellt, bewertet und miteinander verglichen, mit dem Ziel, eine Behandlungsoptimierung zum Beispiel in der Endodontie zu bewirken. Der Bedarf nach schnellen, schmerzarmen und erfolgreichen Wurzelbehandlungen steigt. Für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung sind eine chemo-mechanisch, antibakterielle Reinigung, eine füllungsgerechte, konische Ausformung und eine abschließende hermetische, dauerhafte und dreidimensionale Obturation des Wurzelkanals notwendig. Das Füllungsmaterial sollte den gesamten Wurzelkanal dicht ausfüllen, um zum einen Bewegungen von verbliebenen Bakterien und Flüssigkeiten entlang der Kanalwand zu verhindern und zum anderen Dentinkanälchen, akzessorische Kanäle und das Foramen apicale suffizient zu verschliessen.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Auswirkungen von fünf verschiedenen Obturationstechniken auf die Verteilung des Wurzelkanalfüllmaterials in stark gekrümmten Wurzelkanälen, entlang des gesamten Wurzelkanals zu testen. Zur Durchführung der Untersuchung wurden insgesamt 60 extrahierte menschliche Ober- und Unterkiefermolaren mit mindestens einer gekrümmten Wurzel und einem gekrümmten Wurzelkanal herangezogen (Krümmungsradius 5,0 bis 9,0 mm, Krümmungswinkel zwischen 25° und 35°). Jeweils 12 Zähne wurden derart auf 5 Gruppen verteilt, dass hinsichtlich des Krümmungswinkels und –radius homogene Gruppen resultierten, dies wurde mittels multipler Varianzanalyse (ANOVA) und post-hoc Student-Newman-Keuls-Test sichergestellt. Alle 60 Zähne wurden standardisiert maschinell mit dem Endo IT professional –System (VDW, München, Deutschland) aufbereitet. Die homogen verteilten Zähne wurden mittels Einstifttechnik (Gruppe A und B), lateraler Kondensation (Gruppe C mit Taper 4% und E mit Taper 2%) und der warm-vertikalen Kondensation in Schildertechnik (Gruppe D) obturiert. Anschließend wurden die Zähne für 14 Tage bei 37°C und einer Luftfeuchtigkeit von 100% gelagert, um dann jeweils senkrecht zur Wurzelachse in einen kaltpolymerisierenden Kunststoff eingebettet und nach der Auspolymerisierung mit einer Innenlochsäge unter Wasserkühlung in den Höhen 1,

2, 3, 4, 6 und 8 mm, gemessen vom anatomischen Apex, horizontal geschnitten zu werden. Die Schnitte wurden fotografiert und die Flächenanteile von Guttapercha, Sealer und Voids mit dem Bildanalyseprogramm Image J vermessen. Hierbei ergab sich ein signifikanter Unterschied zwischen der Einstifttechnik (Gruppe A und B) und der lateralen- sowie vertikalen Kondensations-technik in allen sechs Abschnitten. Beste Guttapercha / Sealer-Verhältnisse wiesen die Gruppen C, D und E auf und zeigten sich so der Einstiftmethode überlegen ($p < 0,05$).

Vergleicht man die Ergebnisse der lateralen Kondensation mit denen der Einstiftmethode so kann die Einstifttechnik als probate Alternative zur lateralen Kondensation angesehen werden, jedoch stets unter der Voraussetzung, dass der zu obturierende Wurzelkanal eine möglichst geringe Kanalkrümmung und ein rundes Kanallumen aufweist. Bei anspruchsvoller Kanalanatomie ist jedoch die laterale Kondensation das Mittel der Wahl um die Forderungen der DGZ und DGZM, sowie der ESE zu erfüllen (DGZ und DGZMK 2000 / ESE 1994) und gilt als der Goldstandard der Wurzelkanalfülltechniken.

8. Literaturverzeichnis

Abarca, A. M., Bustos, A., Navia, M.: A comparison of apical sealing and extrusion between Thermafil and lateral condensation techniques. *J Endod* 2001; 27; 670-672.

Abou-Rass, M., Piccinino, M. V.: The effectiveness of four clinical irrigation methods on the removal of root canal debris. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1982; 54; 323-328.

Al-Dewani, N., Hayes, S. J., Dummer, P. M. H.: Comparison of laterally condensed and low-temperature thermoplasticized gutta-percha root fillings. *J Endod* 2000; 26; 733-738.

Barkhordar, R. A., Bui, T., Watanabe, L.: An evaluation of sealing ability of calcium hydroxide sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1989; 68; 88-92.

Barkin, M. E., Boyd, J. P., Cohen, S.: Acute allergic reactions to eugenol. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984; 57; 441-442.

Barthel C. R., Noack M. J., Roulet J. -F.: Die Dichtigkeit von Ketac Endo und AH 26 in Abhängigkeit der Wurzelfülltechnik in vitro. *Dtsch Zahnärztl Z* 1994; 49; 285-288.

Baumann, M.: Die räumliche Darstellung des Endodonts, Hanser, München, 1995.

Baumgartner, J. C., Cuenin, P. R.: Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *J Endod* 1992; 18; 605-612.

Beatty, G., Baker, P. S., Haddix, J., Hart, F.: The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apical dye penetration. *J Am Dent Assoc* 1989; 119; 663-637.

Beatty, R. G., Vertucci, F. J., Zakariasen, K. L.: Apical sealing efficacy of endodontic obturation techniques. *Int Endod J* 1986; 19; 237-241.

Beatty, R. G., Zakariasen, K. L.: Apical sealing efficacy of endodontic instrumentation and obturation techniques. *J Dent Res* 1985; 64; 183.

Beer, R., Baumann, M. A.: Endodontie. Rateitschak, K. H., Wolf, H. F., Stuttgart, New York, 1997

Beer, R.: Wurzelkanalfüllung mit Guttapercha. *Dental Magazin* 1991; 4; 13-16.

Beltes, P., Koulaouzidou, E., Kotoula, V., Kortsaris, A. H.: In vitro evaluation of the cytotoxicity of calcium hydroxide-based root canal sealers. *Endod Dent Traumatol* 1995; 11; 245-249.

Bergenholtz G., Nyman S.: Endodontic complications following periodontal and prosthetic treatment of patients with advanced periodontal disease. *J Periodontol* 1984; 55; 63-68.

Bouillaguet, S., Shaw, L., Barthelemy, J., Krejci, I., Wataha, J. C.: Long-term sealing ability of Pulp Canal Sealer, AH-Plus, GuttaFlow and Epiphany. *Int Endod J* 2008; 41; 219-226.

Bouillaguet, S., Wataha, J. C., Tay, F. R., Brackett, M. G., Lockwood, P. E.: Initial in vitro biological response to contemporary endodontic sealers. *J Endod* 2008; 32; 989-992.

Bratel, J., Jontell, M., Dahlgren, U., Bergenholtz, G.: Effects of root canal sealers on immunocompetent cells in vitro and in vivo. *Int Endod J* 1998; 31; 178-188.

Brayton, S. M., Davis, S. R., Goldman, M. : Gutta-percha root canal fillings. An in vitro analysis. I. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973; 35; 226-231.

Briseno, B. M., Wirth, R., Hamm, G., Standhartinger, W.: Efficacy of different irrigation methods and concentrations of root canal irrigation solutions on bacteria in the root canal. *Endod Dent Traumatol* 1992; 8; 6-11.

Brodin, P., Røed, A., Aars, H., Ørstavik, D.: Neurotoxic effects of root filling materials on rat phrenic nerve in vitro. *J Dent Res* 1982; 61; 1020-1023.

Brönström, M.: Smear layer: pathological consideration. *Oper Dent* 9, Suppl. 3, 1984; 3; 35-42.

Brothman, P.: Getting back to basics: an endodontist's views on endodontic practice and education. *J Dist Columbia Dent Soc* 1979; 54; 7-9.

Brzovic, V., Miletić, I., Pezelj-Ribaric, S., Malčić, A., Pazin, B., Anić, I.: Antibacterial activity of root canal sealers. 12. Abstract of the European Society of Endodontology 13 th Biennial Congress 2007.

Buchanan, L.S.: Filling root canal systems with centered condensation: concepts, instruments and techniques. *Dent Today* 2004; 23; 102-106.

Buchanan, L.S.: The continuous wave of condensation techniques: "centered" condensation of warm gutta-percha in 12 seconds. *Dent Today* 1996; 15; 60-67.

Buchanan, L.S.: The continuous wave of condensation techniques: a convergence of conceptual and procedural advance in obturation. *Dent Today* 1994; 13; 80-85.

Budd, C. S., Weller, R. N., Kulild, J. C.: A comparison of thermoplasticized injectable gutta-percha obturation techniques. *J Endod* 1991; 17; 260-264.

Buddecke, E.: *Grundriss der Biochemie*. 6. Aufl., de Gruyter, Berlin 1980.

Chohayeb, A. A.: Comparison of conventional root canal obturation techniques with Thermafil obturators. *J Endod* 1992b; 18; 10-12.

Chohayeb, A. A.: Mikroleakage comparison of apical seal of plastic versus metal Thermafil root canal obturators. *J Endodont* 1992a; 18; 613-615.

Clark, D. S., ElDeeb, M. E.: Apical sealing ability of metal versus plastic carrier Thermafill obturators. *J Endod* 1993; 19; 4-9.

Clark-Kolke, D., Drake, D. R., Walton, R., Rivera, E.M., Guthmiller, J. M.: Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. *J Dent Res* 2003; 31; 275-281.

Cobankara, F. K., Adamir, N., Belli, S., Pashley, D. H.: A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers. *Int Endod J* 2002; 35; 979-984.

Cohen, S., Burns, R., C.: *Pathway of the pulp*. Mosby, St. Louis, Baltimore, Boston, 6. Aufl. 1994.

Coltène Whaledent: Literature Guide for GuttaFlow. January 2008.

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* 1972; 34; 642-648.

De Almeida W. A., Leonardo M. R., Tanamaru Filho M., Silva L. A.: Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. *Int Endod J* 2000; 33; 25-27.

De Gee, A. J., Wu, M. K., Wesselink, P. R.: Sealing properties of Ketac-Endo glasionomer cement and AH 26 root canal sealer. *Int Endod J* 1994; 27, 239.

De Moor R. J., De Bruyne M. A.: The longterm sealing ability of AH 26 and AH Plus used with three gutta-percha obturation techniques. *Quintessence Int* 2004; 35; 326-331.

De Moor, R. J., De Boever, J. G.: The sealing ability of an epoxy resin root canal sealer used with five gutta-percha obturation techniques. *Endod Dent Traumatol* 2000; 16; 291-297.

De-Deus, G., Brandão, M. C., Fidel, R. A. S., Fidel, S. R.: The sealing ability of GuttaFlow in oval-shaped canals: an ex vivo study using a polymicrobial leakage model. *Int Endod J* 2007; 40; 794-799.

De-Deus, G., Gurgel-Filho, E. D., Magalhaes, K. M., Coutinho-Filho, T.: A laboratory analysis of gutta-percha-filled area obtained using Thermafil, System B and lateral condensation. *Int Endod J* 2006; 39; 378-383.

DGZ und DGZMK: Wurzelkanalfüllpasten und –Füllstifte. Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und DGZ. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000; 55; 9-11.

Dow, P. R., Ingle, J. I.: Isotope determination of root canal failure. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1955; 8; 1100-1140.

Drake, D.P., Wiemann, A. H., Rivera, E. M., Walton, R. E.: Bakterial retention in canal walls in vitro: Effect of smear layer. *J Endod* 1994; 20; 78-82.

Dummer, P. M., Kelly, T., Meghji, A., Sheikh, I., Vanitchai, J. T.: An in vitro study of the quality of root filling in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators. *Int Endod J* 1993; 26; 99-105.

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* 1994; 27; 32-38.

Dummer, P. M., McGinn, J. H., Rees, D. G.: The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen. *Int Endod J* 1984; 17; 192-198.

EIAyouti, A., Achleithner, C., Löst, C., Weiger, R.: Homogeneity and adaptation of a new gutta-percha paste to root canal walls. *J Endod* 2005; 31; 687-690.

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.

Eldeniz, A. U., Ørstavik, D.: Antibacterial activity of new root canal filling materials against *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 2007; 40; 979-1007.

Ersev, H., Schmalz, G., Bayirli, G., Schweikl, H.: Cytotoxic and mutagenic potencies of various root canal filling materials in eukaryotic and procaryotic cells invitro. *J Endod* 1999; 25; 359-363.

ESE: Europäische Gesellschaft für Endodontie: Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlungen 1994; *Endodontie* 3; 263-276.

Fischer, G.: .Über die feinere Anatomie der Wurzelkanäle menschlicher Zähne. *Dtsch Monatsschr Zahnheilk* 1907; 25; 544-552.

Fraunhofer, J. A., van Branstetter, J.: The physical properties of four endodontic sealer cements. *J Endod* 1982; 8; 126-130.

Friedman, S., Löst, C., Zarrabian, M., Trope, M.: Evaluation of success and failure after endodontic therapy using a glass ionomer cement sealer. *J Endod* 1995; 21; 384-390.

Friedmann C. M., Sandrik J. L., Heuer M. A., Rapp G. W.: Composition and mechanical properties of gutta-percha endodontic points. *J Dent Res* 1975; 54; 921-925.

Gani, O., Visvisian, C., De Caso, C.: Quality of apical seal in curved canals using three types of spreaders. *J Endod* 2000; 26; 581-585.

Gambarini, G., Andreasi-Bassi, M., Bolognini, G., Testarelli, L., Nacca, G., Ceccarelli, L., Scatena, R., Lupi, A., Castagnola, M.: Cytotoxicity of a new endodontic filling material. *Aust Endod J.* 2003; 29; 17-19.

Grade, A. C.: Eugenol in Wurzelkanalzementen als mögliche Ursache für eine Urtikaria. *Endodontie* 1995; 4; 121-121.

Gatot, A., Peist, M., Mozes, M.: Endodontic overextension produced by injected thermoplasticized gutta-percha. *J Endod* 1989; 15; 273-274.

Gençoglu, N.: Comparison of 6 different gutta-percha techniques (part II): Thermafil, JS Quickfill, Soft Core, Microsael, System B and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 96; 91-95.

Gençoglu, N., Garip, Y., Bas, M., Samani, S. : Comparison of different gutta-percha root filling techniques : Thermafil, Quickfill, System B and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002; 93; 333-336.

Gençoglu, N., Türkmen, C., Ahiskali, R.: A new silikon-based root canal sealer (RoekoSeal®-Automix). *J Oral Rehabil* 2003; 30; 753-755.

Gerosa, R., Borin, M., Menegazzi, G., Puttini, M., Cavalleri, G.: In vitro evaluation of the cytotoxicity of pure eugenol. *J Endod* 1996; 22; 532-534.

Gettleman, B. H., Messer, H., ElDeeb, M. E.: Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 1991; 17; 15-20.

Geurtsen, W., Leyhausen, G.: Biological aspects of root canal filling materials - histocompatibility, cytotoxicity, and mutagenicity. *Clin Oral Investig* 1997; 1; 5-11.

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* 2000; 33; 415-420.

Goss, J., Wright, W. J. Jr, Bowles, W. 3rd: Radiographic appearance of titanium alloy prefabricated posts cemented with different luting materials. *J Prosthet Dent* 1992; 67; 632-637.

Grossmann, L. I.: *Endodontic Practice*. 11th ed, Lea & Febiger, Philadelphia, 1988.

Grossmann, L. I., Oliet, S., de Rio, C. E.: *Endodontic Practice*. Philadelphia USA 1988; 234-241, 242-270.

Grossmann, L.I.: Paresthesia from N₂ or N₂ substitue. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1978; 46; 114-115.

Guigand, M., Pellen-Mussi, P., Vulcain, J.-M., Bonnaura-Mallet, M.: Evaluation of the cytocompatibility of three endodontic materials. *J Endod* 1999; 25; 419-423.

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

Guldener, P. H. A., Langeland, K.: *Endodontologie*, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1982.

Guldener, P. H. A., Langeland, K.: *Endodontologie*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, New York, 1993.

Gurney B. F., Best, E. J., Gervasio, G.: Physical measurements on gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1971; 32; 260-270.

Gutiérrez, J. H., Garcíá, J.: Microscopic and macroscopic investigation on results of mechanical preparation of root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1968; 25; 108-116.

Gutiérrez, J. H., Jofré, A., Villena, F.: Scanning electron microscope study on the action of endodontic irrigants on bacteria invading the dentinal tubules. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990; 69; 491-501.

Gutiérrez, J. H., Villena, F., Gigoux, C., Mujica, F.: Microscope and scanning electron microscope examination of silver points corrosion caused by endodontic materials. *J Endod* 1982; 8; 301-311.

Haddix, J. E., Jarrell, M., Mattison, G. D., Pink, F. E.: An in vitro investigation of the apical seal produced by a new thermoplasticized gutta-percha obturation technique. *Quintessence Int* 1991; 22; 159-163.

Handtmann, S., Lindemann, W., Hüttemann, H., Schulte, W.: Korrosionserscheinungen an Silberstiften im Wurzelkanal (I). *Dtsch Zahnärztl Z* 1987; 42; 362-367.

Harndt, R.: Histo-bakteriologische Untersuchungen der erkrankten Pulpa. *Dtsch Zahn Mund Kieferheilk* 1938; 5; 85-101.

Harndt, R.: Pulpitis an nicht kariösen Zähnen. *Dtsch Zahnärztkalender* 1967; 26; 87-95.

Heidemann, D.: Die Wurzelfüllung – manuell - maschinell. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989; 44; 414-416.

Heidemann, D.: *Endodontie - Praxis der Zahnheilkunde*. 4. Aufl., Urban & Fischer, München, Jena, 2001.

Heil, R., Reifferscheid, G., Waldmann, P., Leyhausen, G., Geurtsen, W.: Genotoxicity of dental materials. *Mutat Res* 1996; 5; 181-194.

Hellwig, E., Klimek, J., Attin, T.: *Einführung in die Zahnerhaltung*. 4. Aufl., Urban & Fischer, München 2006.

Hess, W.: Zur Anatomie der Wurzelkanäle des menschlichen Gebisses mit Berücksichtigung der feineren Verzweigungen am Foramen apikale. Schweiz Vierteljahrsschr Zahnheilkd 1917; 27; 1-52.

Hickel, R., Voss, A.: Strahlenreduktion bei der Röntgenmessaufnahme, Dtsch Zahnärztl Z 1986; 41; 965-967.

Holland, R., de Souza, V.: Ability of a new calcium hydroxide root filling material to introduce hard tissue formation. J Endod 1985; 11; 535-543.

Hong, Y. C., Wong, J. T., Hong, C. Y., Brown, W. E., Chow, L. C.: The periapical tissue reactions to a calcium phosphat cement in the teeth of monkeys. J Biomed Mater Res 1991; 25; 485-498.

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

Hülsmann, M., Meyer, G.: Preparation of root canals. Zahnärztl Mitt 1991; 81; 864-870.

Hülsmann, M.: Die Wurzelkanalspülung - Ziele, Mittel, Techniken. Endodontie 1997; 1; 47-62.

Hülsmann, M.: Guttapercha - Geschichte, Chemie, Eigenschaften und Verarbeitung. Endodontie, 2. Aufl., 1993.

Ingle, J. I., Taintor, J. F.: Endodontics. Lea und Febiger, Philadelphia, 3. Aufl., 1985.

Ishley, D. J., ElDeeb, M. E.: An in vitro assessment of the quality of apical seal of thermomechanically obturated canals with and without sealer. J Endod 1983; 9; 242-245.

Jacobson, H. L., Xia, T., Baumgartner, J., C., Marshall, J. G., Beeler, W. J.: Microbial leakage evaluation of the continuous wave of condensation. J Endod 2002; 28; 269-271.

Jarrett, I. S., Marx, D., Covery, D., Karmazin, M., Lavin, M., Gound, T.: Percentage of canals filled in apical cross sections - an in vitro study of seven obturation techniques. *Int Endod J* 2004; 37; 392-398.

Jerome, C. E.: Warm vertical guttapercha obturation: A technique update. *J Endod* 1994; 20; 97-99.

Juhlin, J. J., Walton, R. E., Dovgan, J. S.: Adaptation of Thermafil components to canal walls. *J Endod* 1993; 19; 130-135.

Karlsson, S.: A clinical evaluation of fixed bridges, 10 years following insertion. *J Oral Rehabil* 1986; 13; 423-432.

Keçeci, A. D., Ünal, G. C., Şen, B. H.: Comparison of cold lateral compaction and continuous wave of obturation techniques following manual or rotary instrumentation. *Int Endod J* 2005; 38; 381-388.

Kennedy, W. A., Walker, W.A., Gough, R. W.: Smear layer removal effects on apical leakage. *J Endod* 1986; 12; 21-27.

Kerekes, K., Tronstad, L.: Long-term results of endodontic treatment performed with a standardized technique. *J Endod* 1979; 5; 83-90.

Khayat, A., Lee, S. J., Torabinejad, M.: Human saliva penetration of coronally unsealed obturated root canals. *J Endod* 1993; 19; 458-461.

Klaiber, B., Mittermayer, C., Kaden, P., Schwechten, I.: Toxizitätsbestimmung von Wurzelfüllmaterialien und deren einzelnen Komponenten in der Zellkultur. *Dtsch Zahnärztl Z* 1981; 36; 212-216.

Kleier, D. J., Shibilski, K., Auerbach, R. E.: Radiographic appearance of titanium posts in endodontically treated teeth. *J Endod* 1999; 25; 128-131.

Koulaouzidou, E. A., Papazisis, K. T., Beltes, P., Geromichalos, G. D., Kortsaris, A. H.: Cytotoxicity of three resin-based root canal sealers: an in vitro evaluation. *Endod Dent Traumatol* 1998; 14; 182-185.

Koçkapan, C.: Die Bedeutung der Schmierschicht bei Wurzelkanalbehandlungen – Eine Übersicht. *Endodontie* 1995; 4; 33-48.

Kröncke, A.: Die Aufbereitung des Wurzelkanals als Voraussetzung für die Applikation des Füllungsmaterials. *Dtsch Zahnärztl Z* 1981; 36; 201-207.

KZVB-Jahrbuch 97: Statistische Basisdaten zur Vertragszahnärztlichen Versorgung. Kassenzahnärztliche Bundesvereinigung, Köln 1997.

LaCombe, J. S., Campell, A. D., Hicks, M. L., Pellue, G. B.: A comparison of the apical seal produced by two thermoplasticized injectable gutta-percha techniques. *J Endod* 1988; 14; 445-450.

Langeland, K.: Root canal sealants and pastes. *Dent Clin North Am* 1974; 18; 309-327.

Larder, T. C., Prescott, A. J., Brayton, S. M.: Gutta-percha: A comparative study of the methods of obturation. *J Endod* 1976; 2; 289-294.

Leonardo, M. R., da Silva, L. A., Almeida, W. A., Utrilla, L. S.: Tissue response to an epoxy resin-based root canal sealer. *Endod Dent Traumatol* 1999; 15; 28-32.

Limkangwalmongkol S., Abbott P. V., Sandler A. B.: Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning, *J Endod* 1992; 18; 535-539.

Limkangwalmongkol S., Burtscher P., Abbott P. V., Sandler A. B., Bishop B. M.: A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha. *J Endod* 1991; 17; 495-499.

Limkangwalmongkol, S., Abbott, P.V., Sandler, A.B.: Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning. *J Endod* 1992; 18; 535-539.

Lindemann, W., Handtmann, S., Hüttemann, H., Schulte, W.: Korrosionserscheinungen an Silberstiften im Wurzelkanal (II). *Dtsch Zahnärztl Z* 1987; 42; 639-646.

Lischitz, M.: Diagnostik und Therapie der Pulpakrankheiten, Springer, Berlin. 1920; 252-262.

Love, R. M., Chandler, N. P., Jenkinson, H. R.: Penetration of smeared or nonsmeared dentine by streptococcus gordonii. *Int Endod J* 1996; 29; 2-12.

Lutz, M., Klimek, J., Hellwig, E.: Vergleich thermoplastischer und konventioneller Wurzelfülltechniken. *Dtsch Zahnärztl Z* 1986; 41; 788-791.

Mann, S. R., Mc Walter, G. M.: Evaluation of apical seal and placement control in straight and curved canals obturated by laterally condensed and thermoplasticized gutta-percha. *J Endod* 1987; 10-17; 190.

Matsumoto, K., Inoue, K., Matsumoto, A.: The effect of newly developed root canal sealers on rat dental cells in primary culture. *J Endod* 1989; 15; 60-67.

Mc Comb, D., Smith, D. C.: A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *J Endod* 1974; 1; 238-242.

McMichen F.R., Pearson G., Rahbaran S., Gulabivala K.: A comparative study of selected physical properties of five root-canal sealers. *Int Endod J* 2003; 36; 629-635.

McMurtrey, L. G., Krell, K. V., Wilcox, C. R.: A comparison between Thermafil and lateral condensation in highly curved canals. *J Endod* 1992; 18; 68-71.

Meister, F., Lommel, T. J., Gerstein, H.: Diagnosis and possible causes of vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1980; 49; 244-253.

Mittal, M., Chandra, S.: Comparative tissue toxicity evaluation of four endodontic sealers. *J Endod* 1995; 21; 622-624.

Mohammadi, Z., Yazdizadeh, M.: Evaluation of the antibacterial activity of new canal sealers. *J Clin Dent* 2007; 18; 70-72.

Molven, O., Halse, A.: Success rates for gutta-percha and Kloroperka N-Ø root fillings made by undergraduate students: radiographic findings after 10-17 years. *Int Endod J* 1988; 21; 243-250.

Monticelli, F., Sadek, F. T., Schuster, G. S., Volkmann, K. R., Looney, S. W., Ferrari, M., Toledano, M., Pashley, D. H., Tay, F. R.: Efficacy of two contemporary single-cone filling techniques in preventing bacterial leakage. *J Endod* 2007; 33; 310-313.

Nicholls, E.: Root filling techniques. *J Br Endod Soc* 1979; 12; 65-71.

O'Connell, M.S., Morgan, L. A., Beeler, W. J., Baumgartner, J. C.: A comparative study of the smear layer removal using different salts of EDTA. *J Endod* 2000; 26; 739-743.

O'Neill, K. J., Pitts, D. L., Harrington, G. W.: Evaluation of the apical seal produced by the McSpradden compactor and by lateral condensation with a chloroform-softened primary cone. *J Endod* 1983; 9; 190-197.

Olsson, B., Wennberg, A.: Early tissue reaction to endodontic filling materials. *Endod Dent Traumatol* 1985; 1; 138-141.

Ørstavik, D., Kerekes, K., Eriksen, H. M.: Clinical performance of three endodontic sealers. *Endod Dent Traumatol* 1987; 3; 178-186.

Ørstavik, D., Mjör, I. A.: Histopathology and X-ray microanalysis of the subcutaneous tissue response to endodontic sealers. *J Endod* 1988; 14; 13-23.

Ørstavik, D., Nordahl, I., Tibballs, J. E.: Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 2001; 17; 512-519.

Ørstavik, D.: Weight loss of endodontic sealers, cements and pastes in water. *Scand J Dent Res* 1983; 91; 316-319.

Ozok, A. R., van der Sluis, L. W., Wu, M. K., Wesselink, P. R.: Sealing ability of a new polydimethylsiloxane-based root canal filling material. *J Endod* 2008; 34; 204-207.

Pallarés A., Faus V.: A comparative study of the sealing ability of two root canal obturation techniques, *J Endod* 1995; 21; 449-450.

Pascone, E. A., Spångberg, L. S. W.: In vitro cytotoxicity of root canal filling materials: 1. Gutta-percha. J Endod 1990; 16; 429-433.

Patterson, S. S.: In vivo and in vitro studies of the effect of the disodium salt ethylenediamine tetraacetat on human dentine and its endodontic implications. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1963; 18; 83-103.

Peng, L., Ye, L., Tan, H., Zhou, X.: outcome of root canal obturation by warm gutta-percha versus cold lateral condensation: a meta-analysis. J Endod 2007; 33; 106-109.

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

Peters, L.: Präparation der endodontischen Zugangskavität und Darstellung der Kanäle. Teil 2: Prämolaren. Endodontie 1992a; 1; 141-149.

Peters, L.: Präparation der endodontischen Zugangskavität und Darstellung der Kanäle. Teil 3: Obere Molaren. Endodontie 1992b; 1; 225-233.

Peters, L.: Präparation der endodontischen Zugangskavität und Darstellung der Kanäle. Teil 4: Untere Molaren. Endodontie 1992c; 1; 291-300.

Peters, O.A., Göhring, T. N., Laib, A., Barbakow, F.: Darstellung der dreidimensionalen Geometrie von Wurzelkanälen mittels hochauflösender Computertomographie. Dtsch Zahnärztl Z 2000; 55; 184-187.

Petschelt, A., Oberschachtsiek, H.: Wandständigkeit verschiedener Wurzelfüllmaterialien bei Zentralstifttechnik (REM-Untersuchung). Dtsch Zahnärztl Z 1985; 40; 304-307.

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

Pitts, D. L., Matheny, H. E., Nicholls, J.I.: An in vitro study of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. J Endod 1983; 9; 544-550.

Preiswerk, G.: Lehrbuch und Atlas der Zahnheilkunde, Lehmann, München, 1908.

Rangel, S., Cremonese, R., Bryant, S., Dummer, P.: Shaping ability of RaCe rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. *J Endod* 2005; 31; 460-463.

Rice, T. R., Weine, F. S.: The position of finger spreaders during lateral condensation. *The Compendium* 1986; 7; 451-456.

Roggendorf, M. J., Ebert, J., Herbstleb, E., Kentsch, C., Petschelt, A., Frankenberg, R.: Apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen unter Kontamination mit verschiedenen Spülflüssigkeiten. *DZZ* 60. Jahrgang Supplement 2005 Sonderheft, S. A 161, Jahrestagung der DGZMK 2005.

Roulet, J.-F., Behringer, R.: Gara didactica docenti-allievi. *Attualita Dentale* 1985; 1; 39-42.

Russin, T. P., Zardiachas, 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* 1980; 6; 678-682.

Schäfer, E., Dietz, C., Hoppe, W., Tepel, J.: Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod* 2002; 3; 211-216.

Schäfer, E.: Root canal instruments for manuell use: a review. *Endod Dent Traumatol* 1997; 13; 51-64.

Schäfer, E.: Wurzelfüllmaterialien. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000; 55; 15-25.

Schäfer, E.: Wurzelkanalinstrumente für den manuellen Einsatz: Schneidleistung und Formgebung gekrümmter Kanalabschnitte. *Quintessenz*, Berlin 1998.

Schäfer, E., Zandbiglari, T.: Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod* 2003; 38; 660-669.

Schilder, H., Goodman, A., Aldrich, W.: The thermomechanical properties of gutta-percha. Part V. Volume changes in bulk gutta-percha as a function of temperature and its relationship to molecular phase transformation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1985; 59; 285-296.

Schirrmeister, J. F., Kleibassa, A. M.: Apikale Dichtigkeiten von Wurzelkanalsealern auf Calciumphosphat-Basis im Vergleich mit marktüblichen Füllungspasten. *Dtsch Zahnärztl Z* 2005; 60; 446-456.

Schroeder, A.: Endodontie. Ein Leitfaden für Studium und Praxis. 2. Aufl., Quintessenz, Berlin 1981.

Schweikl, H., Schmalz, G.: Evaluation of the mutagenic potential of root canal sealers using the Salmonella / microsome assay. *J Mater Sci Mater Med* 1991; 2; 181-187.

Scott, A. C., Vire, D. E., Swanson, R.: An evaluation of the Thermafil endodontic obturation technique. *J Endod* 1992; 18; 340-343.

Sen, B. H., Wesselink, P. R., Türkün, M.: The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J* 1995; 28; 141-148.

Serper, A., Üçer, O., Onur, R., Etikan, I.: Comparative neurotoxic effects of root canal filling materials on rat sciatic nerve. *J Endod* 1998; 24; 592-594.

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* 1999; 32; 287-295.

Skinner, R. L., Himel, V. T.: The sealing ability of injectionmolded thermoplasticized gutta-percha with and without sealer. *J Endod* 1987, 13, 315-317

Smith, D. C.: The setting of zinc oxide-eugenol mixtures. *Br Dent J* 1958; 105; 313.

Spångberg, L. S., Barbosa S. V., Lavigne G. D.: AH 26 releases formaldehyde. *J Endod* 1993; 19; 596-598.

Spector, R. G.: Pharmacological properties of the glucocorticoids. *Int Dent J* 1981; 31; 152-155.

Stoll, R., Stachniss, V.: Vertikale Kondensationstechniken für thermisch plastifizierte Guttapercha. *Zahnärztl Mitt* 2006; 8; 40-44.

Sundqvist, G.: Endodontic microbiology. *Experimental Endodontics*. CRC Press Inc., Boca Raton, Florida 1995; 131-153.

Tagger, M., Katz, A., Tamse, A.: Apical seal using the GP II method in straight canals compared with lateral condensation, with or without sealer. *Org Surg Oral Med Oral Pathol* 1994, 78, 225-231

Tagger, M., Tagger, E., Kfir, A.: A release of calcium hydroxyl ions from set endodontic sealers containing calcium hydroxide. *J Endod* 1988; 14; 588-591.

Tanzilli, J. P., Nevins, A., Borden, B. G.: The reaction of rat connective tissue to polyethylene tube implants filled with Hydron or gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983; 55; 507-513.

Tepel, J., Hoppe, W., Darwisch, M.: Der Einfluß von Wurzelfüllpasten auf das periapikale Gewebe bei tierexperimenteller apikaler Parodontitis. *Endodontie* 1994; 2; 131.

Thoden van Velzen, S. K., Duivenvolden, H. J., Schuurs, A. H. B: Probabilities of success and failure in endodontic treatment: a Bayesian approach. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1981; 5; 85-90.

Thoden Van Velzen, S. K., Genet, J. M., Kersten, H. W., Moorer, W. R., Wesselink, P. R.: *Endodontie*, Dt Ärzte Verlag, Köln, 1988.

Tronstad, L.: *Clinical endodontics*, Thieme, Stuttgart, 1991.

U. S. Department of Health and Human Services, Public Health Service: *Forth annual report on carcinogens*. 1985; PB 85-134663

Valle Fröes, J. A., Parreira Horta, H. G., Silveira, A.: Smear layer influence on the apical seal of four different obturation techniques. J Endod 2000; 26; 351-354.

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 1998; 14; 68-71.

Van de Voorde, H. E., Bjoerndahl, A. M.: Estimating endodontic „working length“ with paralleling radiographs. Oral Surg Oral Med Oral Patol 1969; 27; 106-110.

Walkhoff, H. O.: Allgemeine Grundsätze für die moderne Therapie der Pulpaerkrankung. Barth, Leipzig 1949; 198-202.

Weine, F. S.: Endodontic therapy. Mosby, St. Louis, Baltimore, Boston, 5. Aufl. 1995.

Wesselink, P. R.: Conventional root canal therapy, III: root filling. Endodontics in clinical practice (ed: Harty, F. J.), Wrigth, Sevenoaks 1990.

Wesselink, P. R.: Wurzelkanalfüllung (III). Endodontie, 4. Aufl., 1995; 269-270.

Wesselink, P. R.: Die Wurzelkanalfüllung (I). Endodontie, 4. Aufl., 1995; 181-192.

Wilson, A. D., Clinton, D. J., Miller, R. P.: Zinc oxide-eugenol cements: IV. Microstructure and hydrolysis. J Dent Res 1973; 52; 353-360.

Wong, M., Peters, D. D., Lorton, L., Bernier, W. E.: Comparison of gutta-percha filling techniques: three chloroform-guttapercha filling techniques, Part II. J Endod 1982; 8; 4-9.

Wong, M., Peters, D. D., Lorton, L.: Comparison of gutta-percha filling techniques, compaction (mechanical), vertical (warm) and lateral condensation technique. J Endod 1981; 7; 500-501.

Wrbas, K.T., Kielbassa, A.M., Hellwig, E.: Das Wasseraufnahmeverhalten verschiedener Wurzelkanalsealer. Dtsch Zahnärztl Z 1998; 53; 146-150.

Wu, M. K., Kastáková, A., Wesselink, P. R.: Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars. *Int Endod J* 2001; 34; 485-491.

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* 2002; 94; 499-502.

Wu, M. K., van der Sluis, L. W., Ardila, C. N., Wesselink, P. R.: Fluid movement along the canal two-thirds of root canal fillings placed by three different gutta-percha techniques. *Int Endod J* 2003; 36; 533-540.

Wu, M. K., Wesselink, P. R.: A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *Int Endod J* 2001; 34; 137-141.

Wu, M. K., Wesselink, P. R.: Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J* 1993; 26; 37-43.

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* 1995; 28; 185-189.

Zidan, O., alKhatib, Z., Gomez- Marin, O.: Obturation of root canals using the single cone guttapercha technique and dentinal bonding agents. *Int Endod J* 1987; 20; 128-132.

Zmener, O.: Evaluation of the apical seal obtained with two calcium hydroxide based endodontic sealers. *Int Endod J* 1987; 20; 87-90.

9 Danksagung

Meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. dent. E. Schäfer danke ich ganz herzlich für die Überlassung des Themas und für die kompetente und sympathische Betreuung, die mich immer wieder ermutigte, die Arbeit erfolgreich zu erstellen.

Oberarzt Dr. med. dent. Kaup und Dr. med. dent. Bürcklein danke ich für die freundliche Begleitung und Unterweisung in Teilen der experimentellen Versuche.

Frau Sabine Nehmzow, MTA der Poliklinik für Zahnerhaltung, gilt mein Dank für Ihre stets freundliche und verständnisvolle Anleitung, Ihre Unterstützung bei der Layoutgestaltung sowie für Ihre stets helfenden Hände.

Insbesondere möchte ich auf diesem offiziellen Weg meiner Familie danken. Mein Studium und meine Promotion wären ohne Ihre langjährige, bedingungslose Unterstützung und Förderung und die mir stets erteilte zuversichtliche Begleitung durch meinen Bruder nicht möglich gewesen.

“Ad astra per aspera”

Ohne die intensive, fröhliche und bedingungslose Unterstützung meines innigsten Wegbegleiters der letzten Jahre, Dr. med. dent. Stefan Gebhard, hätte ich meine Ziele nie in dieser Art umsetzen können.

10 Curriculum vitae