

Die Wurzelkanalfüllung mit RoekoSeal Automix[®] (RSA[®])

Eine In-vitro-Studie

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Hohen Medizinischen Fakultät der
Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn

vorgelegt von
Verena Kessel geb. Heyl
aus Köln

2008

Angefertigt mit Genehmigung der
Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Professor Dr. M. Frentzen
2. Gutachter: Professor Dr. Dr. R. H. Reich

Tag der Mündlichen Prüfung: 17. März 2008

Diese Dissertation ist auf dem Hochschulschriftenserver der ULB Bonn http://hss.ulb.uni-bonn.de/diss_online elektronisch publiziert.

Aus der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie, Zahnerhaltung und Präventive Zahnheilkunde des Zentrums für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Universität Bonn
Direktor: Professor Dr. Dr. S. Jepsen

Diese Arbeit widme ich meinem Mann Ingo,
meiner Tochter Lia Josephina
und meinen Eltern

1 Inhaltsübersicht

1	Inhaltsübersicht	5
2	Einleitung und Ziel der Arbeit	8
2.1	Einführung.....	8
2.2	Ätiologie der Pulpaerkrankungen	9
2.3	Formen der Pulpaerkrankungen	9
2.4	Endodontisches Behandlungsspektrum.....	11
2.5	Wurzelkanalaufbereitung.....	13
2.5.1	Historisches.....	13
2.5.2	Allgemeines.....	14
2.5.3	Manuelle Wurzelkanalaufbereitung	17
2.5.4	Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung	18
2.6	Wurzelkanalfüllung	21
2.6.1	Allgemeines.....	21
2.6.2	Füllmaterialien.....	22
2.6.3	Fülltechniken	28
2.7	Ziel der Arbeit.....	33
3	MATERIALIEN UND METHODEN.....	34
3.1	Materialien	34
3.1.1	Art und Auswahl der extrahierten Zähne	34
3.2	Methoden.....	35
3.2.1	Vorbereitende Maßnahmen.....	35
3.2.2	Manuelle Wurzelkanalaufbereitung	35
3.2.3	Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung	36

3.3	Wurzelkanalfüllung	37
3.3.1	Materialbeschreibung Sealapex®	37
3.3.2	Materialbeschreibung RSA®	38
3.3.3	Wurzelkanalfüllung mit der Ein-Stift-Technik	38
3.3.4	Wurzelkanalfüllung mittels lateraler Kondensation.....	39
3.4	Röntgendokumentation	39
3.5	Histologische Aufbereitung der Proben	40
3.6	Auswertung	40
3.7	Datenerfassung	42
4	Ergebnisse	44
4.1	Klinische Ergebnisse	44
4.1.1	Wurzelkanalaufbereitung.....	44
4.1.2	Wurzelkanalfüllung	44
4.2	Röntgenologische Ergebnisse	45
4.2.1	Distanz der Wurzelfüllung zum röntgenologischen Apex	46
4.2.2	Lokalisation der Inhomogenitäten.....	50
4.2.3	Röntgenologische Fallbeispiele	53
4.3	Histologische Ergebnisse	59
4.3.1	Wurzelkanalaufbereitung.....	59
4.3.2	Histologische Fallbeispiele	69
5	Diskussion	73
5.1	Materialien	73
5.2	Methoden	74
5.2.1	Röntgenkontrolle	74
5.2.2	Smear-layer.....	75
5.2.3	Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster®-System	76

5.2.4	Wurzelkanalfülltechniken.....	78
5.3	RSA®	79
6	Zusammenfassung	82
7	Tabellen	83
7.1	Tabellen der histologischen Auswertung	83
7.2	Tabellen der röntgenologischen Auswertung.....	92
7.3	Tabellen zur statistischen Auswertung	95
7.3.1	Statistische Auswertung der Gruppen 1-8 zum Bewertungskriterium „Homogenitätsverhältnis“.....	95
7.3.2	Statistische Auswertung der Gruppen 1-8 zum Bewertungskriterium Distanz Wurzelfüllung - röntgenologischer Apex	96
8	Literaturverzeichnis.....	97
9	Danksagungen	113

2 Einleitung und Ziel der Arbeit

2.1 Einführung

Der Konsensbericht der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie definiert den Fachbereich der Endodontologie als einen „Zweig der Zahnmedizin, der sich mit Form, Funktion und Gesundheit der Zahnpulpa und der die Zahnwurzel umgebenden Gewebe (Parodontium) sowie ihrer Verletzung, Erkrankung und Behandlung befasst“. Ätiologie und Diagnose von Zahnschmerz und Zahnerkrankung sind wesentlicher Bestandteil der Endodontie. Die endodontische Behandlung umfasst alle Maßnahmen, die darauf abzielen, die erkrankte Pulpa teilweise oder ganz zu erhalten. Ist die Pulpa erkrankt oder verletzt, besteht das Behandlungsziel darin, die Gesundheit der periradikulären Gewebe zu erhalten bzw. wiederherzustellen. Breitet sich die Erkrankung von der Pulpa auf die periradikulären Gewebe aus, so besteht das Behandlungsziel in der Wiederherstellung eines funktionsfähigen Zustands. Üblicherweise wird dies über eine Wurzelkanalbehandlung, u. U. aber auch operative Behandlung erreicht (Europäische Gesellschaft für Endodontologie, 2006).

Die Extraktion, d. h. die Entfernung des erkrankten Zahns war bis ins 20. Jahrhundert hinein das Mittel der Wahl zur Behandlung von Pulpaerkrankungen bzw. zur Schmerzbekämpfung. Heute jedoch hat die moderne Zahnheilkunde immer mehr die Konservierung, also die Erhaltung der Zähne zum Ziel. Das oberste Ziel ist, die Vitalität der Pulpa zu erhalten. Dazu wurden in den zurückliegenden Jahren verschiedene Methoden, wie die direkte oder indirekte Überkappung, aber auch die Vitalamputation entwickelt. Gelingt die Vitalerhaltung der Pulpa nicht, so ist die Vitalexstirpation mit anschließender Wurzelkanalaufbereitung und -füllung angezeigt (Koçkapan, 2003). Dabei gilt es, die Prinzipien der modernen Endodontie bezüglich Fallselektion, Diagnostik, Kanalaufbereitung und -füllung zu befolgen, um zu einem erfolgreichen Ergebnis zu gelangen (Guldener und Langeland, 1993). Die angewendeten Methoden und Techniken bei der Wurzelkanalaufbereitung und -füllung sind heutzutage sehr vielfältig und unterliegen einer ständigen Entwicklung. So wird heute vermehrt mit rotierenden Instrumenten unter Verwendung von Feilen aus einer Nickel-Titan-Legierung gearbeitet. Die konventionelle manuelle Aufbereitung mittels Feilen und anschließender Füllung mit Guttaperchastiften wird aber nach wie vor in der zahnärztlichen Praxis durchgeführt.

2.2 Ätiologie der Pulpaerkrankungen

Die Ursachen einer Pulpaerkrankung können vielfältig sein. Am häufigsten ist die Pulpitis als Folge einer Kontamination mit Mikroorganismen anzusehen. Daneben kommen aber auch therapeutisch-iatrogene oder nicht-iatrogene mechanische Reize in Frage. Weiterhin kann bei akuten Erkrankungen des apikalen Parodontiums der Nachbarzähne eine Schädigung der Pulpa beobachtet werden. Ferner können noch Zahnabrasionen, der Durchbruchsdruck retinierter Zähne, Erkrankungen der Kieferhöhle und in seltenen Fällen Neoplasien für den Zerfall der Pulpa verantwortlich sein.

Zu den therapeutisch-iatrogenen Faktoren zählen in erster Linie zahnärztlich-restaurative Maßnahmen. So kann es durch Überhitzung bei der Präparation von Zähnen oder der Politur von Metallfüllungen, intensive Trocknung und Reinigung der Kavität oder auch der artifiziellen Eröffnung der Pulpa zu einem Trauma des Zahnmarks kommen. Ebenso können in der Zahnmedizin verwendete Materialien wie Lacke, Medikamente, Unterfüllungen, Zemente, Abform- und Füllungsmaterialien eine Irritation der Pulpa und damit eine mögliche Schädigung hervorrufen.

Unter nicht-iatrogenen mechanischen Reizen versteht man z. B. durch einen Stoß oder Fall hervorgerufene Kronenfrakturen sowie chronische Traumata, wie eine habituelle starke Abrasion der Zähne durch Bruxismus oder auch eine traumatische Okklusion aufgrund von Frühkontakten. Dadurch kann die Blutzufuhr der Pulpa kurzfristig unterbunden werden und es kommt zu einer Ischämie der Pulpagewebe. Diese ischämisch vorgeschädigten Bereiche bieten keinen ausreichenden Schutz gegenüber einer bakteriellen Besiedelung und der Weg für eine bakterielle Pulpainfektion ist geebnet.

2.3 Formen der Pulpaerkrankungen

Die Formen der Pulpaerkrankungen gliedern sich in die Hyperämie, die akute Pulpitis, die chronische Pulpitis und die Nekrose. Unter Hyperämie versteht man im Zusammenhang mit pulpischen Beschwerden eine Art Vorstadium der Pulpitis und sie ist gekennzeichnet durch die typischen Entzündungssymptome Calor (Wärme), Rubor (Rötung), Tumor (Schwellung), Dolor (Schmerz) und Functio laesa (eingeschränkte Funktion). Zu einer Hyperämie kommt es als Antwort auf einen durch Endo- oder Exotoxine verursachten Reiz. Dieser Zustand ist nach Beendigung des Reizes reversibel.

Die akute Pulpitis kann in vier Untergruppen weiter unterteilt werden. Dabei wird zum einen unterschieden, ob die Pulpa in toto (Pulpitis apicalis totalis) betroffen ist oder nur eine partielle Entzündung (Pulpitis acuta partialis) vorliegt. Zum anderen wird eine Unterteilung nach der Art der

Entzündung, seröse Entzündung (*Pulpitis apicalis serosa*) oder eitrige Entzündung (*Pulpitis apicalis purulenta*) vorgenommen. Bei der serösen *Pulpitis* kommt es zu einer Permeabilitätserhöhung der Gefäßwände und einem damit verbundenen Austritt von Serum in die Gewebe sowie einem Austritt von Leukozyten. Bei der purulenten *Pulpitis* führen massive Infiltrationen von Granulozyten, Rund- und Plasmazellen zur Abszedierung und zum Untergang des Pulpagewebes.

Die chronischen *Pulpitiden* kann man wiederum in drei Formen unterteilen. Dabei wird zunächst unterschieden, ob sich der chronische Entzündungsprozess bei geschlossener (*clausa*) oder geöffneter (*aperta*) Pulpakammer abspielt. Histologisch ist sie durch eine bindegewebige oder kalkige Abkapselung des entzündeten Pulpabezirks sowie degenerative Veränderungen des geschädigten Pulpagewebes gekennzeichnet. Klinisch zeigen sich oft sehr lange Zeit keine oder nur geringe Symptome.

Die *Pulpitis chronica aperta* teilt man weiter in eine ulzerierende (*ulcerosa*) und eine granulomatische (*granulomatosa*) Form ein. Dabei ist die *Pulpitis chronica aperta ulcerosa* histologisch durch einen geschwürigen Zerfall der Pulpa gekennzeichnet. Man findet ein von Lymphozyten und Plasmazellen infiltriertes Granulationsgewebe. Das klinische Bild zeichnet sich meist durch großflächige kariöse Defekte mit bereits eröffneter Pulpakammer aus. Diese Form der chronischen *Pulpitis* wird häufig bei Milchzähnen gefunden.

Unter einer *Pulpitis chronica aperta granulomatosa*, auch *Pulpapolyp* genannt, versteht man eine Proliferation von Fibroblasten und Kapillaren und eine damit verbundene Gewebsneubildung. Auch diese Form der *Pulpitis* lässt sich vor allem bei Milchzähnen beobachten. Der Polyptypbildung ging dabei eine rasche Freilegung der Pulpa durch Karies voraus. Die Gewebeneubildung ist meist wenig schmerzhaft, zeigt jedoch bei Berührung eine starke Blutungsneigung.

Die *Pulpanekrose* stellt ein Endstadium aller *Pulpitiden* dar. Infolge eines kariösen Defektes, aber auch durch eine vollkommene Unterbrechung der Blutzufuhr nach einem Trauma, kommt es zu einem Absterben des Pulpagewebes. Häufig zieht dies eine Gangränbildung nach sich, d. h. es erfolgt eine Besiedelung des nekrotischen Gewebes durch Bakterien, die das abgestorbene Material unter Bildung von übelriechenden Gasen zersetzen (Nolden, 1994).

2.4 Endodontisches Behandlungsspektrum

In Abhängigkeit von der Art der Pulpaerkrankung, des betroffenen Zahnes (Milchzahn oder permanenter Zahn) und der Größe des Defektes stehen dem Zahnarzt verschiedene Therapiemöglichkeiten zur Verfügung.

a) *Indirekte Pulpaüberkappung / schrittweise Kariesentfernung*

Diese Technik wird angewendet, wenn nach der Exkavation einer tiefen Karies noch geringe Mengen kariösen Dentins vorhanden sind und bei weiterer Exkavation ins gesunde Dentin hinein die Gefahr der Eröffnung der vitalen Pulpa besteht. Durch die Applikation eines Calciumhydroxid-Präparates (Ca(OH)_2) nahe an die Pulpa soll diese zur Bildung von Sekundärdentin angeregt werden. Nach genügend langer Verweildauer des Medikamentes im Zahn (mindestens 4 Monate) wird das kariös infizierte Dentin in einer zweiten Sitzung vollständig entfernt.

Das mit einem pH-Wert von 12,4 stark basische Material bewirkt eine Alkalisierung des sauren Dentins sowie eine Umstimmung des sauren Entzündungsmilieus der Pulpa. Die Bildung von Sekundärdentin geschieht dann als Abschirmung vor der weiteren Einwanderung von Hydroxidionen.

b) *Direkte Überkappung*

Die Indikation für eine direkte Überkappung der Pulpa besteht, wenn es während der Kavitätenpräparation zu einer artifiziellen punktförmigen Eröffnung der vitalen Pulpa kommt bzw. die Pulpa durch ein akutes Trauma freigelegt wurde. Dabei darf die Pulpa nicht von kariösem Dentin umgeben sein. Als Überkappungsmedikament wird auch hier Ca(OH)_2 verwendet. Bei der Applikation muss darauf geachtet werden, dass sich zwischen dem Ca(OH)_2 und der Pulpa kein Blutkoagel bildet, da dieses sonst einen Nährboden für Keime darstellen und die Dentinbildung der Pulpa einschränken würde.

c) *Vitalamputation / Pulpotomie*

Diese endodontische Behandlung ist indiziert bei jugendlichen, bleibenden Zähnen vor abgeschlossenem Wurzelwachstum nach Kronenfraktur mit Freilegung der Pulpa oder einer iatrogen, großflächig eröffneten Pulpa, bei der eine direkte Überkappung nicht mehr möglich ist. Nach Entfernung der koronalen und/oder zervikalen Pulpaanteile wird ein Ca(OH)_2 -Präparat auf den

verbliebenen vitalen Pulpaanteil appliziert. Der verbliebene Hartschubstanzdefekt wird mit einer Schichtung aus Zinkoxid-Eugenol-Zement und Zinkoxid-Phosphat-Zement abgedeckt und einer Deckfüllung aus Komposit oder Glasionomerzement verschlossen. Ziel dieser Behandlung ist, die Vitalerhaltung der apikalen Pulpa und eine normale Ausbildung der Wurzel.

d) Mortalamputation

Die Mortalamputation ist nur bei Milchzähnen, deren Pulpa nicht mehr vital erhalten werden kann, indiziert. Ein auf die eröffnete Pulpa appliziertes Formaldehyd-Präparat führt zu einer Devitalisation des Zahnmarks. Nach kurzer Verweildauer von etwa 5 Tagen kann die abgetötete Pulpa schmerzlos entfernt werden. Diese Methode ist daher besonders bei Kindern, die keine Lokalanästhesie tolerieren, angezeigt. Das im Wurzelkanal belassene nekrotische Gewebe stellt jedoch einen guten Nährboden für Bakterien dar, so dass die Indikation dieser Methode auf Milchzähne beschränkt bleibt.

e) Pulpaexstirpation und Wurzelkanalfüllung

Bei der Exstirpation der Pulpa muss nach der „Vitalexstirpation“ und der „Mortalexstirpation“ differenziert werden. Bei der Vitalexstirpation wird die vitale Pulpa, die mit anderen endodontischen Behandlungsmöglichkeiten nicht mehr therapierbar ist, unter Verwendung eines Lokalanästhetikums vollständig aus dem Wurzelkanal entfernt. Dabei wird nach Abtragen des Pulpendaches mit einem sterilen Rosenbohrer zunächst die Kronenpulpa und anschließend die Wurzelpulpa mit einer Exstirpationsnadel oder einem Wurzelkanalinstrument entfernt. An die Exstirpation schließt sich eine vollständige Aufbereitung des Wurzelkanals mit Entfernung infizierter Kanalwandabschnitte, Formung des Wurzelkanals zur besseren Aufnahme des Wurzelfüllmaterials, Spülung und Trocknung sowie die endgültige Füllung des Wurzelkanals an.

Der Mortalexstirpation geht die Devitalisierung der Pulpa durch ein Devitalisierungspräparat voraus. Ähnlich der Mortalamputation wird durch Aufbringen von Formaldehyd das Pulpagewebe nekrotisiert und in einer zweiten Sitzung vollständig entfernt. Da bei zu langer Verweildauer des Devitalisierungspräparates im Wurzelkanal die Gefahr der Schädigung der marginalen oder periapikalen Gewebe besteht, ist die Indikation für die Mortalexstirpation streng zu stellen und unter anderem von der Kooperationsfähigkeit des Patienten abhängig.

2.5 Wurzelkanalaufbereitung

2.5.1 Historisches

Die Behandlung und der Erhalt eines pulpatoten Zahns ist heute gängige Praxis. Noch bis Mitte des 19. Jahrhunderts blieb jedoch nur die Extraktion als einzige Methode der Schmerzbekämpfung. Dies brachte dem Patienten wesentliche ästhetische und kaufunktionelle Probleme (Nolden, 1994). Die Entwicklung neuer Instrumente und Therapiemaßnahmen trug schließlich dazu bei, dass Zähne, welche in früheren Jahren extrahiert werden mussten, nun erhalten bleiben können (Andresen, 1912; Sachs, 1894).

Mitte des 19. Jahrhunderts wurde versucht, den Zahn durch eine medikamentöse Einlage zu erhalten. Man bediente sich Antiseptika wie z. B. Arsentrioxid oder Scherbenkobalt und applizierte diese in den Wurzelkanal (Hülsmann, 1996).

Zu Beginn des 20. Jahrhunderts war es eine übliche Praxis, in besonders schwer zugänglichen Wurzelkanälen die Pulpa teilweise, oder auch in Gänze zu belassen. Es wurde versucht, den verbliebenen Pulpaanteil in einen fäulnisunfähigen Zustand zu versetzen. Dazu wurde eine Paste aus Zinkoxysulfat und gesättigter Karbolthymollösung verwendet. Die Bemühungen gingen auch dahin, ein Medikament zu finden, welches die Pulpa in einen antiseptischen Zustand überführen sollte, damit diese selbst als Wurzelkanalfüllung fungieren konnte (Kantorowicz, 1924).

Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Notwendigkeit der mechanischen Säuberung der Wurzelkanäle erkannt. Bereits 1899 wurde von Rollins ein motorbetriebener Wurzelkanalbohrer entwickelt. Die Instrumente bestanden in erster Linie aus Edelstahl (Hülsmann, 1996). Die Problematik lag hauptsächlich in der häufig auftretenden Fraktur der Instrumente (Ketterl, 1975).

Die Firma Kerr entwickelte Ende des 19. Jahrhunderts die in abgeänderter Form heute noch verwendeten K-Feilen. Ebenso kamen zur manuellen Entfernung der Pulpa Nervnadeln wie der Donald'sche Nervcleanser oder der Miller'sche Nervkanalreiniger zum Einsatz (Sachs, 1894).

Mit der Einführung von Nickel-Titan-Legierungen wurden erneut Versuche unternommen, rotierende Instrumente im Bereich der Wurzelkanalaufbereitung einzusetzen. Diese flexiblen Instrumente weisen ein geringes Biegemoment auf und sind aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften sehr gut für den Einsatz als permanent rotierende Instrumente und auch in gekrümmten Kanälen geeignet.

2.5.2 Allgemeines

Um einen langfristigen Erfolg der Wurzelfüllung zu gewährleisten, muss bereits die Aufbereitung des Wurzelkanals mit besonderer Sorgfalt erfolgen. Dabei kann der Kanal entweder mit Handinstrumenten oder mit maschinell betriebenen Instrumenten aufbereitet werden. Die Aufbereitung, sofern sie gründlich durchgeführt wird, führt zur Entfernung von nekrotisch verändertem Pulpagewebe und in der Pulpa befindlichen Mikroorganismen. Des Weiteren wird der Wurzelkanal vergrößert und somit Raum für in den Kanal einzubringende Substanzen, wie desinfizierende Spülflüssigkeiten, medikamentöse Einlagen und später das Füllmaterial, geschaffen.

Die exakte Aufbereitung des Kanals beginnt mit der genauen Kenntnis der Kanal Anatomie. So kann man sich den Wurzelkanal nicht als einen geradlinigen, röhrenförmigen Kanal vorstellen, es handelt sich vielmehr um ein komplexes Kanalsystem mit vielen Seiten- und Nebenkanälen (Ramifikationen). Da diese Ramifikationen nicht aufzubereiten sind, wird der Kombination aus mechanischer und chemischer Reinigung besondere Bedeutung beigemessen.

Wesentliche Prinzipien gilt es bei der Aufbereitung zu beachten:

1. Die Aufbereitung sollte bis zum Foramen physiologicum erfolgen. Hierbei handelt es sich um eine Einengung im Bereich der apikalen Konstriktion.
2. Der Wurzelkanal sollte nach der Instrumentierung eine konische Form aufweisen.
3. Eine Überinstrumentierung und damit verbundene Irritation des periapikalen Gewebes muss vermieden werden.
4. Infiziertes Pulpagewebe sollte vollständig bis in den gesunden Bereich gehend entfernt werden.

Die Trepanation eines pulpakranken Zahnes stellt den ersten Schritt der Wurzelkanalaufbereitung dar. Auch hier gilt es, einige Grundlagen zu beachten. Vor der Eröffnung der Pulpakammer sollten Karies und insuffiziente Füllungen entfernt werden, um die Anzahl an Mikroorganismen zu verringern. Bei der Präparation der Kavität sollte diese der Gesamtausdehnung der Pulpa entsprechen, damit die Kanäleingänge gut lokalisierbar sind und um einen direkten Zugang zu den Wurzelkanälen zu erhalten. Andererseits ist es ebenso wichtig, substanzschonend zu arbeiten, um den Zahn nicht unnötig zu schwächen. Dies beinhaltet, dass das Dach der Pulpa vollständig entfernt wird. Eine Schädigung des Pulpabodens muss unbedingt vermieden werden, da es sonst zu Perforationen kommen kann. Um die geschwächten Höcker im Molaren- und Prämolarenbereich zu schützen, werden diese gekürzt und somit aus der Okklusion genommen.

Die Präparation beginnt mit einem Kugeldiamanten, welcher unter Wasserkühlung bis nahe an das Pulpdach gehend Schmelz und Dentin abträgt. Die Eröffnung der Pulpakammer geschieht mit einem sterilen Rosenbohrer in einem geringen Geschwindigkeitsbereich. Sobald eine aus-

reichend große Zugangskavität präpariert wurde, werden die Kanaleingänge mit einer Kerr-Feile oder einer dünnen Sonde gesucht. Nach der Lokalisation werden die Kanaleingänge mit Hilfe eines Gates-Glidden-Bohrers trichterförmig erweitert, um das Einführen der Wurzelkanalinstrumente zu erleichtern.

Das Pulpakavum wird zur Säuberung von Bohrstaub und Gewebsresten mit 3%-iger H_2O_2 -Lösung oder 5%-iger NaOCl-Lösung gespült, was dem Behandler einen besseren Überblick über die Verhältnisse am Pulpakammerboden ermöglicht.

Nach der Trepanation erfolgt die Exstirpation der vitalen oder nekrotischen Pulpa. Dabei werden Exstirpationsnadeln vorsichtig bis zum apikalen Kanaldrittel eingeführt und unter einer Drehbewegung wieder aus dem Kanal heraus gezogen. Die Pulpa schlingt sich durch das Drehen um die Exstirpationsnadel und wird an den an der Nadel befindlichen Häkchen fixiert. Idealerweise gelingt die Entfernung „in toto“, anderenfalls muss dieser Vorgang wiederholt werden.

In einem weiteren Schritt wird die Arbeitslänge bestimmt. Diese bezeichnet die Entfernung vom koronalen Referenzpunkt, i. d. R. die Inzisalkante bzw. eine Höckerspitze, bis zum Foramen physiologicum. Es ist unerlässlich, diese korrekt zu bestimmen, und somit eine Über- oder Unterinstrumentierung zu vermeiden.

Im Allgemeinen erfolgt die Bestimmung der Arbeitslänge mit Hilfe einer Röntgenmessaufnahme: Präoperativ wird ein Röntgenbild in Paralleltechnik aufgenommen und so die vermutliche Zahnlänge von koronal nach apikal beurteilt. Da der röntgenologische Apex nicht mit dem Foramen physiologicum identisch ist, reduziert man die Zahnlänge um 1 mm, da dies die übliche Distanz zwischen Foramen apicale und Foramen physiologicum ist. Eine ausreichend große Feile (mindestens ISO-Größe 15) wird nun in den Wurzelkanal bis zum vermuteten Foramen physiologicum vorgeschoben. Der koronale Referenzpunkt wird mit einem Silikon-Stop markiert. Eine erneute Röntgenaufnahme in Paralleltechnik wird angefertigt und die Länge der in den Kanälen befindlichen Instrumente notiert.

Der Abstand zwischen apikalen Punkt und der Instrumentenspitze wird gemessen und die exakte Zahnlänge nach folgender Gleichung ermittelt:

$$\text{LIZ} \times \text{LZR} / \text{LIR} = \text{ZL}$$

LIZ= Länge des Instrumentes im Zahn

LZR= Länge des Zahnes im Röntgenbild

LIR- Länge des Instrumentes im Röntgenbild

ZL= ermittelte Zahnlänge

Von diesem Wert wird 1 mm subtrahiert, um den Wurzelkanal mit möglichst hoher Wahrscheinlichkeit bis zum physiologischen Punkt aufzubereiten.

In der Praxis gewinnt die elektrische Bestimmung der Kanallänge immer mehr an Bedeutung. Zum einen besteht u. a. aufgrund von Projektionsfehlern und Verzerrungen bei der Röntgenaufnahme die Gefahr, dass die ermittelte Aufbereitungslänge nicht mit der tatsächlich aufzubereitenden Distanz übereinstimmt, zum anderen ist mit der zusätzlichen Röntgenaufnahme auch eine erhöhte Strahlenbelastung des Patienten verbunden.

Das Prinzip der Endometrie beruht darauf, dass der elektrische Widerstand zwischen der Mundschleimhaut und dem Desmodont konstant ist. Bei Erreichen der Wurzelspitze fällt dieser Widerstand schlagartig ab (Impedanz). Durch in den Kanal eingebrachte Elektrolytflüssigkeit, i. d. R. NaOCl, kommt es zu einem Abfall des Widerstands und zu einer Reduzierung des Impedanzgradienten entlang des Wurzelkanals.

Das elektrometrische Messgerät hat zwei Elektroden, wobei eine mit der Mundschleimhaut des Patienten und eine andere mit einer in den Wurzelkanal eindringenden Feile verbunden ist. Durch das Messgerät wird nun ein Wechselstrom geführt. Das Gerät misst den jeweiligen elektrischen Widerstand und vergleicht diesen mit einem vorher kalibrierten Referenzwiderstand. Ist dieser Wert erreicht, so zeigt dies das Gerät in Form eines optischen oder akustischen Signals an.

Durch die Instrumentierung bei der Wurzelkanalaufbereitung entsteht auf der Kanaloberfläche eine 1 bis 2 µm dicke Schmierschicht (Smear-layer). Diese setzt sich aus Gewebsresten der Pulpa und der Odontoblasten, Dentin sowie Resten der Spülflüssigkeiten zusammen. Die Schmierschicht sitzt der Kanalwand zum einen locker auf, zum anderen ist sie auch fest mit dem Dentin verbunden. Zu der Frage, ob diese Schmierschicht vor der Wurzelkanalfüllung entfernt werden soll um eine bessere Abdichtung des Wurzelkanals zu erhalten, existieren unterschiedliche Untersuchungen. Einige Autoren befürworten die Entfernung der Schmierschicht, da so eine bessere Retention des Wurzelfüllmaterials an die Kanaloberfläche ermöglicht werden soll (White et al., 1987; Petschelt et al., 1987). Anderen Untersuchungen zufolge kann das Belassen der Smear-layer ein Eindringen von Bakterien in die Dentintubuli verhindern und somit als eine Art

Schutzschild fungieren (Drake et al., 1994). Die Entfernung der Schmierschicht kann durch Irrigation mit einer alternierenden Spülung aus 17%iger EDTA-Lösung und 5,25%iger NaOCl-Lösung erreicht werden.

2.5.3 Manuelle Wurzelkanalaufbereitung

Die heute in der zahnärztlichen Praxis verwendeten Instrumente zur manuellen Wurzelkanalaufbereitung können durch die Form ihrer Schneiden, das Material aus dem sie bestehen, und auch nach ihrer Flexibilität unterschieden werden. Die gebräuchlichsten Handinstrumente sind die K-Feile, die Hedström-Feile und der Wurzelkanalbohrer, auch Reamer genannt. Sie sind aus Edelstahl gefertigt, starr und unterscheiden sich in der geometrischen Form ihrer Schneiden. K-Feile und Reamer werden durch die Verdrillung von Rohlingen mit einem dreieckigen oder quadratischen Querschnitt hergestellt. Dabei dient den kleinen ISO-Größen die quadratische Form und den größeren ISO-Größen (ab ISO-Größe 30) die dreieckige Form als Grundlage (Beer und Baumann, 1997). Der Schneidekantenwinkel einer K-Feile beträgt 25°-40°. Zum effektiven Einsatz ist es erforderlich, das Instrument im Wurzelkanal zu drehen, um so Material abzutragen. Auch der Reamer erfordert mit einem Schneidekantenwinkel von 10°- 30° eine drehend-schabende Arbeitsweise (Hoppe und Heinen, 1983).

Bei der Herstellung von Hedströmfeilen werden in die Rohlinge spiralförmig umlaufende Schneiden geschliffen. Mit einem Schneidekantenwinkel von 60°-65° ergibt sich für sie ein Höchstmaß an Effektivität bei einer linear-feilenden Arbeitsweise. Sie sollten wegen erhöhter Frakturgefahr bei drehenden Bewegungen, nur ziehend benutzt werden. Der Spanraum, als Maß für die Abtragsleistung eines Instruments, ist bei der Hedström-Feile sehr groß, was eine hohe Effektivität widerspiegelt.

Die klassische Aufbereitungstechnik, die mit den starren Handinstrumenten angewendet wird, ist die Step-back-Technik. Zunächst wird der Wurzelkanal bis zur apikalen Konstriktion aufbereitet. Eine initiale Feile mit geringer ISO-Größe, die am Foramen physiologicum eine gewisse Friktion aufweist, wird in den Kanal eingeführt und trägt, entsprechend ihres Querschnitts, drehend oder ziehend pulpales Gewebe ab. Feilen aufsteigender Stärke werden anschließend zum Reinigen des Wurzelkanals verwendet, bis nur noch gesundes Dentin hervorgebracht wird. Die Feilen dürfen dabei nicht unter Druck in den Kanal eingebracht werden. Eine Spülung zwischen den Feilenwechseln sorgt dafür, dass die Dentinspäne an die Oberfläche befördert werden und verhindert, dass sich diese vor die apikale Konstriktion legen. Die zuletzt bis auf volle Arbeitslänge verwendete Feile bekommt die Bezeichnung „Masterfeile“, und dient der Rekapitulation der Ar-

beitslänge. Die nächstgrößeren 3-5 Feilen werden, um jeweils 1 mm von der Arbeitslänge aus reduziert, in den Kanal eingebracht und säubern die oberen Kanalwandabschnitte.

Schrittweise wird der Wurzelkanal so konisch aufbereitet. Mit der Masterfeile überprüft man nach jeder Feilung, ob die volle Arbeitslänge noch erreicht werden kann, oder ob Dentinspäne den apikalen Bereich blockieren (Guldener und Langeland, 1993). Diese Art der Aufbereitung eignet sich in erster Linie für gerade Kanäle. In gekrümmten Wurzelkanälen hingegen haben größere, starre Wurzelkanalinstrumente die Tendenz, den Wurzelkanalverlauf nicht beizubehalten und diesen zu begradigen (Schneider, 1971). Aus diesem Grund wurden flexible Wurzelkanalinstrumente aus Edelstahl entwickelt, die dieser Problematik entgegen wirken sollten. Bekannte Vertreter dieser Feilen sind die Flex-o-Feilen und Flex-o-Reamer der Firma Maillefer, die Flexicut-Feilen von der Firma VDW und die K-Flex-Feilen (Kerr). Die Instrumente weisen einen größeren Spanraum, einen kleineren Kerndurchmesser und damit eine erhöhte Abtragsleistung und Flexibilität auf (Schäfer et al., 1992). Studien haben gezeigt, dass die Abweichung vom ursprünglichen Kanalverlauf bei der Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle mit flexiblen Feilen wesentlich geringer ist als bei der Verwendung herkömmlicher starrer Feilen (Schäfer und Tepel, 1993).

2.5.4 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

Die DGZMK (2005) unterteilt die Systeme zur maschinellen Wurzelkanalaufbereitung wie folgt:

- a) *Maschinelle Systeme mit starrem Bewegungsablauf (Hub- und/oder Rotationsbewegung). Beispiele: Giromatic (Micro-Méga, Besancon, Frankreich), Endolift (Kerr Karlsruhe, Deutschland), Racer- Winkelstück (W&H, Bürmoos, Österreich).*
- b) *Maschinelle Systeme mit modifiziertem Bewegungsablauf (flexibler Bewegungsablauf, schwingende Systeme). Beispiele: Excalibur (W&H, Bürmoos, Österreich), EndoFlash-Winkelstück (KaVo, Leutkirch, Deutschland).*
- c) *Schallvibrations- und Ultraschallsysteme. Beispiele: SonicAir 3000 (Micro-Méga, Besancon, Frankreich), Piezon Master (EMS, Nyon, Schweiz).*
- d) *Vollrotierende Systeme mit Ni-Ti-Instrumenten. Beispiele: ProFile, ProTaper (Maillefer Dentsply, Ballaigues, Schweiz), FlexMaster (VDW, München, Deutschland), RaCe (FKG, La Chaux-de-Fonds, Schweiz).*
- e) *Neuere nicht-instrumentelle Techniken (Laser, Endox, Vakuum-Pumpe).*

zu a:

Bei den maschinellen Systemen mit starrem Bewegungsablauf begrenzt ein spezielles Winkelstück die Bewegung auf eine Viertelumdrehung. Schäfer konnte in seiner Studie feststellen, dass die Aufbereitung mit diesem System den zeitlichen Aufwand reduzierte, allerdings häufig der ursprüngliche Kanalverlauf verändert wurde, und es häufiger zu Instrumentenfrakturen kam als bei der Handaufbereitung (Schäfer, 2000).

zu b:

Diese Systeme arbeiten mit begrenzt variablen Kombinationen aus Hub- und/oder Rotationsbewegungen oder niedrigfrequenten lateralen Schwingungen. Aufgrund der in den meisten dieser Winkelstücke integrierten Spülfunktion erreichten diese Systeme bessere Ergebnisse als die mit starrem Bewegungsablauf. Hinsichtlich der Formgebung des Wurzelkanals konnten sie keine optimalen Ergebnisse erzielen, da hier Längenverluste und Begradigungen des Kanalverlaufs beobachtet wurden (DGZMK, 2005)

zu c:

Ultraschallsysteme zur Aufbereitung und Reinigung des Wurzelkanals arbeiten mit hochfrequenten Schallschwingungen im Bereich von 25-40 kHz. Die im Wurzelkanal befindliche Spülflüssigkeit wird in Schwingung versetzt und soll so die Reinigungswirkung der Spülflüssigkeit erhöhen. Da der Substanzabtrag hier nur gering ist, wird dieses System nur als Ergänzung der herkömmlichen Aufbereitung empfohlen (Tepel, 2000).

zu d:

Die vollrotierenden Systeme mit Nickel-Titan-Instrumenten haben seit ihrer Einführung Anfang der neunziger Jahre die endodontische Behandlung, vor allem gekrümmter Kanäle, verbessert. Nickel-Titan-Legierungen bestehen zu 55% aus Nickel und zu 45% aus Titan (55-Nitinol) oder zu 60% aus Nickel und 40% Titan (60-Nitinol) und zeichnen sich durch ein hohes Elastizitätsvermögen und Formgedächtnis aus (Baumann, 2004; Thompson, 2000). Nickel-Titan-Legierungen zeigen ein pseudoelastisches Verhalten, d. h. bei Belastungen, die bei Edelstählen bereits zu bleibenden Deformationen führen, zeigen sie eine Rückstellung in ihre ursprüngliche Form durch Kristallgitterumwandlung. Ebenso zählen eine Erleichterung der Arbeitsweise und die Zeitersparnis zu den Vorteilen (Guelzow et al., 2005; Schäfer et al., 2004; Sonntag et al., 2003).

Die neuen vollrotierenden Ni-Ti-Systeme zur Wurzelkanalaufbereitung arbeiten mit einer 360° Vollrotation unter Verwendung der Crown-Down-Technik. Die Instrumentenspitzen der Ni-Ti-Instrumente sind nicht-schneidend. Studien belegen, dass die Verwendung vollrotierender Ni-Ti-Systeme besonders für die Aufbereitung gekrümmter Wurzelkanäle geeignet ist (Schäfer et al., 2004; Schäfer, 2005). Der Vorteil dieser Systeme liegt auch in der möglichen Erhöhung der Aufbereitungsgröße, woraus ein vermehrter Dentinabtrag und Optimierung der Querschnittsform resultiert (DGZMK, 2005). Dennoch konnte in Studien keine absolute Säuberung der Wurzelkanäle beobachtet werden (Schäfer et al., 2004; Hsu, 2004).

Problematisch sind die häufig in Studien beobachteten Instrumentenfrakturen aufgrund von Ermüdungserscheinungen des Materials (Sattapan et al., 2000; Bortnick et al., 2001). Um u. a. dieses Problem zu lösen sind neuerdings Spezialmotoren mit vorprogrammierten Drehzahlen und Drehmomentkontrollen auf dem Markt. Bei Erreichen eines bestimmten Grenzdrehmoments kommt es zum automatischen Linkslauf oder zum Stillstand der Motorbewegung. I. d. R. werden Motoren in Kombination mit Endo-Winkelstücken verwendet. Ein neu entwickeltes Endo-Winkelstück mit integrierter Drehmomentbegrenzung (SIRONITI, Sirona, Bensheim, Deutschland) scheint diese Technologie zu vereinfachen (Martin et al., 2003)

Das FlexMaster®-System

Die Merkmale der Feilen des FlexMaster®-Systems (VDW, München, Deutschland) sind eine nicht schneidende Spitze, was die Sicherheit im Kanal erhöhen soll, ein konvexer Querschnitt, was zu mehr Schneidleistung und Erhöhung des Torsionswiderstands führen und Schneidekanten vom Typ „K“, wodurch das Instrument weniger beansprucht werden soll.

Zahlreiche Studien belegen, dass mit dem FlexMaster®-System eine wesentlich kürzere Zeit zur Präparation des Wurzelkanals benötigt wird als mit der Handaufbereitung (Alam et al., 2006; Schäfer et al., 2004; Schäfer und Lohmann, 2002). Bei Untersuchungen zur Schnelligkeit der Aufbereitung der verschiedenen rotierenden Systeme schneiden z. B. das RaCe-System (Merret et al., 2006) oder das HERO 642 (Hülsmann et al., 2003) besser ab als das FlexMaster®-System. Hinsichtlich der Sauberkeit, gemessen an der Menge an herausbeförderten Debris, ist die Handaufbereitung den maschinellen Systemen überlegen. In den Studien von Alam et al. (2006), Zarrabi et al. (2006) und Zand et al. (2007) konnte kein einziger vollständig gesäuberter Wurzelkanal beobachtet werden. Die Menge an herausbeförderten Debris war in den manuell aufbereiteten Gruppen am größten. Bei den vollrotierenden Systemen schnitt in diesem Punkt das FlexMaster®-System am besten ab. Bezüglich möglicher Aufbereitungsfehler (Begradigungen des originären Kanalverlaufs, Verlust der Aufbereitungslänge) konnte festgestellt werden, dass mit dem FlexMaster®-System signifikant weniger Begradigungen des gekrümmten Wurzel-

kanals auftraten als bei handaufbereiteten Wurzelkanälen (Schäfer et al., 2004). Auch Hübscher et al. (2003) sehen das FlexMaster[®]-System als besonders geeignet zur sicheren Aufbereitung enger und gekrümmter Kanäle an, da eine Aufbereitung bis Größe 40 oder 45 ohne signifikante Fehler möglich ist.

2.6 Wurzelkanalfüllung

2.6.1 Allgemeines

Die Wurzelkanalfüllung dient dem hermetischen Verschluss des Wurzelkanals vom Pulpenkavum aus bis in den Apexbereich. Durch das Verschließen soll es Mikroorganismen unmöglich gemacht werden, vom periapikalen Raum aus in das Wurzelkanalsystem vorzudringen und eine erneute Entzündung hervor zu rufen. Auch sollen Mikroorganismen, welche den Reinigungs- und Aufbereitungsprozess überlebt haben, in den Kanalbereichen isoliert werden. Allerdings ist nicht nur ein vollständiger Verschluss des Wurzelkanals von entscheidender Bedeutung, ebenso ist auf eine exakte Versiegelung des koronalen Bereichs zu achten, um eine Kontamination von dort aus zu verhindern. Diese Kriterien stellen hohe Anforderungen an das Füllmaterial. So muss dieses eine gute Biokompatibilität aufweisen, d. h. es darf das periapikale Gewebe nicht reizen. Es sollte resistent gegenüber Feuchtigkeit (Speichel) sein und keine Schrumpfung aufweisen, sondern eher leicht expandieren. Eine bakteriostatische oder bakterizide Wirkung ist wünschenswert. Ebenso muss das Handling einfach sein, was beinhaltet, dass das Material nicht zu schnell abbindet, und notfalls auch leicht wieder zu entfernen ist. Darüber hinaus sollte es radioopak sein, da die Röntgenaufnahme die einzige Möglichkeit der Erfolgskontrolle darstellt.

Die Frage nach dem Zeitpunkt der Wurzelfüllung kann nicht eindeutig beantwortet werden.. So scheint die Wurzelkanalaufbereitung und -füllung in einer Sitzung nach einer Vitalexstirpation sinnvoll, da eine Kontamination mit Mikroorganismen während der Behandlungszwischenräume ausbleibt (Cheung und Chan, 2003). Bei pulpatoten Zähnen hingegen wird i. d. R die Füllung des Wurzelkanals erst nach mehreren Sitzungen durchgeführt, um eine ausreichende Desinfektion des Zahns durch medikamentöse Einlagen und Spülungen zu erreichen.

2.6.2 Füllmaterialien

Dem Praktiker stehen heute viele verschiedene Materialien zur Füllung des Wurzelkanals zur Verfügung. So unterscheidet man nach ihrer Konsistenz zwischen plastischen Füllungsmaterialien, wie z. B. Zemente oder Pasten und festen Materialien (Wurzelfüllstifte). Neben den in Kapitel 2.6.1 genannten Eigenschaften, die das Material idealerweise besitzen sollte, sind außerdem zu nennen: gute Fließfähigkeit, lange Lebensdauer, keine Verfärbung der Zähne verursachend, keine Toxizität und Undurchlässigkeit gegenüber Gewebsflüssigkeiten.

Aufgrund der Tatsache, dass es kein Material gibt, das alle genannten Anforderungen erfüllt, ist man dazu übergegangen, verschiedene Füllmaterialien zu kombinieren. So ist eine der gängigsten Methode, feste Wurzelfüllmaterialien, meist in Form von Guttaperchastiften, mit Zementen zu verwenden.

Zemente (Sealer)

Zemente finden vor allem in Kombination mit festen Füllungsmaterialien Verwendung. Dabei sollen sie vor allem Hohlräume zwischen dem festem Füllungswerkstoff und der Kanalwand bzw. der Stifte untereinander ausgleichen und die Nebenkanäle versiegeln. Als alleiniges Füllmaterial sind sie i. A. ungeeignet, da sie, bedingt durch ihre Kontraktion, nicht in der Lage sind, das Wurzelkanalsystem dauerhaft abzudichten (Schäfer, 2000).

Wurzelfüllpasten auf Zinkoxid-Eugenol-Basis

Diese Zemente kommen seit vielen Jahrzehnten im Bereich der Wurzelfüllungen zur Anwendung. Sie bestehen aus zwei Komponenten, Pulver und Flüssigkeit oder es handelt sich um Zwei-Pasten-Systeme. Sie erhärten nach Vermischen durch Bildung eines Zinkeugenolats. Diese Sealer weisen eine geringe Schrumpfung sowie eine gute Adhäsion zum Kanalwanddentin und zum Wurzelfüllstift auf und dichten somit den Kanal gut ab. Aufgrund von erhöhter Löslichkeit ist es allerdings nur in Verbindung mit Guttapercha-Stiften und nicht als alleiniges Füllmaterial zu verwenden. Nachteilig ist auch, dass freies Eugenol im Eugenolat vorliegt. Dieses hat zwar eine durchaus erwünschte bakteriostatische Wirkung, aber auch ein allergenes Potenzial, wodurch es bei empfindlichen Patienten zu einer urtikariellen Reaktion kommen kann. Bekannte Präparate auf Zinkoxid-Eugenol-Basis sind das TubliSeal[®] von Kerr und ProcoSol[®] (Star Dental, DentalEZ Group, Lancaster, PA, USA).

Wurzelfüllpasten auf Salicylatbasis mit Calciumhydroxid

Dieser Zement entsteht durch Anmischen von Calciumhydroxid mit Salicylsäure-Estern. Man erhoffte sich eine gewisse therapeutische Wirkung, wie sie bereits bei der direkten Überkappung und Vitalamputation erprobt war. Die antibakterielle Wirkung dieser Sealer lässt allerdings relativ schnell nach. Kayaoglu et al. (2005) untersuchten die antibakterielle Wirkung von fünf Wurzelkanalsealern, u. a. die von Sealapex[®]. Dabei wurden Filterpapierscheiben mit einer Lösung in der sich *Enterococcus-faecalis*-Bakterien befanden getränkt und diese für kurze Zeit mit frisch angemischtem Sealer zusammen gebracht. Sealapex[®] zeigte in dieser Studie keine antimikrobielle Aktivität. Während der Abbindereaktion werden von einigen Präparaten zytotoxische, jedoch keine mutagenen Bestandteile freigesetzt (Geurtsen und Leyhausen, 1997). Beispiele: Sealapex[®] (Kerr Sybron, Orange, CA, USA), Apexit (Vivadent, Ellwangen, Deutschland).

Wurzelfüllpasten auf Glasionomer-Zement-Basis

Als Material zur Wurzelfüllung werden das KetacEndo (3M/Espe, Neuss, Deutschland) als Capmix-Präparat und Endion (Voco, Cuxhaven, Deutschland) als wasseranmischbares Pulver angeboten. Tagger et al. (2002) konnten bei Ketac-Endo eine gute Haftung des Materials am Dentin nachweisen. Allerdings wird dieser Vorteil durch die hohe Löslichkeit, die höher ist als bei den meisten anderen Sealern, wieder aufgehoben (Schäfer, 2000). Glasionomer-Sealer besitzen eine gute Radioopazität und liefern ähnlich zufriedenstellende Ergebnisse wie Zinkoxid-Eugenol-Sealer, vorausgesetzt, der Smear Layer wurde vorher entfernt. Die bakterizide Wirkung und seine Gewebefreundlichkeit führen zu erfolgreichen Wurzelfüllungen (Buck, 2002).

Wurzelfüllpasten auf Kunstharzbasis

Es lassen sich bei den Zementen auf Kunstharzbasis Sealer auf Polydimethylsiloxan- (RSA[®], Roeko, Langenau, Deutschland), Epoxidharz- (AH 26 und AH Plus, DentSply/De Trey, Konstanz, Deutschland), Methakrylat- (Hydron, Hydron Canada) und Polyketonbasis (Diaket, 3M/Espe) unterscheiden. AH 26 zeigt gute adhäsive Eigenschaften und eine geringe Löslichkeit. Die Formaldehydfreisetzung führt jedoch zu einer Gewebsreaktion und zeigt eine gewisse Zytotoxizität. Diese nimmt jedoch mit zunehmender Aushärtung des Materials ab und ist nach einigen Wochen kaum noch nachweisbar (Rappaport et al., 1964). In sehr seltenen Fällen wurde eine Kontaktallergie gegen Bestandteile der Wurzelfüllpaste beobachtet. Die Weiterentwicklung AH Plus setzt während der Abbindereaktion kein Formaldehyd mehr frei. Es ist nahezu unlöslich und besitzt antibakterielle Eigenschaften. Hier ist wiederum die initiale Zytotoxizität der Epoxide als Nachteil zu nennen. So konnte nach 1 h, 24 h und 48 h signifikant mehr Zytotoxizität nachgewiesen werden als nach 7 d oder 30 d (Miletić et al., 2005).

Diaket[®] als Vertreter der Sealer auf Polyketonbasis härtet durch Komplexbildung, besitzt zufriedenstellende werkstoffkundliche Eigenschaften und Biokompatibilität. Bei Hydron handelt es sich um ein hydrophiles Gel, welches unter Feuchtigkeitseinfluss polymerisiert. Während es unter trockenen Bedingungen schrumpft, kommt es bei Feuchtigkeit Zutritt zu einer Expansion und inhomogener Abbindung des Materials. Studien haben gezeigt, dass die Verwendung von Hydron zu wenig randdichten Wurzelfüllungen führt (Osins et al., 1983) und eine toxische Wirkung auf Nervenfasern hat (Pyner, 1980).

RoekoSeal[®] Automix[®] (RSA[®]) ist ein auf Polydimethylsiloxan-Basis hergestellter Wurzelkanalsealer. Weitere Inhaltsstoffe sind Silikonöl, Paraffinöl, Platinkatalysator und Zirkondioxid. Er wird in Form eines Doppelkammerapplikators angeboten und liegt als Zwei-Komponentensystem vor. Während seiner Abbindung kommt es zu einer leichten Expansion (0,2%), woraus ein gutes Abdichtungsvermögen dieses Sealers resultiert (Ørstavik et al., 2001). Es wurden, in Abhängigkeit von der Liegedauer, keine zytotoxischen Effekte nachgewiesen (Miletić et al., 2005). Auch Untersuchungen von Ørstavik et al. (2001) und Gençoglu et al. (2003) ergaben, dass RSA[®] eine gute Biokompatibilität aufweist.

Ein weiterer Vorteil ist die Unlöslichkeit gegenüber Gewebsflüssigkeiten, wodurch die Abbindung im feuchten Milieu möglich wird. Eine über einen Zeitraum von 18 Monaten durchgeführte Langzeitstudie bewies, dass RSA[®] sowohl in Kombination mit kalt lateral kondensierter Guttapercha als auch mit warm vertikal kondensierter Guttapercha konstant gute Obturation des Wurzelkanals zeigt (Wu et al., 2002). Zahlreiche Studien zeigen, dass RSA[®] gute Abdichtungseigenschaften aufweist (Cobankara et al., 2002; Gençoglu et al., 2003; Wu et al., 2003).

In einer Studie von Economides et al. (2005) wurde die Dichtigkeit von RSA[®] und den Wurzelfüllpasten Topseal (Dentsply, Konstanz, Deutschland) und Endion (Voco, Cuxhaven, Deutschland) in Abhängigkeit von Entfernung oder Belassen des Smear-Layers verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Entfernung des Smear-Layers keine signifikante Verbesserung bezüglich der Dichtigkeit von RSA[®] bewirkt (Economides et al., 2005).

Eine Studie von Huuonen et al. (2003) verglich die Heilung einer apikalen Parodontitis nach endodontischer Behandlung mit RSA[®] und einem Sealer auf Zinkoxid-Eugenol-Basis. Nach jeweils drei und zwölf Monaten wurden klinische und radiologische Kontrollen durchgeführt. Es konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Gruppen nachgewiesen werden. Beide Gruppen zeigten einen guten Heilungsverlauf (Huuonen et al., 2003).

Eine Studie von Saleh et al. (2002) untersuchte die Haftung verschiedener Wurzelfüllpasten (RSA[®], Grossman-Sealer, Apexit, KetacEndo und AH Plus) in Abhängigkeit von der Vorbehandlung des Dentins. Dazu wurden Zylinder aus menschlichem Dentin gefertigt und die Oberflächen

entweder mit Phosphorsäure, Zitronensäure, EDTA oder destilliertem Wasser konditioniert und mit frisch angerührtem Sealer benetzt. Ein zusammen mit einer RSA[®]-Gruppe verabreichter experimenteller Primer wurde ebenfalls untersucht. Die Untersuchung ergab, dass eine Vorbehandlung des Dentins keinen signifikanten Einfluss auf die Haftung bei Verwendung von RSA[®] oder Ketac-Endo hat. Die Verwendung des experimentellen Primers hingegen erhöhte die Haftung von RSA[®] im Vergleich zu unbehandeltem Dentin (Saleh et al., 2002).

Die Anwesenheit von Feuchtigkeit scheint auch eine größere Rolle bei der Abdichtungsfähigkeit von RSA[®] zu spielen. So scheint im Wurzelkanal befindliche Feuchtigkeit als ein Schmiermittel für diesen Sealer zu fungieren und bewirkt so eine bessere Anhaftung des Sealers an den Wurzelkanal. Es wurden deutlich bessere Ergebnisse in feuchten Wurzelkanälen erzielt als in trockenen Kanälen (Roggendorf et al., 2007)

Gutta-Flow[®] (Roeko, Langenau, Deutschland) ist eine Weiterentwicklung des auf der Basis additionsvernetzenden Silikons hergestellten Sealers RoekoSeal[®], welcher mit Guttaperchakügelchen angereichert wurde. Es wird mittels eines Applikators ohne vorherige Erwärmung direkt in den Wurzelkanal injiziert. Es vereint die Komponenten des Silikons mit den bewährten Eigenschaften der Guttapercha, wodurch man sich erhofft, die Fließfähigkeit des Materials zu erhöhen und so auch die im Wurzelkanalsystem befindlichen Ramifikationen obturieren zu können. Auch bei diesem Sealer konnte, ebenso wie bei RSA[®], nur eine geringgradige Zytotoxizität nachgewiesen werden (Bouillaguet et al., 2006; Eldeniz et al., 2007).

Die Verwendung von GuttaFlow[®] in Abhängigkeit von verschiedenen Obturationstechniken untersuchten Brackett et al. (2006). Sie kamen zu dem Schluss, dass GuttaFlow[®], mit der Zentralstifttechnik kombiniert, ein gleichwertiges Resultat liefert wie die Verwendung von AH Plus und Guttapercha bei der warmen vertikalen Kondensation. Auch die alleinige Verwendung von GuttaFlow[®] als Füllungsmaterial lieferte in dieser Studie akzeptable Ergebnisse (Brackett et al., 2006).

Die Wirksamkeit von GuttaFlow[®] in Bezug auf die Verhinderung der bakteriellen Leakage wurde von Monticelli et al. (2007) untersucht. GuttaFlow[®] wurde auch hier zusammen mit der Zentralstifttechnik angewandt. Dabei zeigte sich eine mittlere Wirksamkeit. Es konnte kein dauerhafter Schutz gegen eine bakterielle Leakage festgestellt werden.

Gençoglu et al. (2005) untersuchten die Biokompatibilität und Gewebetoxizität von Guttafill[®] anhand von Tierversuchen. Dazu wurde 60 Laborratten subkutan Guttafill[®], EndoRez oder Kerr Sealer appliziert und nach 24 h, 7 d und 30 d Lunge, Leber, Nieren und die Haut sowie verschiedene Gewebeproben entnommen. Die Untersuchung ergab eine gute Biokompatibilität sowie eine akzeptable Gewebetoxizität (Gençoglu et al., 2005).

Roggendorf et al. (2003) untersuchten das Auftreten von Microleakage bei Guttaflow[®] und RSA[®] in Abhängigkeit von verschiedenen Füllmethoden. Dazu wurden 32 einwurzelige Zähne bis Größe 04./45 aufbereitet und in vier Gruppen zu je acht Zähnen aufgeteilt. Die Gruppen wurden mit 1 ml 40%-iger Zitronensäure, 1 ml 5% iger NaOCl-Lösung und 1 ml 70%-igem Alkohol irrigiert und anschließend mit Guttaperchapoints unterschiedlicher Größe gefüllt. Die vierte Gruppe wurde allein mit Guttaflow[®] obturiert. Der Farbpenetrationstest ergab, dass der Größenwert des Mikroleakage der mit Guttaflow[®] alleine obturierten Proben vergleichbar war mit dem der niedrigviskosen Sealer und zusätzlichem Guttaperchastift gefüllten Proben (Roggendorf et al., 2003).

Sealapex[®] ist ein auf Calciumhydroxid basierender Wurzelkanalsealer. Die Vorteile des Materials sind laut Hersteller die rapide Heilung und Hartgewebsbildung durch den Calciumhydroxid-Anteil, die gute Röntgenopazität und damit verbunden eine gute Kontrolle der Wurzelkanalfüllung und eine verlängerte Anmischzeit, was dem Praktiker ausreichend Zeit zur Füllung des Wurzelkanals ermöglichen soll. Studien zur Dichtigkeit von Sealapex[®] zeigen unterschiedliche Ergebnisse.

Einige Autoren bescheinigen Sealapex[®] gute Abdichtungsfähigkeiten. So untersuchten Schirmeister und Kielbassa (2005, 2006) die apikale und koronale Dichtigkeit verschiedener Sealer, u.a. die Dichtigkeit von Sealapex[®] in Abhängigkeit der drei Füllmethoden laterale Kondensation, Single-cone-Technik und Thermafil[®]-Obturation. Die Dichtigkeit wurde mit Hilfe des Farbstoffpenetrationsntests überprüft. Dabei zeigte Sealapex[®] keine signifikanten Unterschiede bezüglich der Dichtigkeit zwischen den drei Wurzelfülltechniken, sodass davon ausgegangen werden kann, dass Sealapex[®] den Wurzelkanal sowohl im koronalen als auch im apikalen Bereich gut abdichtet.

Cobankara et al. (2006) kommen zu einem ähnlichen Ergebnis. Auch sie untersuchten die apikale Dichtigkeit verschiedener Sealer und maßen die Leakage nach 7, 14 und 21 Tagen. Dort erzielte Sealapex[®] hinsichtlich der Dichtigkeit bessere Ergebnisse als die anderen untersuchten Wurzelfüllpasten.

In anderen Dichtigkeitsuntersuchen konnte Sealapex[®] bezüglich der apikalen Dichtigkeit weniger gute Ergebnisse erzielen (Pommel et al., 2003; Camps und Pashley, 2003).

2.6.2.1 Stifte

Die Stifte, die zur Wurzelkanalfüllung verwendet werden lassen sich in halbfeste und feste Stifte unterscheiden. Es gibt Stifte aus Guttapercha, Metall oder Kunststoff. Die Vorteile der Stifte lie-

gen zum einen in der fehlenden Abbindungsschrumpfung, zum Anderen sind die meisten festen Wurzelfüllmaterialien biologisch inert.

Feste Wurzelkanalfüllstifte

Feste Wurzelkanalfüllstifte werden aus Silber oder Metall angeboten. Der Vorteil dieser Stifte gegenüber Stiften aus Guttapercha, ist in ihrer Steifigkeit zu sehen, was ihnen erlaubt, selbst enge oder gekrümmte Kanäle zu obturieren (Guldener, 1989; Hülsmann, 1995). Der Nachteil liegt darin, dass sie sich nicht kondensieren lassen. So wird häufig eine große Menge an Sealmaterial benötigt um die im Wurzelkanal auftretenden Hohlräume und Unebenheiten auszugleichen. Durch die bei den meisten Wurzelfüllpasten auftretende Abbindungskontraktion kommt es so zu Randundichtigkeiten. Die Verwendung von festen Wurzelkanalfüllstiften führt somit meist zu einer schlechteren Obturation des Wurzelkanals als eine Füllung mit Guttaperchastiften (Heidemann, 1989; Hülsmann, 1995). Problematisch ist auch das Korrosionsverhalten, insbesondere von Silberstiften bei Kontakt mit Gewebsflüssigkeiten. Die freigesetzten Korrosionsprodukte können akute oder chronische Entzündungen im periapikalen Gewebe hervorrufen (Seltzer et al., 1972). Auch die Entfernung des Wurzelfüllstiftes gestaltet sich sehr schwierig, bzw. gelingt z. T. überhaupt nicht (Wesselink, 1995). Ein weiterer Nachteil ist in der erhöhten Radioopazität des Silbers zu sehen. Die Sealmaterialien sind nicht so radioopak wie die Silberstifte, was die genaue Beurteilung der Qualität der Wurzelfüllung erschweren kann (Schäfer, 2002). Biologisch inert sind dagegen Wurzelfüllstifte aus Titan. Dieses Metall korrodiert nicht, hat eine geringere Radioopazität als die der Silberstifte, weist aber ansonsten alle Nachteile dieser auf.

Eine dritte Gruppe von Wurzelfüllstiften sind die mit Guttapercha ummantelten Kunststoffstifte (Thermafil, Dentsply De Trey, Konstanz, Deutschland). Eine Studie von Schäfer (2002) untersuchte die Abdichtungseigenschaften von Thermafil mit gleichzeitiger Verwendung dreier verschiedener Sealer (RSA[®], AH Plus und AH 26), bzw. die Verwendung als alleiniges Füllungsmitel im Vergleich zur Technik der lateralen Kondensation. Getestet wurden diese Techniken sowohl an geraden, als auch an gekrümmten Wurzelkanälen. Wurzelkanäle, die mit dem Thermafil-System obturiert worden waren, zeigten demnach, signifikant mehr Überstopfungen von Füllungsmaterial als die der anderen Gruppen (Chohayeb, 1992; Schäfer, 2002; Dummer et al., 1993). Auch konnte festgestellt werden, dass die alleinige Verwendung von Thermafil zu einer sehr schlechten Abdichtung des Wurzelkanals führte. Daraus resultiert, dass das Thermafil-System nur in Kombination mit einem Sealer verwendet werden sollte (Schäfer, 2002), dann aber eine durchaus zufriedenstellende Alternative zur lateralen Kondensation darstellt (Dummer et al., 1993).

Halbfeste Wurzelfüllstifte

Die halbfesten Wurzelfüllstifte bestehen aus Guttapercha. Guttapercha ist der eingetrocknete Milchsaft des im malaiischen Raum heimischen Guttaperchabaumes (*Palaquium gutta*). Guttapercha steht chemisch dem Kautschuk nahe, ist aber im Gegensatz zu diesem nicht cis-, sondern trans-1,4-verknüpftes Polyisopren. Guttapercha kommt in zwei Phasen vor. Natürlicherweise liegt es in der α -Phase vor. Erhitzt man die Guttapercha auf über 65° C und lässt sie abkühlen, so resultiert die β -Phase (Goodman et al., 1974). Die in der Zahnmedizin verwendeten Guttaperchastifte bestehen, in Abhängigkeit vom Hersteller, zu 19-22% aus Guttapercha als Matrix, zusätzlich Zinkoxid als Füllstoff, Metallsulfate, wie z. B. Bariumsulfat als Röntgenkontrastmittel, Wachse oder Kunststoffe als Weichmacher (Hülsmann, 1993).

Die Biokompatibilität der Guttapercha ist grundsätzlich als gut zu bewerten. Allerdings liegen hier Unterschiede zwischen der in reiner Form vorliegenden Guttapercha und den in der Zahnmedizin verwendeten Guttaperchastiften vor. So ließ sich eine gewisse Zytotoxizität bei länger dauerndem direkten Zellkontakt feststellen (Paschon und Spangberg, 1990). Auch wurde die alleinige Verwendung von Guttapercha als Wurzelfüllmaterial in Dichtigkeitsstudien als schlecht bewertet (Mannocci und Ferrari, 1998). Aus diesem Grund sollen Guttaperchastifte nur in Kombination mit Wurzelfüllpasten verwendet werden.

Eine Weiterentwicklung der herkömmlichen Guttaperchapoints sind die Greater-Taper-Guttaperchastifte, die der Form mit permanent rotierenden Ni-Ti-Instrumenten angepasst sind. Sie weisen eine erhöhte Konizität (Taper) von 4°, 6° und 8° auf und sind so für die Crown-Down-Technik geeignet. Sie sind entsprechend den ISO-Größen farblich kodiert.

2.6.3 Fülltechniken

Die heute in der Zahnmedizin angewendeten Techniken zur Wurzelkanalfüllung verwenden im wesentlichen Guttapercha in Form von Stiften in Kombination mit einer Paste (Sealer). Dabei hat sich die Technik der lateralen Kondensation als die Standardtechnik durchgesetzt.

2.6.3.1 Kalttechniken

Laterale Kondensation

Die laterale Kondensation gehört zu den Standard-Methoden der Wurzelkanalfüllung im europäischen Raum, die sich im Praxisalltag bereits langjährig bewährt hat (Kuttler, 1979). Schroeder (1981) sieht sie als die am besten geeignete Methode zur Obturation des Wurzelkanals an. Ziel dieser Methode ist die Füllung des Wurzelkanals mit einem volumenstabilen Kernmaterial bei Verwendung von nur wenig Sealer (Heidemann, 2001). Einige Untersuchungen zeigen jedoch eine Zunahme von Inhomogenitäten von apikal nach koronal (Unverdorn et al., 1992; Beatty et al., 1989).

Zum Ablauf:

Konisch geformte Guttaperchastifte werden in den Wurzelkanal eingebracht und mit Hilfe eines Metall-Instrumentes (Finger- oder Handspreader) seitlich an die Kanalwand gedrückt. Der erste der Guttaperchastifte ist ein an die ISO-Größe der zuletzt verwendeten Feile angepasster Hauptstift (Masterpoint). Er wird bis zur angestrebten Arbeitslänge vorgeschoben. Der Stift sollte eine gewisse Klemmwirkung (Friktion) aufweisen. Eine Einkerbung in Höhe des Referenzpunktes markiert, wie weit der Masterpoint in den Kanal vorgeschoben werden muss. Der Hauptstift wird aus dem Kanal entfernt, und es folgt die Spülung des Wurzelkanals mit H_2O_2 und NaOCl und anschließende Trocknung mit sterilen Papierspitzen sowie die Desinfektion des Masterpoints mit 3%-iger NaOCl-Lösung. Mit einer K-Feile oder einem Lentulo wird nun eine kleine Menge des Sealers aufgenommen und bis 1 mm vor den Apex in den Kanal einrotiert. Dadurch werden die Kanalwände mit der Paste benetzt.

Der Sealer dient dazu, die zwischen den Stiften und der Kanalwand bzw. den Stiften untereinander entstehenden Hohlräume und Unebenheiten auszugleichen. Der Masterpoint wird ebenfalls mit dem Material beschickt und mit pumpenden Bewegungen in den Wurzelkanal eingebracht. Ein auf 1 mm kürzer als die Arbeitslänge eingestellter Spreader wird in den Kanal eingeführt und presst so den Masterpoint seitlich an die Kanalwand. Der nun gewonnene Raum wird mit einem ebenfalls dünn mit Sealer benetzten kleineren Guttaperchastift (Nebestift) gefüllt.

In dieser Art und Weise wird solange verfahren, bis der Kanal vollständig gefüllt ist. Dies erkennt man daran, dass der Spreader nur noch 3-4 mm in den Kanal eingeführt werden kann. Zwischen der Kondensation der einzelnen Guttaperchastifte muss der Spreader jedesmal gereinigt werden um ein Herausziehen der Stifte aus dem Wurzelkanal zu vermeiden. Abschließend werden die Stifte mit einem erhitzten Handexkavator unterhalb des Kanaleingangs abgetrennt (Guldener

und Langeland, 1993). Häufig erfolgt nach der lateralen Kondensationsmethode noch eine vertikale Kondensation zur Verdichtung der Wurzelfüllung.

Zentralstiftmethode

Prinzipiell kann diese Technik, auch Single-cone-Technik genannt, neben der Verwendung von Guttaperchastiften auch mit Metall- oder Kunststoffstiften angewendet werden. Nach der Aufbereitung wird ein Stift, welcher der ISO-Größe des zuletzt verwendeten Aufbereitungsinstruments entspricht, ausgewählt und auf die volle Arbeitslänge eingestellt. Nach Benetzen der Kanalwand und des Stiftes mit Wurzelfüllpaste wird dieser mit leichten Pumpbewegungen in den Kanal eingeführt. Überschüssiges Sealermaterial kann durch die pumpenden Bewegungen nach koronal entweichen.

Um eine dichte Wurzelkanalfüllung zu erhalten, sollte eine exakte Passform zwischen Wurzelkanal und Stift gegeben sein. Aufgrund des runden Querschnitts der Stifte bedeutet dies, dass der Wurzelkanal kreisrund aufbereitet werden muss. Eine Inkongruenz von Stift und Wurzelkanalquerschnitt führt, bezogen auf die apikale Dichtigkeit der Wurzelfüllung, zu schlechten Ergebnissen (Beatty et al., 1986). Um die Bereiche, in denen der Stift nicht randständig ist auszugleichen, wird häufig eine große Menge an Sealermaterial benötigt, was zu einem ungünstigen Volumenverhältnis von Guttapercha und Sealer führt. Dieses sollte im Idealfall 90% zugunsten der Guttapercha betragen (Beer, 1993). Aufgrund der angegebenen Nachteile ist der Indikationsbereich für diese Technik nur bei geraden Wurzelkanälen anzusiedeln.

2.6.3.2 Warmtechniken

Warmtechniken machen sich die Eigenschaft der Erwärmung und Plastifizierung der Guttapercha zunutze. Verschiedenste Techniken und Geräte wurden zur thermoplastischen Füllung mit Guttapercha entwickelt.

Vertikale Kondensation

Die 1967 von Schilder entwickelte Methode der vertikalen Kondensation wird meist in Kombination mit der lateralen Kondensation oder der Zentralstiftmethode durchgeführt. Sie erlaubt eine „dreidimensionale“ Obturation des Wurzelkanals (Schilder, 1974). Nach dem Abtrennen des Masterpoints bei der Zentralstiftmethode bzw. dem Abtrennen aller Stifte bei der lateralen Kondensation wird mit einem Plugger das koronale Drittel kondensiert.

Als alleinige Methode angewendet, wird erwärmte Guttapercha zusammen mit der Wurzelfüllpaste mittels eines Planstopfers ("Plugger") nach apikal kondensiert. Auf diese Weise entsteht ein hydraulischer Druck, der das Sealmaterial und die Guttapercha in das Kanalsystem und die Seitenkanäle presst. Die Guttapercha wird mit sogenannten „Heat Carriern“ erhitzt und in den mit einem Masterpoint gefüllten Wurzelkanal eingeführt. Die so plastifizierte Guttapercha wird nun mit dem Plugger nach apikal verdichtet. Der Prozess aus Erhitzen und Kondensieren („Downback“) wird so lange wiederholt, bis 3-5 mm im apikalen Bereich des Wurzelkanals eingebracht sind. Anschließend folgt die Füllung des koronalen Kanalabschnitts durch Plastifizierung und Verdichtung kleiner Guttaperchastücke („backfill“). Durch die schrittweise durchgeführte Einbringung des Wurzelfüllmaterials erreicht man einen homogen gefüllten Wurzelkanal. Zur Vereinfachung der vertikalen Kondensationstechnik entwickelte die Firma Sybron-Endo/Analytic das Gerät „Touch'n'Heat“. Eine Weiterentwicklung stellt das „System B“ (SybronEndo/Analytic, Orange, USA) dar. Beide Geräte ermöglichen eine sofortige Erwärmung und Kompaktion der Guttapercha, was zu einer schnelleren Wurzelfüllung führen soll (Stoll und Stachniss, 2006)

Warme laterale Kondensationstechnik

Diese Technik wird analog zur kalten lateralen Kondensation durchgeführt. Ein durch mildes Erhitzen erwärmter Spreader wird in den Kanal eingeführt. Der im Kanal befindliche Guttaperchastift soll so nicht nur kalt verformt, sondern durch die Erwärmung an das Kanallumen adaptiert werden. Mit dem Endotec[®]-System wird dieses Verfahren variiert, indem der Spreader durch ein batteriebetriebenes Handstück erwärmt wird.

Warme Einstiftmethode (Thermafil-System[®])

Die von Johnson 1978 entwickelte Methode beruht darauf, den Wurzelkanal mit einem von Guttapercha ummantelten endodontischen Stift (Träger) in einem Arbeitsschritt homogen zu füllen. Die Idee dabei war, möglichst wenig Guttapercha zu verwenden, um die beim Abbindevorgang entstehende Schrumpfung möglichst gering zu halten (Johnson, 1978). Das verwendete Trägermaterial kann aus Metall oder Kunststoff sein. Nach der Aufbereitung wird mittels eines speziellen Ofens der Stift erwärmt und vorsichtig in den Wurzelkanal eingebracht. In der Literatur findet man bezüglich dieser Technik kontroverse Studien. So werden ihr in Studien von Gilbert et al. (2001) und Gençoğlu et al. (1993) gute Adichtungsfähigkeiten im Vergleich zu anderen Wurzelfülltechniken zugeschrieben; in anderen (De Moor, 2002; Baumgardner, 1995) schneiden die mit Thermafil[®] obturierten Wurzelkanäle bezüglich ihrer Dichtigkeit schlechter ab.

Thermomechanische Kondensationsmethode

Die thermomechanische Kondensation wurde von McSpadden erstmals beschrieben (McSpadden, 1980). Dabei wird ein im Wurzelkanal befindlicher Guttaperchastift mit einem Compactor (einer Hedström-Feile mit umgekehrt ausgerichteter, zur Instrumentenspitze hin orientierter Schneidekante) unter hoher Umdrehungszahl (10000 U/min) kondensiert. Durch Reibung wird die Guttapercha erwärmt, plastifiziert und nach apikal kondensiert. Zu dieser Methode sind zahlreiche Nachteile beschrieben. Zum einen konnte, im Vergleich zu anderen Wurzelfülltechniken, keine dichte Obturation des Wurzelkanals erzielt werden (Kerekes und Rowe, 1982; ElDeeb et al., 1985). Zum anderen ist ein Überstopfen der Wurzelfüllung schnell möglich und es kann durch mangelnde Temperaturkontrolle zum Überhitzen und damit zur Schädigung des radikulären Stützgewebes kommen. Ein weiterer Nachteil besteht in der Frakturgefahr des Compactors (Koçkapan, 2003).

Thermoplastische Injektionstechnik

Bei dieser Technik wird erweichte Guttapercha mittels einer Kanüle in den Wurzelkanal injiziert. Bei der Erwärmung der Guttapercha kann man zwischen der niedertemperierten und der hochtemperierten Erwärmung unterscheiden. Der niedertemperierten Erweichung bedient sich das 1984 entwickelte Ultrafil[®]-System. Hierbei werden mit Guttapercha gefüllte Ampullen in ein Wärmegerät gegeben und für 15 min auf 70° C erwärmt. Das so erweichte Material wird mit Hilfe einer Spritze in den Wurzelkanal eingebracht, bis dieser vollständig ausgefüllt ist (Michanowicz und Czonstkowsky, 1984).

Bei der hochtemperierten Erweichung der Guttapercha mittels des Obtura[®]-Gerätes wird die Guttapercha durch Erhitzen auf bis zu einer Temperatur von 200° C verflüssigt. Mit einem speziellen Pistolensystem wird das flüssige Material in den Wurzelkanal injiziert.

Studien haben gezeigt, dass die Handhabung der Injektionskanüle und die Einbringung in die Mundhöhle und die zu füllenden Wurzelkanäle problematisch sein kann. Weiterhin ist ein hohes Maß an Überstopfungen beobachtet worden. Czonstkowsky et al. (1984) zeigten, dass die Injektionstechnik im Vergleich zur lateralen Kondensation keine signifikant besseren Ergebnisse bezogen auf die apikale Dichtigkeit erzielt.

2.6.3.3 Vakuumtechnik

Eine neuartige Methode zur Wurzelkanalfüllung stellt die von Lussi entwickelte Methode der Vakuumtechnik dar. Es soll durch diese Methode möglich sein, die Wurzelkanäle vollautomatisch und ohne Zuhilfenahme von Instrumenten zu reinigen und zu obturieren. Bei der Reinigung werden durch Druckschwankungen im abgedichteten Wurzelkanal hydrodynamische Turbulenzen erzeugt, die zu schneller Bläschenbildung und -auflösung in der Spülflüssigkeit führen. Damit kann ein intensiver Austausch zwischen Reinigungsflüssigkeit und Wurzelkanalsystem stattfinden (Lussi, 2000). Durch das Anlegen eines Unterdrucks von 15 mbar oder weniger wird der Wurzelkanal obturiert. Dies ist in in vitro und in vivo erfolgreich durchgeführt worden (Lussi et al., 1997). Ein Vorteil gegenüber der herkömmlichen Füllung der Wurzelkanäle soll die Zeitersparnis sein (Lussi et al., 1993). Eine über vier Jahre durchgeführte In-vitro-Langzeitstudie zu dieser Methode zeigt eine signifikant kleinere Leakage bei den mit der Vakuumtechnik gefüllten Zähnen als bei den mittels lateraler Kondensation gefüllten Zähnen (Portmann et al., 2005).

2.7 Ziel der Arbeit

Diese Arbeit analysiert in einer In-Vitro-Studie einen Wurzelkanalsealer auf Silikon-Basis (Roe-koSeal[®]Automix) als Füllmaterial in Verbindung mit einem einzelnen Guttaperchastift bzw. mit mehreren lateral kondensierten Guttaperchastiften. Dem gegenüber gestellt wird ein bereits klinisch erprobter Wurzelkanalsealer auf Calciumhydroxid-Basis (Sealapex[®]) als Referenzmaterial. Beurteilt wird die Qualität des Wurzelkanalsealers anhand der Kriterien Dichtigkeit, Röntgenopazität und Verbund zur Kanaloberfläche in Abhängigkeit von verschiedenen Fülltechniken (Zentralstiftmethode, laterale Kondensation) und Aufbereitungsarten (Handaufbereitung, maschinelle Aufbereitung).

3 MATERIALIEN UND METHODEN

3.1 Materialien

3.1.1 Art und Auswahl der extrahierten Zähne

Die zu untersuchenden Proben bestanden aus 80 einwurzeligen menschlichen Zähnen, die nicht endodontisch vorbehandelt waren. Die Zähne waren aufgrund fortgeschrittener Parodontitis, Karies oder aus kieferorthopädischen Gründen entfernt worden. Die Zähne wurden in acht Untergruppen zu jeweils zehn Zähnen aufgeteilt. Jede Untergruppe bestand aus einem oberen mittleren und einem oberen seitlichen Schneidezahn, zwei oberen und zwei unteren Prämolaren sowie vier unteren Schneidezähnen. Weiter wurden die acht Gruppen nach der Art der Wurzelkanalaufbereitung, maschinell und manuell, in zwei Hauptgruppen unterteilt. Innerhalb dieser Hauptgruppen fand eine weitere Klassifizierung nach der Art der Wurzelkanalfüllung statt. Diese sah wie folgt aus:

- a) Füllung mit Referenz-Sealer und zentralem Guttaperchastift
- b) Füllung mit Referenz-Sealer und Methode der lateralen Kondensation
- c) Füllung mit zu untersuchendem Sealer und zentralem Guttaperchastift
- d) Füllung mit zu untersuchendem Sealer und lateraler Kondensation

Gruppenzuordnung	Zentralstift- Technik Sealapex®	Laterale Kon- densation Sealapex®	Zentralstift- Technik RSA®	Laterale Kon- densation RSA®
Manuelle Wurzelkanalauf- bereitung	Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4
Maschinelle Wurzelkanalauf- bereitung	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8

3.2 Methoden

3.2.1 Vorbereitende Maßnahmen

Die Zähne wurden zunächst mit einem ultraschallbetriebenen ZEG von Weichgewebe befreit. Eventuell bestehende Karies oder prothetische Restaurationen wurden belassen. Anschließend wurden die Zähne in einer 0,9%-igen Natriumchloridlösung mit 0,01%-igem Natriumazid-Zusatz gelagert.

Der Zugang zum Wurzelkanal erfolgte über eine ausreichend große Trepanationsöffnung. Dazu wurde zunächst mit einem FG-Kugeldiamanten durch den Schmelz präpariert. Die weitere Präparation durch Dentin bis zur Pulpa erfolgte mit einem Rosenbohrer. Die Pulpa wurde dann mittels Exstirpationsnadeln entfernt. Zur Erweiterung der Kanalöffnung und des koronalen Wurzelkanalbereichs wurden Gates-Bohrer der Größe vier und sechs eingesetzt. Die Arbeitslänge wurde mit Hilfe einer in den Wurzelkanal vorgeschobenen Kerr-Feile der Größe 15 bestimmt. Dabei wurde die Feile bis zum optisch sichtbaren Apex vorgeschoben. Ein an der Feile angebrachter Gummi-Stop markierte den koronalen Referenzpunkt. Von dieser mit einer Messlehre ermittelten Anfangslänge wurde ein Millimeter abgezogen. Auf diese Weise wurde die Arbeitslänge bestimmt. Abschließend wurden die Wurzelkanäle mit jeweils 2 ml 3%-iger NaCl-Lösung und 2%-iger H₂O₂-Lösung gespült und mit sterilen Papierspitzen getrocknet.

3.2.2 Manuelle Wurzelkanalaufbereitung

Die Wurzelkanalaufbereitung der Gruppen 1-4 erfolgte manuell. Dazu wurde nach Bestimmung der Arbeitslänge eine Kerr-Feile der Größe 15 in den Wurzelkanal eingeführt und eine leichte Rechtsdrehung ausgeführt. Beim Zurückziehen des Instrumentes wurde dann eine oberflächliche Schicht der Kanalinnenwand abgetragen. Sobald das Instrument ohne Widerstand im Kanal bewegt werden konnte wurde auf die nächstgrößere Feile gewechselt. Es wurde weiter so verfahren bis der apikale Bereich mindestens bis zur Feilengröße 35 oder größer erweitert wurde. Nach Aufbereitung mit der letzten Feile (Masterfeile) auf die Arbeitslänge wurde der Kanal mit jeweils 2 ml H₂O₂ und NaOCl im Wechsel gespült. Danach erfolgte die weitere Aufbereitung der koronalen und mittleren Wurzelkanalbereiche nach der Step-back-Methode. Das nächstgrößere Instrument wurde jeweils 1 mm kürzer als die Arbeitslänge gehalten. Dieser Arbeitsschritt wurde solange durchgeführt bis der ganze Kanal im mittleren und koronalen Abschnitt gereinigt war.

Nach jedem Instrumentenwechsel wurde mit der Masterfeile überprüft ob die Arbeitslänge noch rekapitulierbar war. Es erfolgte abermals eine Wechselspülung mit 2 ml H₂O₂ und NaOCl und Trocknung mit sterilen Papierspitzen in Größe der Masterfeile. Der Kanaleingang wurde mit einem Watterpellet verschlossen und die Kavität mit einer provisorischen Füllung aus Cavit[®] (3M/Espe, Neuss, Deutschland) bedeckt. Bis zur Wurzelfüllung wurden die Zähne wieder in der Aufbewahrungslösung gelagert.

3.2.3 Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung

Die Aufbereitung der Gruppen 5-8 erfolgte maschinell mit dem Flexmaster[®]-System. Hierbei kommen Feilen aus einem Nickel-Titan (NiTi)-Material zum Einsatz. Die Feilen weisen eine unterschiedliche Konizität von 6%, 4% und 2% auf. Dabei werden für weite Kanäle Feilen mit einer Konizität von 6%, für mittlere 4% und für enge Kanäle 2% verwendet. Die Konizität der einzelnen Feilen ist am Schaft farblich markiert. So sind Feilen mit einer Konizität von 2% gelb, Feilen mit 4% Konizität rot und Feilen mit einer Konizität von 6% blau markiert. Des Weiteren dienen Ringkerbungen am Schaft der Identifizierung der Konizität. Ein Ring weist auf Taper .02 hin, analog zwei Ringe auf Taper .04 und drei Ringe auf Taper .06. Die am Arbeitsteil eingebrachte Tiefenmarkierungen sollen der Feststellung der Position des Instrumentes bei der Röntgenaufnahme dienen. Von der Feilenspitze ausgehend befinden sich die Markierungen bei 18 mm, 19 mm, 20 mm und 22 mm. Durch den konvexen Querschnitt der Feilen sollen Stabilität, Schneidleistung und Torsionswiderstand erhöht werden. Die Spitze der Feilen ist nicht-schneidend. Dies soll eine sichere Führung der Feile im Kanal gewährleisten.

Die Aufbereitung der Kanäle erfolgte hier nach der Crown-Down-Methode. Dabei dringt man von koronal ohne Druckanwendung mit abnehmender Instrumentengröße nach apikal vor. Nach Erreichen der Arbeitslänge wird der apikale Bereich mit zunehmender Instrumentengröße erweitert. Die Arbeitsschritte sehen im Einzelnen wie folgt aus (beispielhaft für einen weiten Wurzelkanal):

Zunächst beginnt man mit der koronalen Erweiterung des Kanaleingangs. Dazu verwendet man die Flexmaster[®]-Feile der Größe .06/30. Zur weiteren Aufbereitung der etwas weiter apikal liegenden Kanalabschnitte verwendet man im nächsten Schritt eine Feile der Größe .06/25. Tiefere Abschnitte werden dann mit der Größe .06/20 aufbereitet. Anschließend zur apikalen Aufbereitung verwendet man die Größe .04/30. Die Arbeitslänge wird dann auf alle Feilen mit einer

Konizität von 2% übertragen und die apikale Aufbereitung beginnt mit der Feile .02/20. Im nächsten Schritt wird die Größe .02/25, je nach gegebener Kanal Anatomie auch die Größen .02/30 oder .02/35, verwendet. Abschließend erfolgt die erneute konische Ausformung des Wurzelkanals auf die volle Arbeitslänge mit der Feile .04/30.

Die Feilen wurden mit einem rotierenden, niedrigtourigen Winkelstück benutzt. Dabei kam ein drehmomentbegrenzter Motor zur Anwendung. Die Drehzahl wurde konstant zwischen 150 und 300 Umdrehungen/Minute gehalten. Das Instrument wurde mit wenigen Pumpbewegungen und leichtem Druck in den Kanal auf- und abwärts geführt. Zur Steigerung der Effizienz wurde File-Eze® (Ultradent) als Gleitmittel verwendet. Nach fünfmaligem Gebrauch wurden die Feilen ausgetauscht.

3.3 Wurzelkanalfüllung

3.3.1 Materialbeschreibung Sealapex®

Sealapex® ist ein eugenolfreier Wurzelkanalversiegeler auf Calciumhydroxidbasis und wird in Verbindung mit Guttaperchaspitzen oder Silberstiften verwendet. Er besteht aus einer Basispaste und einer Katalysatorpaste. Hauptbestandteile der Basispaste sind Calciumoxid und Zinkoxid. Daneben finden sich noch Sulfonamide und Kolophonium. Die Katalysatorpaste enthält Salicylat, Wismuth-Trioxid und Pigment. Diese Zusammensetzung besteht erst seit neuerer Zeit.

Laut Hersteller fördert das Material die Hartschubstanzbildung am Apex und regt die Bildung harten Gewebes in den Gebieten einer Wurzelperforation an.

Basis- und Katalysatorpaste werden zu gleichen Mengen auf einem Mischblock ca. 15-20 Sekunden vermischt. Die Mindestverarbeitungszeit auf dem Mischblock beträgt bei 21 °-25 °C Raumtemperatur 2 Stunden. Die Abbindung erfolgt erst im Wurzelkanal. Bei den im Wurzelkanal herrschenden höheren Temperaturen und die dem Wurzelkanal anhaftende Feuchtigkeit ist das Material nach etwa 60 Minuten vollständig abgebunden.

3.3.2 Materialbeschreibung RSA®

RSA®(RoekoSeal®Automix) ist ein Wurzelkanalfüllungsmaterial auf Polydimethylsiloxan-Basis. Die Matrix setzt sich aus dem Grundstoff Polydimethylsiloxan sowie Silikon- und Paraffinöl zur Verbesserung der Fließfähigkeit, Zirkondioxid als Röntgenkontrastmittel und Hexachloroplatin-säure als Katalysator zusammen. RSA® besteht aus zwei Komponenten, die in einer Mischspitze des Applikators automatisch 1:1 gemischt werden. Laut Hersteller hat RSA® eine hohe Fließfähigkeit und dringt auch in laterale Kanäle sowie Dentinkanälchen ein. Es schrumpft nicht sondern weist eine leichte Expansion von 0,2% auf. Die Verarbeitungszeit beträgt 30 Minuten, nach 45-50 Minuten ist das Material ausgehärtet. Die Anwendung beginnt mit leichtem Druck auf den Kolben der Mischspitze. Der Sealer kommt blasenfrei im Verhältnis 1:1 aus der Mischspitze und kann auf eine Glasplatte oder einen Anmischblock aufgebracht werden. Nach einmaligem Gebrauch ist die Mischspitze zu verwerfen. Das Material bindet unabhängig von Feuchtigkeit oder Temperatur immer vollständig ab.

3.3.3 Wurzelkanalfüllung mit der Ein-Stift-Technik

Nach Entfernung der provisorischen Füllung und des den Kanaleingang verschließenden Wattletpellets wurde der Wurzelkanal zunächst mit den schon beschriebenen Spüllösungen gespült um eventuelle Reste des provisorischen Füllmaterials zu entfernen. Danach wurde nochmals das Erreichen der Arbeitslänge mit der Masterfeile überprüft. Ein genormter Guttaperchastift (Roeko, Langenau, Deutschland) welcher der ISO-Größe der Masterfeile (Masterpoint) entsprach wurde bis zur Arbeitslänge in das Kanallumen vorgeschoben. Zur Orientierung wurde vorweg der koronale Referenzpunkt am Guttaperchastift durch eine Einkerbung mit einer Pinzette markiert. Der Stift sollte eine leichte Klemmwirkung aufweisen. Wenn diese fehlte, so wurde ein nächstgrößerer Stift verwendet. Anschließend wurde der Stift in 3%-iger NaOCl-Lösung desinfiziert und getrocknet. Nun wurde ein mit Sealer bestückter Lentulo in den Kanal eingeführt und unter niedrigtouriger Rotation die Kanalinnenwände benetzt.

Bei einem Lentulo handelt es sich um eine linksdrehende Spirale, die unter Verwendung des Winkelstücks Pasten oder Zemente in den Wurzelkanal einbringt. Sie werden in verschiedenen ISO-Größen (meist 25-60) und verschiedenen Längen angeboten. Nach Desinfektion und Trocknung des Masterpoints wurde nun der Stift ebenfalls mit Sealer beschickt und dann bis zur apikalen Konstriktion mit leicht pumpenden Bewegungen zur Vermeidung von Lufteinschlüssen

vorgeschoben. Der Sitz des Stiftes wurde abermals überprüft und der koronal überstehende Anteil mit einem heißen Exkavator abgetrennt. Abschließend erfolgte eine vertikale Kondensation mit Hilfe eines Kugelstopfers.

Die Wurzelfüllung bei den maschinell aufbereiteten Proben erfolgte mit Greater Taper Guttaperchaspitzen der Firma Roeko. Diese werden analog zu den Ni-Ti-Feilen des Flexmaster®-Systems in verschiedenen Konizitäten, 2%, 4% und 6%, angeboten. Am Anfang der Spitzen entspricht der Durchmesser den ISO-Größen, später erfolgt dann ein konischer Verlauf entsprechend der Feilen.

3.3.4 Wurzelkanalfüllung mittels lateraler Kondensation

Die Vorbereitung und Auswahl des Masterpoints sowie das Einbringen des Sealers erfolgte wie bei der Ein-Stift-Technik bereits beschrieben. Neben dem fest sitzenden Masterpoint wurde nun ein Fingerspreader neben dem Masterpoint in den Kanal eingeführt. Um ein Überpressen von Material zu vermeiden wurde die Länge des Spreaders 3-4 mm kürzer als die Arbeitslänge gewählt. Mit dem Spreader wurde der Masterpoint kräftig gegen die Kanalwand gedrückt. Danach wurde der Spreader aus dem Kanal heraus gezogen und der entstandene Raum mit einem mit Sealer beschickten Nebestift der Größe „fine“ oder „x-fine“ gefüllt. Dieser Vorgang wurde mehrmals wiederholt bis sich der Spreader nur noch weniger als bis zur Hälfte in den Kanal einführen ließ. Die Guttaperchastifte wurden mit einem heißen Exkavator in Höhe des Kanaleingangs abgetrennt und mit einem Kugelstopfer vertikal kondensiert.

3.4 Röntgendokumentation

Die Röntgenbilder der zu untersuchenden Proben wurden in orthoradialer, also vestibulo-oraler Richtung und in mesial-distal exzentrischer Richtung angefertigt. Zur genauen Positionierung der Zähne wurden diese mit Blauwachs an einem Zahnfilm-Doppelfilm befestigt. Dabei wurde zur orthoradialen Projektion der Wachs an der oralen Fläche des Zahnes, zur exzentrischen Projektion an der distalen Fläche angebracht. Die Röntgenröhre wurde dann orthograd, im Sinne der Paralleltechnik auf den Zahn ausgerichtet. Die Belichtung erfolgte für 0,12 sec. bei einer Röhrenspannung von 60 kV.

3.5 Histologische Aufbereitung der Proben

Zur histologischen Untersuchung der Zähne wurden Dünnschliffe nach der Trenn-/Dünnschlifftechnik (Koort und Frentzen 1993) hergestellt. Dazu wurden die Proben zunächst für drei Tage in einer 4%-igen gepufferten Formaldehydlösung fixiert. Anschließend wurden sie für eine halbe Stunde gewässert und für 15 Tage in einer aufsteigenden Alkoholreihe dehydriert. Die Proben wurden dazu für jeweils drei Tage zuerst in 70%-igem, dann in 90%-igem, 96%-igem und abschließend 2 mal drei Tage in 100%-igem Alkohol gelagert. Vor dem Einbetten der Zähne erfolgte zunächst eine Vorbehandlung unter Vakuum und Lichtausschluß in Technovit 1, ein Gemisch aus Technovit® 7200 VLC (Fa. Kulzer) und 2-Hydroxyethyl-methacrylat (Fa. Merck). Nachdem die Proben für 7 Tage in dem PMMA-Gemisch lagen folgte eine zweite Lagerung unter gleichen Bedingungen in reinem Technovit 7200® VCL.

Der endgültige Einbettvorgang wurde in einem Polymerisationsgerät abgeschlossen. Dazu wurden der Kunststoff 4 Stunden bei gelbem Licht und anschließend 4 Stunden bei blauem Licht ausgehärtet. Nach der Endpolymerisation wurden die Proben 3 Tage unter einem Abzug stehen gelassen.

Die eingebetteten Zähne wurden getrimmt und mit Technovit 4000®, einem 3-Komponenten-Kleber, auf einen Objektträger aufgebracht. Mit dem Exakt® Trenn-/Schleifsystem wurden Dünnschliffe bei 2, 4 und 6 mm hergestellt. Die nach dem Sägen etwa 100 µm dicken Schnitte wurden mit Hilfe von Nassschleifpapier (Körnung 1200) auf 70 µm runtergeschliffen und dann für 10 min mit einer 4000er Körnung poliert, so dass die endgültigen Präparate eine Endschliffdicke zwischen 20 und 30 µm aufwiesen. Insgesamt wurden auf diese Weise von 80 Zähnen 240 Dünnschliffe angefertigt.

Die Färbung der Präparate erfolgte nach der Methode von Donath (Donath und Breuner 1982). Um die Aufnahmefähigkeit des Kunststoffes für die Farbe zu erhöhen wurden die Präparate zunächst 5 min. in 15%-igem H₂O₂ gewässert und anschließend 20 min in Toluidinblau gefärbt.

3.6 Auswertung

Um eine Auswertung der Röntgenbilder vorzunehmen wurden diese in einem Scanner eingescannt und am Computer auf DIN A4-Format vergrößert. Es sollten Aussagen bezüglich der tatsächlich erreichten Länge der Wurzelkanalfüllung und der Homogenität getroffen werden. Es

bedurfte zunächst der Kalibrierung des Maßstabes. Die in sieben beliebigen Ausdrucken gemessenen Zahn­längen wurden mit den tatsächlichen Zahn­längen verglichen. Dabei ergab sich ein Umrechnungsfaktor von $8,19 \pm 0,2$. Anhand eines Beispiels soll die Bedeutung dieser Kalibrierung erläutert werden: Die mit einem Millimeterlineal gemessene Distanz zwischen apikalem Punkt der Wurzelfüllung und dem röntgenologischen Apex des Zahnes mit der Bezeichnung 1.0 beträgt auf dem vergrößerten Ausdruck 10 mm. Dividiert man diesen Wert durch den Faktor 8,19, so erhält man für die tatsächliche Distanz einen Wert von 1,22 mm. Unter- und Überextensionen wurden durch ein negatives, bzw. positives Vorzeichen gekennzeichnet.

Basierend auf der Definition von Homogenität der Wurzelfüllung als weitgehend gleichmäßige Auskleidung des Wurzelkanallumens in Bezug auf Dichtigkeit und Kontrastunregelmäßigkeiten wurde eine weitere Auswertung der Röntgenbilder vorgenommen. Hierzu wurde mit Hilfe eines durchsichtigen Millimeterpapiers das Homogenitätsverhältnis, also die Anteile homogen gefüllter Flächen zur Gesamtfläche der Wurzelfüllung ermittelt.

Des weiteren wurde für die Auswertungskriterien der Distanz der Wurzelfüllung zum Apex und des Homogenitätsverhältnis der Durchschnittswert jeder Gruppe inklusive der Standardabweichung bestimmt. Für den Parameter Distanz der Wurzelfüllung zum Apex wurde der Mittelwert für die Gruppen 1-4 (manuelle Aufbereitung) und 5-8 (maschinelle Aufbereitung) bestimmt.

Weiterhin wurden eventuell vorhandene Inhomogenitäten im koronalen, mittleren und apikalen Kanalabschnitten untersucht. Die Bewertung erfolgte im Sinne einer „Ja/Nein“- Entscheidung. Vorhandene Inhomogenitäten wurden durch die Ziffer „1“, fehlte Inhomogenitäten durch die Ziffer „0“ gekennzeichnet. Die prozentuale Häufigkeit wurde durch Summation der positiven Werte und darauffolgender Division der Gesamtzahl der Proben errechnet.

Die histologische Auswertung der Proben erfolgte mit Hilfe eines Dialux 20 EB - Lichtmikroskopes (Fa. Leitz). Die Dünnschliffe wurden zunächst bei 16-facher Vergrößerung unter dem Forschungsmikroskop betrachtet, dann mit dem Fotoaufsatz MPS 51 (Fa. Wild) auf Dia-Film fotografiert, entwickelt und ausgewertet. Anschließend wurden die Zahnschliffe bei 100-facher Vergrößerung mikroskopiert.

Als Bewertungskriterien dienen:

1. Aufbereitung des Kanalabschnittes
2. Detritus im Kanal
3. Füllungsmaterial im Kanallumen
4. Homogenität bzw. Inhomogenität der Wurzelfüllung
 - a) homogen
 - b) homogen mit kleinen Blasen
 - c) inhomogen

Zur Erklärung:

Einen aufbereiteten Wurzelkanal erkennt man an einer scharfen Linie die den Wurzelkanal umgibt. Vorhandener Detritus stellt sich als irregulär geformte Fragmente im Wurzelkanal dar. Die Wurzelfüllung erkennt man an mehr oder weniger homogen gefüllten Arealen im Wurzelkanallumen.

Die Bewertung erfolgte hier auch durch Kennzeichnung eines positiven Wertes mit der Ziffer „1“ bzw. mit „0“ bei einem negativen Wert. Es wurde die prozentuale Häufigkeit eines jeden Untersuchungskriteriums pro untersuchter Gruppe bestimmt. Diese Werte wurden addiert und anschließend durch die Gesamtzahl der aufbereiteten und gefüllten Wurzelkanäle dividiert.

Zunächst wurde die Verteilungshäufigkeit bezogen auf die Versuchsgruppe und die jeweilige Schnittebene ermittelt. Anschließend wurden für die Untersuchungsparameter Aufbereitung des Kanalabschnittes und Detritus im Kanal die Mittelwerte der beiden Hauptgruppen gebildet und miteinander verglichen. Bei den Wurzelkanälen, bei denen eine Wurzelfüllung beobachtet werden konnte, wurde dann als Zusatzkriterium die Qualität der Wurzelkanalfüllung beurteilt.

3.7 Datenerfassung

Die durch die histologische und röntgenologische Analyse gewonnenen Resultate wurden in Excel-Tabellen erfasst, statistisch ausgewertet und grafisch dargestellt. Die deskriptive Darstellung erfolgte dabei entweder über Säulen- oder Boxplot-Diagramme. Erfasst wurden die Mittelwerte (Darstellung über Säulendiagramm) oder Median, unteres Quartil, oberes Quartil, Minimum und Maximum (Darstellung über Boxplot-Diagramm).

Letzteres fasst verschiedene Maße der zentralen Tendenz, Streuung und Schiefe in einem Diagramm zusammen. Die Quartile bilden dabei ein Rechteck, welches als Box bezeichnet wird. In ihr befinden sich 50% der Daten. Die Differenz zwischen oberem und unterem Quartil bestimmt die Länge der Box und ist als Maß der Streuung anzusehen. Der Median ist in der Box eingezeichnet und vermittelt durch seine Lage einen Eindruck von der Schiefe der den Daten zugrunde liegenden Verteilung. Die senkrechten Linien im Diagramm werden als Whisker bezeichnet. Die Differenz zwischen dem Maximum und dem oberen Quartil bzw. dem Minimum und dem unteren Quartil wird durch die Länge des Whiskers wiedergegeben.

Die Daten für die Untersuchungskriterien „ Homogenitätsverhältnis“ und „Distanz der Wurzelfüllung zum röntgenologischen Apex“ wurden weiterhin mit dem Analyseprogramm SPSS 12.0 für Windows (SPSS Inc., Chicago, USA) statistisch ausgewertet. Ein Vergleich der verschiedenen Gruppen wurde mit einfaktorieller Varianzanalyse (ANOVA) durchgeführt. Für den direkten Vergleich der Werte erfolgte zusätzlich eine post-hoc Analyse (Scheffé). Als Irrtumswahrscheinlichkeit wurde der Wert $\alpha=0,05$ gewählt.

4 Ergebnisse

4.1 Klinische Ergebnisse

4.1.1 Wurzelkanalaufbereitung

Sowohl die Handaufbereitung mit K-Feilen, als auch die maschinelle Aufbereitung mit dem FlexMaster®-System verlief problemlos. Lediglich bei 12 Zähnen kam es bei der manuellen Aufbereitung zu einer Überinstrumentierung. Dies konnte besonders bei oberen Frontzähnen mit einem weiten Wurzelkanallumen unter Verwendung einer initialen Feile mit geringer ISO-Größe (ISO 15) beobachtet werden. Ferner konnte festgestellt werden, dass der zeitliche Aufwand zur vollständigen Aufbereitung der Wurzelkanäle inklusive Aufbereitung, Spülung und Trocknung bei den manuell aufbereiteten Gruppen größer war als bei den maschinell aufbereiteten Gruppen.

4.1.2 Wurzelkanalfüllung

Hinsichtlich der Füllmethode erwiesen sich sowohl die Ein-Stift-Methode als auch die laterale Kondensation als einfach anzuwendende Fülltechniken. Die Methode der laterale Kondensation beanspruchte dabei allerdings mehr Zeit als die Ein-Stift-Methode. Des Weiteren kam es bei einigen Zähnen durch den durch die vertikale Kondensation ausgeübten Druck zu einem Überpressen von Sealmaterial über die apikale Konstriktion hinaus.

Die Handhabung der beiden Sealmaterialien war einfach. Die Doppelkammerspritze des RSA® ermöglichte ein gleichmäßiges Anmischen des Materials in einem vorgegebenen Mischungsverhältnis. Das Material konnte gut mit einem Guttaperchastift oder einem Lentulo aufgenommen und in den Wurzelkanal eingebracht werden. Die Verarbeitungszeit lag mit durchschnittlich 20 Minuten allerdings unter der vom Hersteller angegebenen Verarbeitungszeit von 30 Minuten.

Das gleichmäßige Anmischen der beiden Komponenten (Basis- und Katalysatorpaste) von Sealapex® stellte sich ebenfalls als problemlos heraus. Das Material hatte gegenüber RSA® eine längere Verarbeitungszeit. Bei der Verwendung der Methode der lateralen Kondensation kam es allerdings durch eine höhere Klebrigkeit des Sealer-Materials bei 5 Zähnen zu einem Herausziehen der Nebenstifte bei der Kondensation mit dem Spreader.

4.2 Röntgenologische Ergebnisse

Bezogen auf das Untersuchungskriterium „Homogenitätsverhältnis,“ zeigen die Gruppen 2 (Handaufbereitung, laterale Kondensation, Silikon-Sealer) und 7 (maschinelle Aufbereitung, Ein-Stift-Methode, Referenz-Sealer) das im Mittel höchste Maß an Homogenität. Der im Mittel geringste Wert war für Gruppe 3 (Handaufbereitung, Ein-Stift-Methode, Silikon-Sealer) zu verzeichnen. Der Medianwert für die Gruppe 7 lag bei 99,63%, der für Gruppe 2 bei 98,23%. Gruppe 3 konnte lediglich einen Medianwert von 88,19% erreichen (Abb. 1). Die statistische Auswertung ergab dabei für die Gruppen 2 und 7 ein signifikant besseres Ergebnis (Signifikanz $p < 0,05$) als für die Gruppe 3 (siehe Tabellenanhang Kapitel 7.3.1, Tabellen 13 und 14). Das Homogenitätsverhältnis aller anderen Gruppen bewegte sich im Mittel zwischen 95,87 % (Gruppe 6) und 91,59 % (Gruppe 8). Es waren allerdings keine statistisch signifikanten Unterschiede sowohl untereinander als auch zu den Gruppen 2, 3, und 7 auszumachen (siehe Tabellenanhang Kapitel 7.3.1, Tabellen 13 und 14).

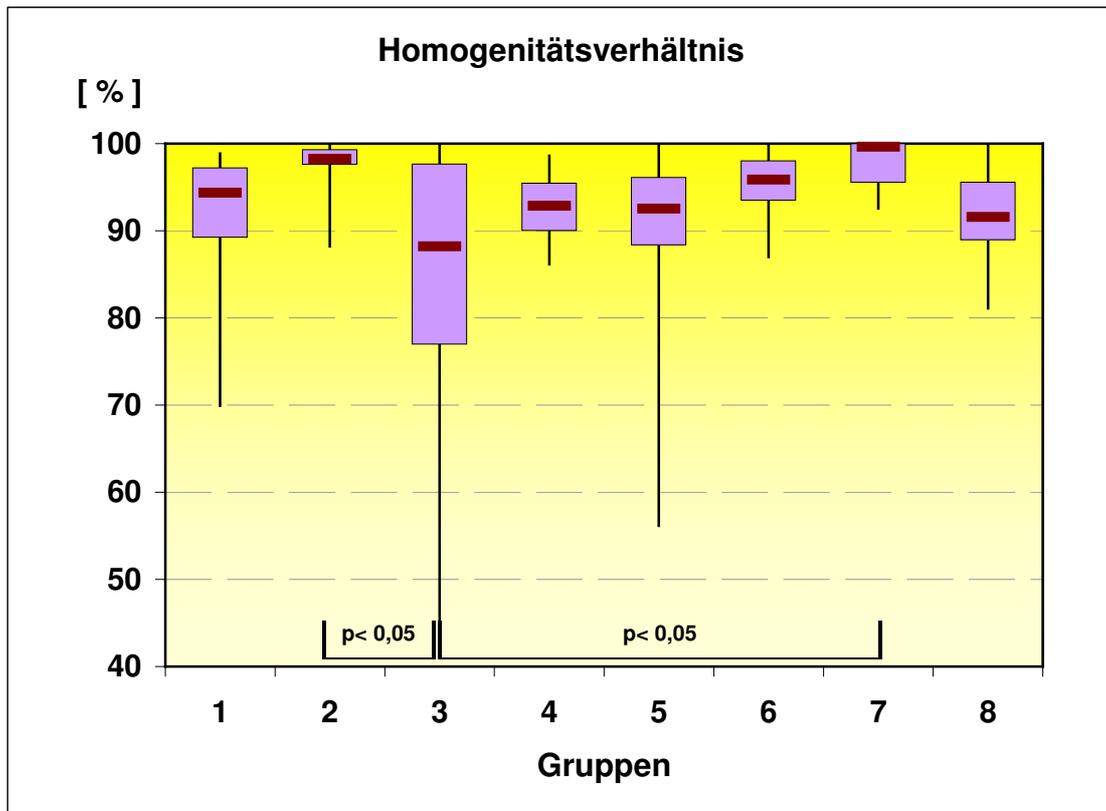


Abb. 1: Grafische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der für die vestibulär/orale und mesial/distale Projektionsrichtung zusammengefassten Werte für das Untersuchungskriterium „Homogenitätsverhältnis“ der Gruppen 1-8. Die Abbildung verdeutlicht, dass in den Gruppen 2 und 7 ein Höchstmaß an Homogenität erreicht wurde. Hier wurde ein Medianwert von 99,6% (Gruppe 7) bzw. von 98,2% (Gruppe 2) ermittelt. Die Gruppe 3 erreichte mit einem Medianwert von 88,2% den geringsten Wert für das Bewertungskriterium „Homogenitätsverhältnis“ und wies damit ein Höchstmaß an Inhomogenität auf. Die statistische Auswertung ergab ein signifikant besseres Ergebnis (Signifikanz $p < 0,05$) für die Gruppen 2 und 7 als für die Gruppe 3 (siehe Tabellenanhang Kapitel 7.3.1, Tabellen 13 und 14).

4.2.1 Distanz der Wurzelfüllung zum röntgenologischen Apex

Hinsichtlich des Kriteriums „Distanz vom apikalen Ende der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex“ konnte kein statistisch signifikanter Unterschied innerhalb der Untergruppen ausgemacht werden (siehe Tabellenanhang Kapitel 7.3.2, Tabellen 15 und 16). Der Medianwert lag für Gruppe 8 bei -1,065 mm und damit im geforderten Bereich des Richtwertes von 1 mm

Distanz der Wurzelfüllung zum röntgenologischen Apex. Gruppe 1 wies im Mittel einen Wert von -0,52 mm auf. Diese Gruppe zeigte demnach eine leichte Tendenz zur Überextension (Abb. 2).

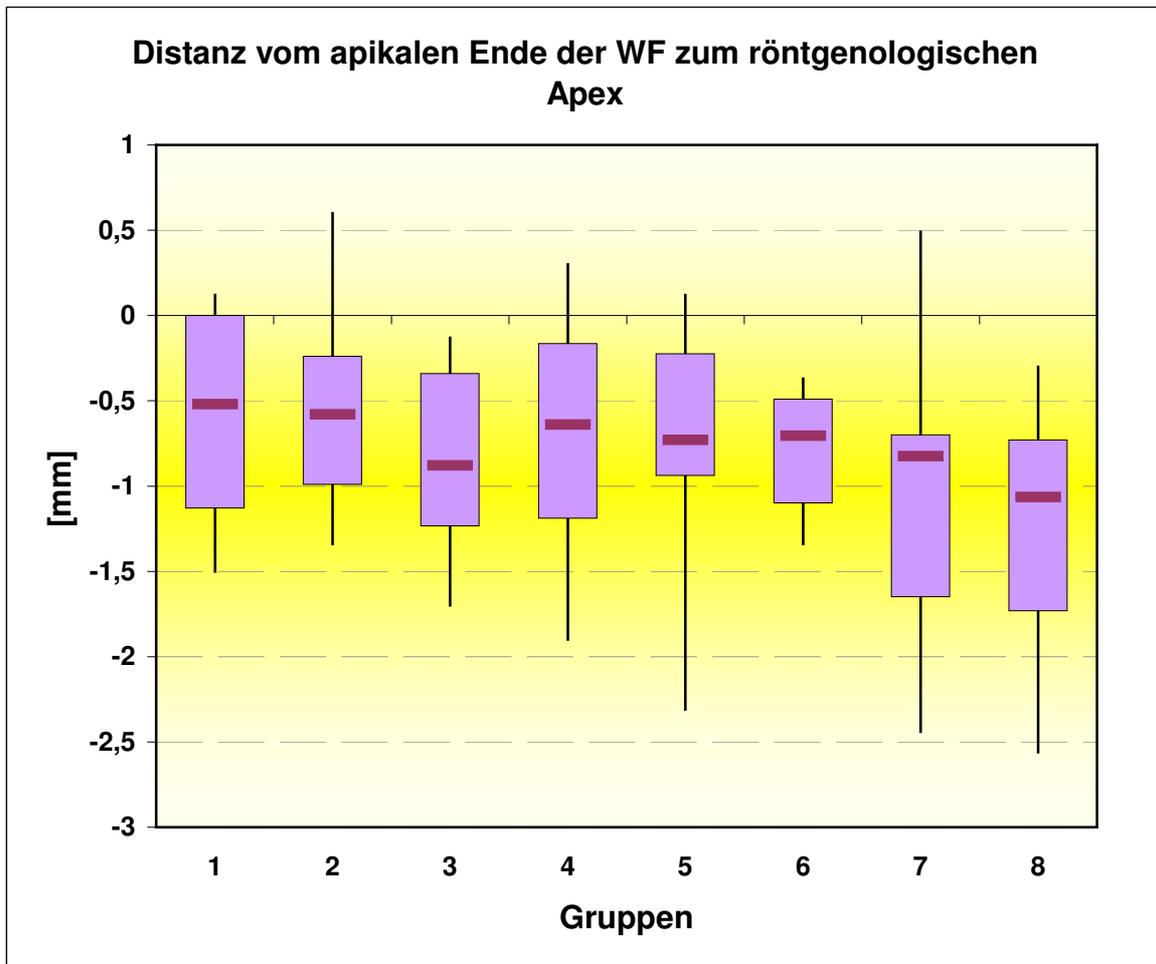


Abb. 2: Grafische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der für die vestibulär/orale und mesial/distale Projektionsrichtung zusammengefassten Werte für das Untersuchungskriterium „Distanz des apikalen Endes der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex“. Gruppe 8 weist einen Medianwert von -1,065 mm auf und liegt dem geforderten Richtwert von 1 mm Distanz der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex am nächsten. Die Gruppe 1 erreichte hier einen mittleren Wert von 0,52 mm und zeigte demnach eine leichte Tendenz zur Überextension. Die statistische Auswertung ergab keinen signifikanten Unterschied innerhalb der Gruppen 1-8 (siehe Tabellenanhang Kapitel 7.3.2., Tabellen 15 und 16).

Die Zusammenfassung der Werte für beide Hauptgruppen ergibt, dass der Medianwert für die maschinell aufbereiteten Gruppen mit -0,85 mm näher am geforderten Richtwert von 1 mm Distanz der Wurzelfüllung zum röntgenologischen Apex liegt als der Medianwert der manuell aufbereiteten Gruppen mit -0,61 mm. Damit zeigt sich bei den Gruppen mit Handaufbereitung eine leichte Tendenz zur Überextension. Ferner lässt sich anhand der Box-Größe erkennen, dass der Interquartilsabstand und damit die Streuung um den Medianwert bei den manuell aufbereiteten Gruppen größer ist als bei den maschinell aufbereiteten Gruppen (Abb. 3). Ein Vergleich der Werte der beiden Hauptgruppen zeigt zwar ein tendenziell besseres Ergebnis für die maschinell aufbereiteten Gruppen, dieses ist aber ohne statistische Signifikanz (siehe Tabellenanhang Kapitel 7.3.2, Tabellen 15 und 16).

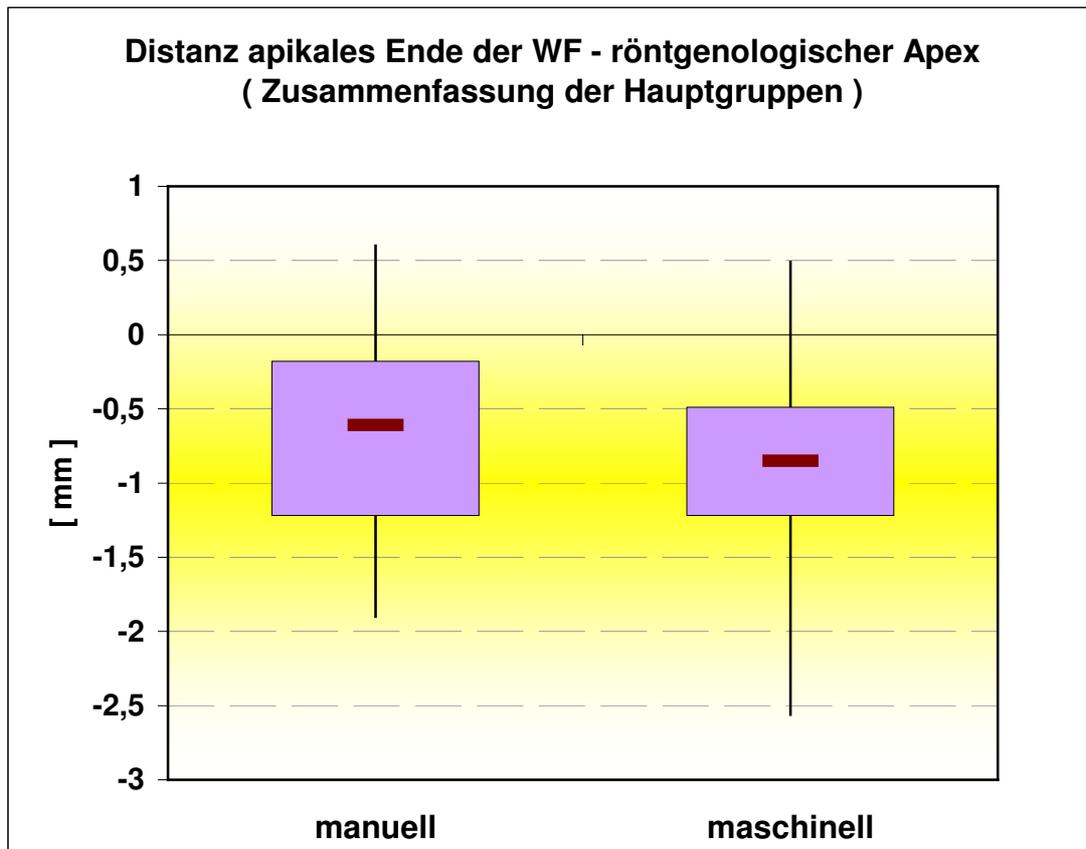


Abb. 3: Grafische Darstellung von Median, Maximum, Minimum, oberem Quartil und unterem Quartil der für beide Hauptgruppen zusammengefassten Werte für das Untersuchungskriterium „Distanz des apikalen Endes der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex“. Der Medianwert der maschinell aufbereiteten Gruppen 5-8 liegt bei -0,85 mm und ist somit näher am geforderten Richtwert von 1 mm Distanz zum röntgenologischen Apex als dies bei den handaufbereiteten Gruppen 1-4 mit einem Medianwert von -0,61 mm der Fall ist. Die Box-Größe verdeutlicht zudem, dass die Streuung um den Medianwert bei den maschinell aufbereiteten Gruppen geringer ist als bei den manuell aufbereiteten Gruppen.

4.2.2 Lokalisation der Inhomogenitäten

Hinsichtlich der Art der Wurzelkanalaufbereitung konnte festgestellt werden, dass die maschinell aufbereiteten Wurzelkanäle insgesamt bessere Werte erzielten als die manuell aufbereiteten. Fasst man beide Projektionsrichtungen und alle Wurzelkanalabschnitte zusammen, so ist der Maximalwert an Inhomogenität bei der mittels Ein-Stift-Methode und dem Silikon-Sealer gefüllten Gruppe 1 zu verzeichnen (Abb. 4, Abb. 5). Die Gruppe 7 weist hier die geringsten Werte auf.

Ein deutliches Maß an Inhomogenität im mittleren Drittel erreichten jeweils die mit Sealapex[®] gefüllten lateral kondensierten Gruppen. Sowohl die maschinell als auch die manuell aufbereiteten Wurzelkanäle erzielten hier Höchstwerte. Besonders deutlich zeigte sich dies in der exzentrischen Projektionsrichtung (Abb. 5).

In allen Gruppen waren die Maximalwerte an Inhomogenität im koronalen Drittel zu finden, wobei die manuell aufbereiteten Gruppen ein höheres Maß an Inhomogenität aufwiesen als die maschinell aufbereiteten Gruppen. Minimalwerte erreichten besonders die mit Sealapex[®] gefüllten Gruppen 7 und 8 im apikalen Wurzelkanalbereich (Abb. 4, Abb. 5).

Bezüglich der Projektionsrichtung konnte festgestellt werden, dass die Werte sehr stark voneinander abwichen. So konnten insgesamt in der mesial/distalen Projektionsrichtung zahlenmäßig mehr Inhomogenitäten lokalisiert werden als in der vestibulo/oralen Projektionsrichtung. Besonders deutlich wird dies in der Hauptgruppe mit Handaufbereitung im mittleren Wurzelkanalabschnitt (Abb. 4, Abb. 5). Auch die Ergebnisse der Gruppen 2 und 3 (lat. Kond./ Silikon-Sealer und Ein-Stift-Methode/ Seal-Apex[®]) weisen deutlich höhere Werte in der exzentrischen Projektionsrichtung auf als in der orthoradialen.

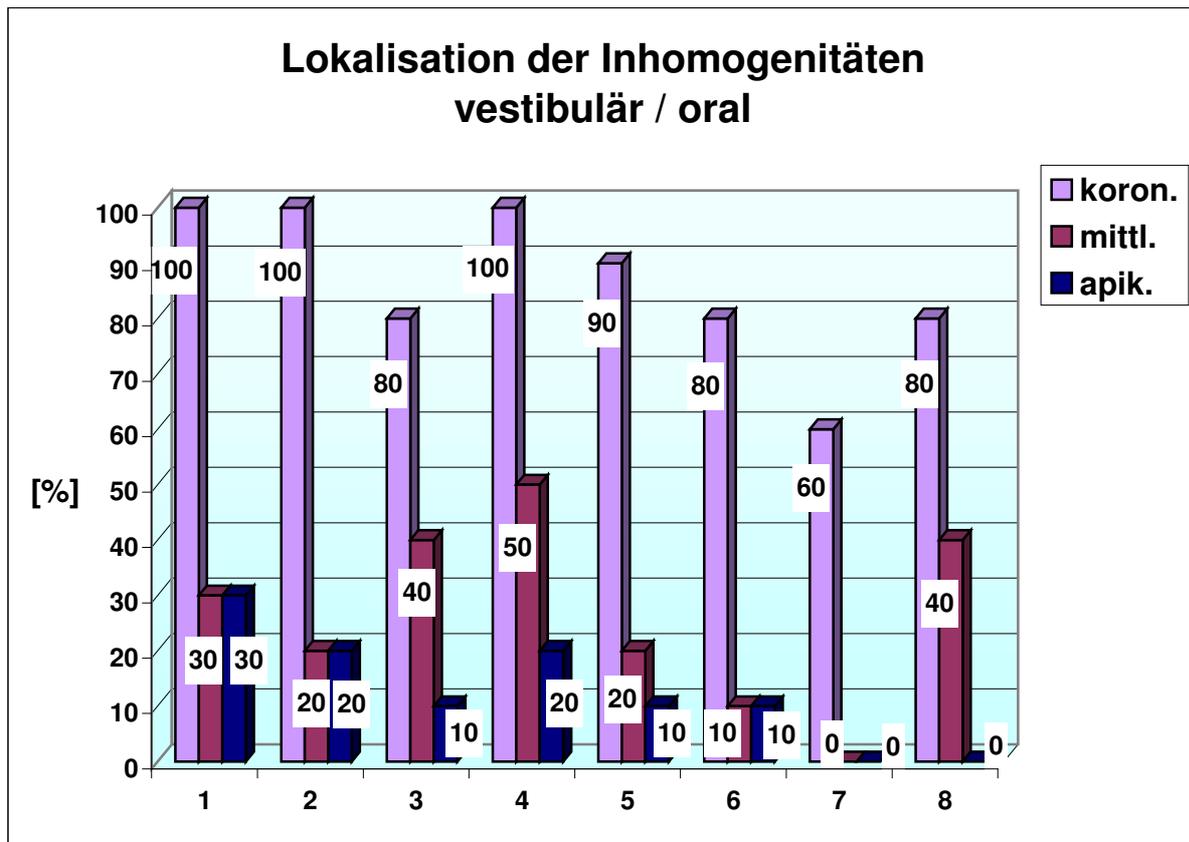


Abb. 4: Grafik zur Lokalisation der Inhomogenitäten in der vestibulär/oralen Projektionsrichtung. In allen Gruppen sind Maximalwerte für Inhomogenitäten im koronalen Drittel zu verzeichnen. Die geringsten Werte finden sich im apikalen Wurzelkanalbereich. In den maschinell aufbereiteten Gruppen konnten insgesamt weniger Inhomogenitäten lokalisiert werden als in den manuell aufbereiteten Gruppen.

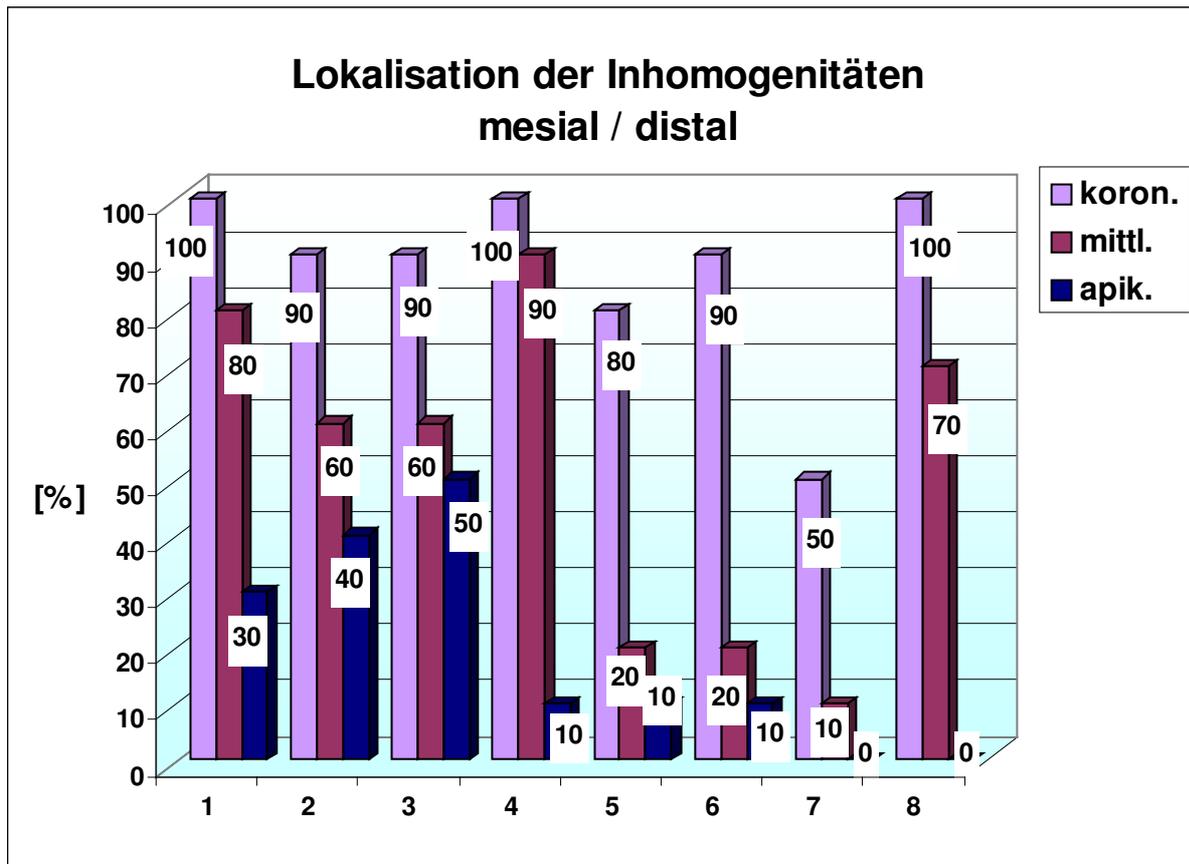


Abb. 5: Grafik zur Lokalisation der Inhomogenitäten in der mesial/distalen Projektionsrichtung. In dieser Projektionsrichtung konnten zahlenmäßig deutlich mehr Inhomogenitäten lokalisiert werden als in der vestibulo/oralen Projektionsrichtung. Es zeigte sich auch hier, dass das Höchstmaß an Inhomogenitäten im koronalen Wurzelkanalbereich zu finden war, jedoch konnten hier im mittleren Drittel des Wurzelkanals bedeutend mehr Inhomogenitäten lokalisiert werden als dies bei der orthoradialen Projektionsrichtung der Fall war.

4.2.3 Röntgenologische Fallbeispiele

Nachfolgend sind einige für unterschiedliche Bewertungskriterien typische röntgenologische Fallbeispiele abgebildet. Die Beispielbilder beziehen sich auf die Kriterien „Homogenitätsverhältnis“, „Distanz der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex“ und „Lokalisation der Inhomogenitäten in Abhängigkeit von der Projektionsrichtung“. Bei den Abbildungen handelt es sich um Einzelzahnfilme, die bei einer Röhrenspannung von 60 kV und einer Belichtungszeit von 0,12 sec. in orthoradialer (vestibulär/oral) oder exzentrischer (mesial/distal) Projektionsrichtung angefertigt wurden (Abb. 6 bis Abb. 15).



Abb. 6: Röntgenbild eines oberen seitlichen Frontzahnes der Gruppe 7 (Ein-Stift-Methode, Sealapex®), aufgenommen in der mesial/distal-exzentrischen Projektionsrichtung. Als röntgendichte Verschattung ist eine metallkeramische Versorgung der Zahnkrone zu sehen. Die Wurzelfüllung erscheint vom koronalen bis zum apikalen Wurzelkanalbereich hin homogen. Mittig ist der Guttapercha-Zentralstift zu erkennen, in den Randbereichen sieht man das Sealmaterial, welches aber etwas weniger röntgenopak erscheint als der Zentralstift. Bei diesem Wurzelkanal wurde der Höchstwert (100%) für das Untersuchungskriterium „Homogenitätsverhältnis“ erreicht.



Abb. 7: Röntgenbild eines unteren Prämolaren der Gruppe 2 (Handaufbereitung, laterale Kondensation, RSA®), aufgenommen in mesial/distal-exzentrischer Projektionsrichtung. Bei diesem Wurzelkanal liegt ein Homogenitätsverhältnis von 100% vor, die Wurzelfüllung erscheint von koronal nach apikal vollkommen gleichmäßig. Eine Unterscheidung zwischen Gut-taperchastiften und Sealermaterial ist nicht auszumachen.



Abb. 8: Röntgenbild eines unteren Frontzahnes der Gruppe 3, aufgenommen in der mesial/distal-exzentrischen Projektionsrichtung. Der Wurzelkanal wurde manuell aufbereitet und mit der Ein-Stift-Methode und Sealapex® obturiert. Im gesamten Wurzelkanal sind Inhomogenitäten auszumachen. So erscheint der Zentralstift deutlich röntgenopaker als die Wurzelfüllpaste. Diese kleidet lediglich die Randbereiche des Wurzelkanals aus. Das Homogenitätsverhältnis lag bei diesem Wurzelkanal bei 74,64%.



Abb. 9: Röntgenbild eines unteren Inzisivus der Gruppe 2, aufgenommen in der mesial/distal-exzentrischen Projektionsrichtung. Der Wurzelkanal wurde von Hand aufbereitet und mit der Methode der lateralen Kondensation unter Verwendung von RSA® gefüllt.

Die Untersuchung dieses Zahnes hinsichtlich des Kriteriums „Distanz des apikalen Endes der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex“ ergab einen idealen Wert von 0,98 mm Distanz zum röntgenologischen Apex.

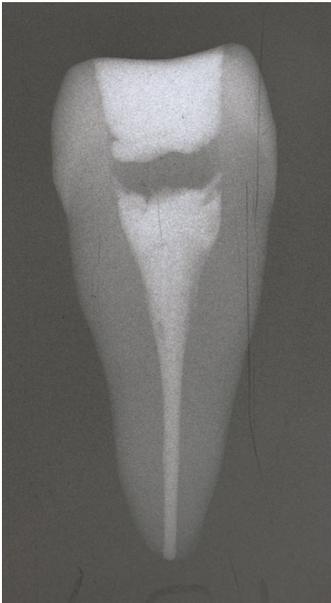


Abb. 10: Röntgenbild eines oberen Prämolaren der Gruppe 2, aufgenommen in der mesial/distal-exzentrischen Projektionsrichtung. Der Wurzelkanal wurde manuell aufbereitet und mit der lateralen Kondensationstechnik unter Verwendung von Sealapex® obturiert. Man erkennt eine über das Foramen physiologicum hinaus gehende Wurzelfüllung. Die Messung für die Distanz der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex ergab eine Überextension von 0,36 mm über den röntgenologischen Apex hinaus.

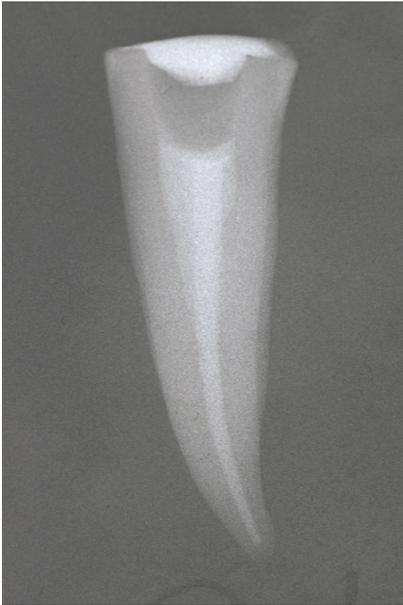


Abb. 11: Röntgenbild eines oberen Prämolaren der Gruppe 7, aufgenommen in der orthoradialen Projektionsrichtung. Hier kam, nach maschineller Aufbereitung, die Ein-Stift-Technik unter Verwendung von Sealapex® zur Anwendung. Man erkennt den etwas röntgendichteren Guttaperchastift und eine das Wurzelkanallumen gleichmäßig auskleidende Wurzelkanalfüllung. Das Homogenitätsverhältnis betrug hier 100%, in keinem Wurzelkanalabschnitt sind Inhomogenitäten zu lokalisieren.

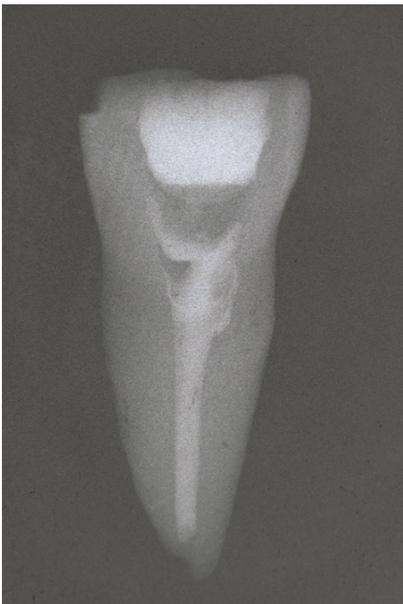


Abb. 12: Röntgenbild eines oberen mittleren Frontzahnes der Gruppe 1 (manuelle Aufbereitung, Ein-Stift-Methode, RSA®), in vestibulär/oraler Projektionsrichtung aufgenommen. Dieser Wurzelkanal weist in allen drei Kanalabschnitten Inhomogenitäten auf. Während im apikalen Bereich kleinere Porositäten zu erkennen sind, finden sich im koronalen Drittel größere nicht-gefüllte Bezirke. Hier hat keine ausreichende Benetzung der Kanalbereiche mit Sealermaterial stattgefunden.



Abb. 13: Röntgenbild eines oberen Prämolaren der Gruppe 4 (Handaufbereitung, laterale Kondensation, Sealapex®), aufgenommen in mesial/distal-exzentrischer Projektionsrichtung. Dieser Wurzelkanal weist vor allem im koronalen und mittleren Wurzelkanalbereich Inhomogenitäten auf. Es sind mehrere röntgendichte Nebenstifte erkennbar. Die dazwischen liegenden Hohlräume sind nicht ausreichend mit Sealerpaste ausgefüllt.



Abb. 14: Röntgenbild eines unteren Frontzahnes der Gruppe 3 (Handaufbereitung, Ein-Stift-Methode, Sealapex®), in vestibulär/oraler Projektionsrichtung aufgenommen. Die Wurzelfüllung erscheint homogen. Der Zentralstift ist gut zu erkennen, ebenfalls sieht man mit Sealer-material ausgekleideten Kanalwände. Homogenitätsverhältnis: 100%



Abb. 15: Derselbe Zahn wie in Abb.16, aber aufgenommen in mesial/distal-exzentrischer Projektionsrichtung. Eine Projektion in dieser Richtung zeigt, dass keineswegs eine homogene Wurzelfüllung vorliegt. Der Zahn hat zwei Wurzelkanäle, von denen lediglich einer durch einen Zentralstift obturiert wurde. Es hat auch keine Benetzung des zweiten Wurzelkanals mit Sealermaterial stattgefunden, der Wurzelkanal erscheint gänzlich ungefüllt. Dies führt im Ergebnis zu einem Homogenitätsverhältnis von 69,02%.

4.3 Histologische Ergebnisse

Insgesamt wurden 237 histologischen Präparate untersucht. In zwei Gruppen fehlten Präparate der Schnittebene 2 mm, in einer Gruppe die Schnittebene 6 mm.

Folgende Parameter wurden erfasst und ausgewertet:

- Aufbereitung des Wurzelkanals
- Detritus im Wurzelkanal
- Vorliegen und Qualität der Wurzelkanalfüllung

Die Qualität der Wurzelfüllung wurde dabei durch die Kriterien a) homogen gefüllt, b) homogen mit kleinen Blasen und c) inhomogen gefüllt beurteilt.

4.3.1 Wurzelkanalaufbereitung

In den maschinell aufbereiteten Gruppen 5-8 zeigten prozentual mehr Wurzelkanäle Anzeichen für eine mechanische Aufbereitung als in den manuell aufbereiteten Gruppen 1-4 (Kapitel 3.2.2, S. 37 ff.). Den Maximalwert erreichte hier die Gruppe 4 (Handaufbereitung, laterale Kondensation) (Abb. 16). Bildet man den Mittelwert der beiden Hauptgruppen, zeigt sich, dass insgesamt die Gruppen der maschinellen Aufbereitung mit 84,74% einen höheren Prozentwert erreichen konnten als die manuell aufbereiteten Gruppen mit 74,78%.

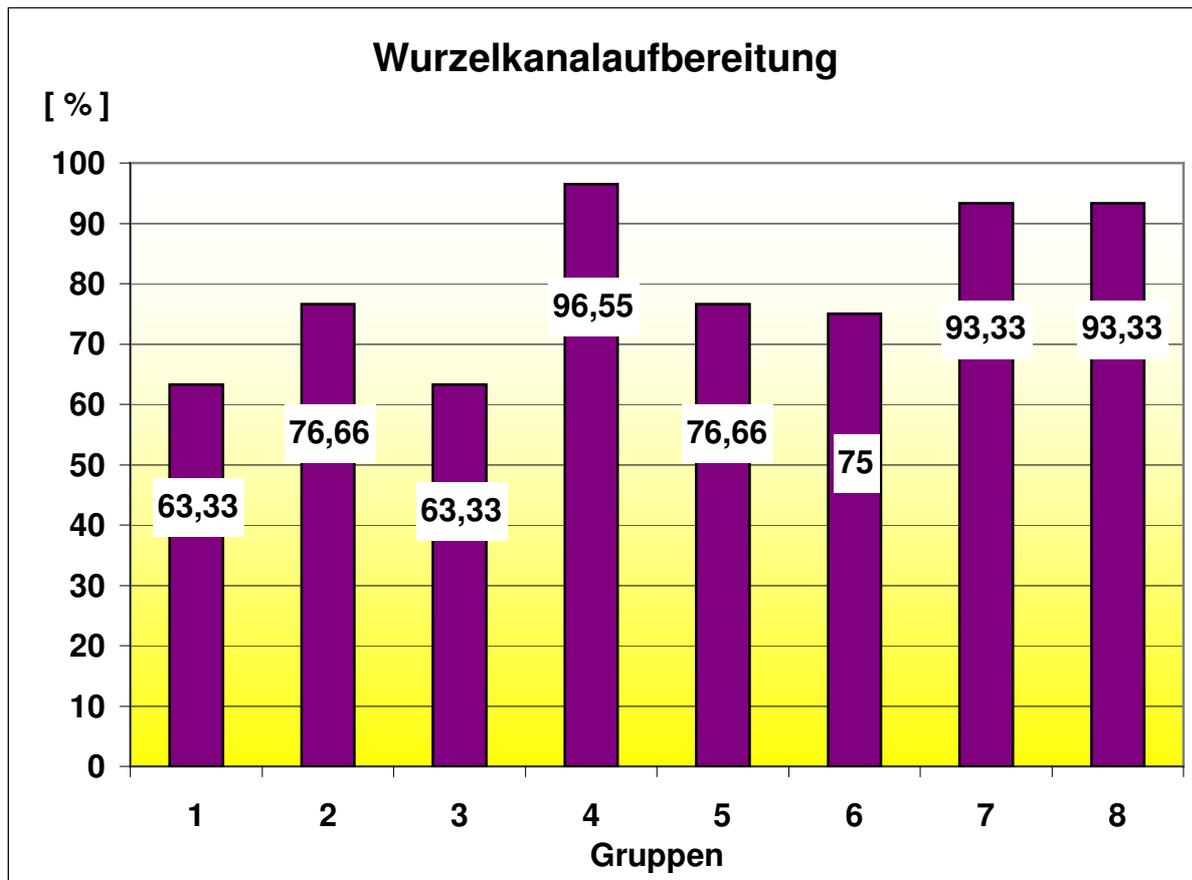


Abb. 16: Grafik zur Wurzelkanalaufbereitung zusammengefasst als Mittelwert für alle Schnittebenen. Die Ergebnisse stellen die prozentuale Häufigkeit der Erkennbarkeit von Anzeichen einer Wurzelkanalaufbereitung nach histologischen Befunden dar. So waren z. B. in der Gruppe 4 in 96,55% der Fälle Anzeichen einer Wurzelkanalaufbereitung zu erkennen.

Betrachtet man die Wurzelkanalaufbereitung in den einzelnen Schnittebenen, so zeigt sich, dass der Unterschied zwischen beiden Gruppen bei durchschnittlich 10 Prozentpunkten liegt. Es zeigt sich eine kontinuierliche Zunahme der Prozentwerte in den maschinell aufbereiteten Gruppen von der Schnittebene 2 mm zu der Schnittebene 6 mm, d. h. von apikal nach koronal. Die Gruppen mit Handaufbereitung weisen auch im apikalen Bereich den niedrigsten Prozentwert auf, der Maximalwert liegt hier allerdings im mittleren Wurzelkanalbereich (Abb. 17). Ein Vergleich der beiden Hauptgruppen zeigt wiederum, dass die maschinell aufbereiteten Gruppen höhere Prozentwerte in allen Schnittebenen erreichen als die manuell aufbereiteten Gruppen.

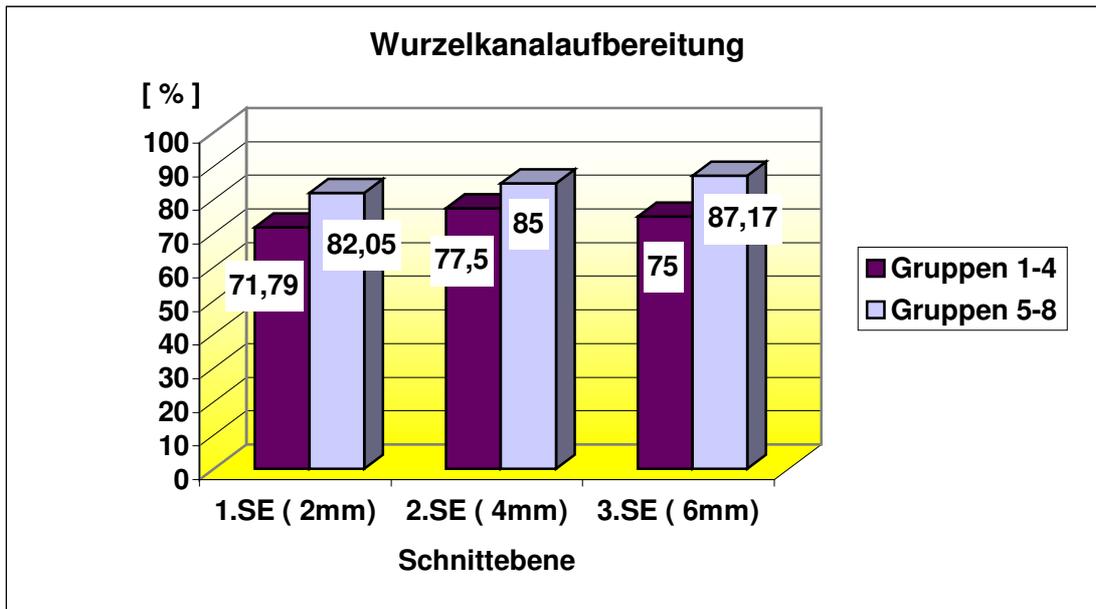


Abb. 17: Grafik zur Wurzelkanalaufbereitung der beiden Hauptgruppen separiert für die einzelnen Schnittebenen. In allen Schnittebenen konnten für die maschinell bearbeiteten Gruppen (5-8) höhere Prozentwerte bezüglich der Aufbereitung erzielt werden als für die manuell bearbeiteten Gruppen (1-4).

4.3.1.1 Detritus

Ein Vergleich der beiden Hauptgruppen zeigt, dass in den handaufbereiteten Gruppen höhere Prozentwerte zu verzeichnen sind. Dies bedeutet, dass in allen drei Schnittebenen die maschinell aufbereiteten Wurzelkanäle ein höheres Maß an Säuberung aufwiesen als die manuell aufbereiteten Kanäle. Die Werte lagen hier um durchschnittlich 10 Prozentpunkte niedriger. Eine Abnahme von Detritus vom apikalen Wurzelkanalbereich nach koronal hin konnte in beiden Hauptgruppen beobachtet werden. Beide Gruppen wiesen jedoch ihren Höchstwert im mittleren Wurzelkanalbereich auf (Abb. 18).

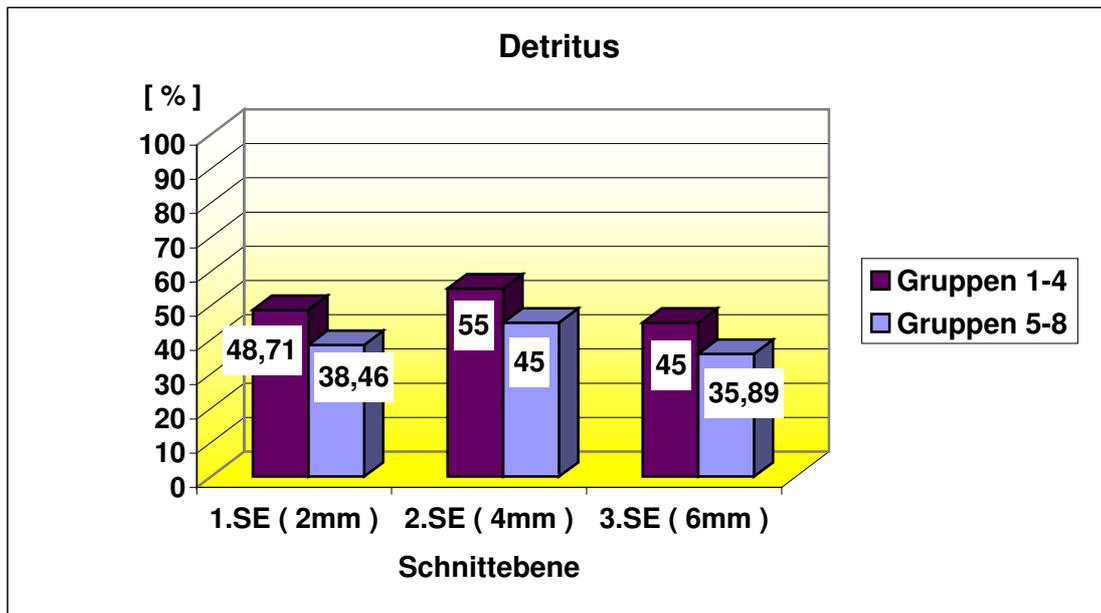


Abb. 18: Die Grafik zeigt das Vorliegen von Detritus der beiden Hauptgruppen getrennt nach den drei Schnittebenen. Die maschinell aufbereiteten Gruppen weisen geringere Prozentwerte für das Vorhandensein von Detritus auf und zeigen damit ein höheres Maß an Säuberung als die handaufbereiteten Gruppen. Beiden Hauptgruppen gemeinsam ist, dass die Werte im koronalen Bereich am geringsten sind und somit dieser Kanalabschnitt am effektivsten gereinigt worden war.

4.3.1.2 Vorliegen einer Wurzelkanalfüllung

In der Schnittebene 2 mm wiesen in 5 Gruppen alle Wurzelkanäle eine Wurzelfüllung auf. Lediglich in den Gruppen 5, 7 und 8 konnte nicht bei allen, sondern nur bei 90% der Wurzelkanäle eine Wurzelfüllung nachgewiesen werden (Abb. 19).

In der zweiten Schnittebene konnte, mit Ausnahme von Gruppe 5 (Ein-Stift-Methode, Silikon-Sealer), in allen Gruppen ein Maximalwert von 100% erreicht werden, d. h. in allen Wurzelkanälen konnte eine Wurzelfüllung beobachtet werden. In 10% der Fälle war es nicht möglich, Anzeichen für eine Wurzelkanalfüllung in Gruppe 5 auszumachen (Abb. 20).

In der letzten Schnittebene 6 mm wiesen wiederum alle Wurzelkanäle aller Gruppen bis auf Gruppe 3 (Obturation mit der Ein-Stift-Methode, Referenz-Sealer) eine Wurzelfüllung auf. Hier konnte nur in 90% der Fälle eine Wurzelfüllung erkannt werden (Abb. 21).

In Bezug auf die vorhandene Wurzelkanalfüllung kann festgestellt werden, dass insbesondere in der Hauptgruppe der maschinellen Aufbereitung eine Zunahme vom apikalen Wurzelkanal Drittel zum koronalen Wurzelkanalbereich hin erfolgt ist. Hinsichtlich der Fülltechnik ist zu beobachten, dass die Werte der mittels Ein-Stift-Technik obturierten Gruppen insgesamt geringer ausfallen als die lateral kondensierten Gruppen.

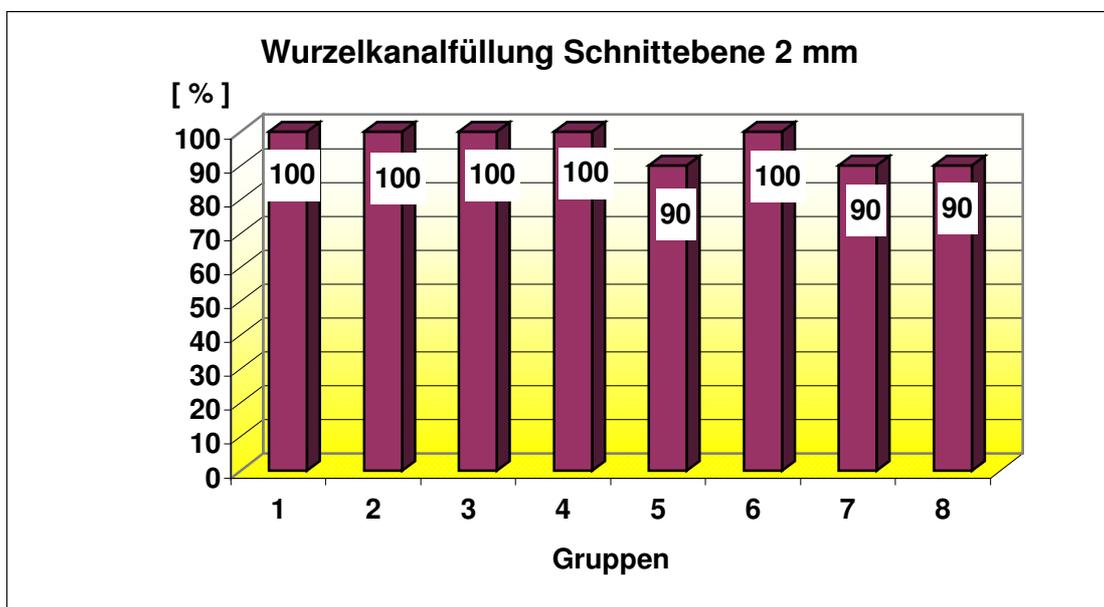


Abb. 19: Grafik zur Darstellung der Mittelwerte von Wurzelkanälen mit vorliegender Wurzelkanalfüllung in der Schnittebene 2 mm. Lediglich in den Gruppen 5, 7 und 8 konnte nicht in allen Wurzelkanälen eine Wurzelkanalfüllung nachgewiesen werden. In den anderen Gruppen zeigte in dieser Schnittebene jeder Wurzelkanal Anzeichen einer Wurzelkanalfüllung.

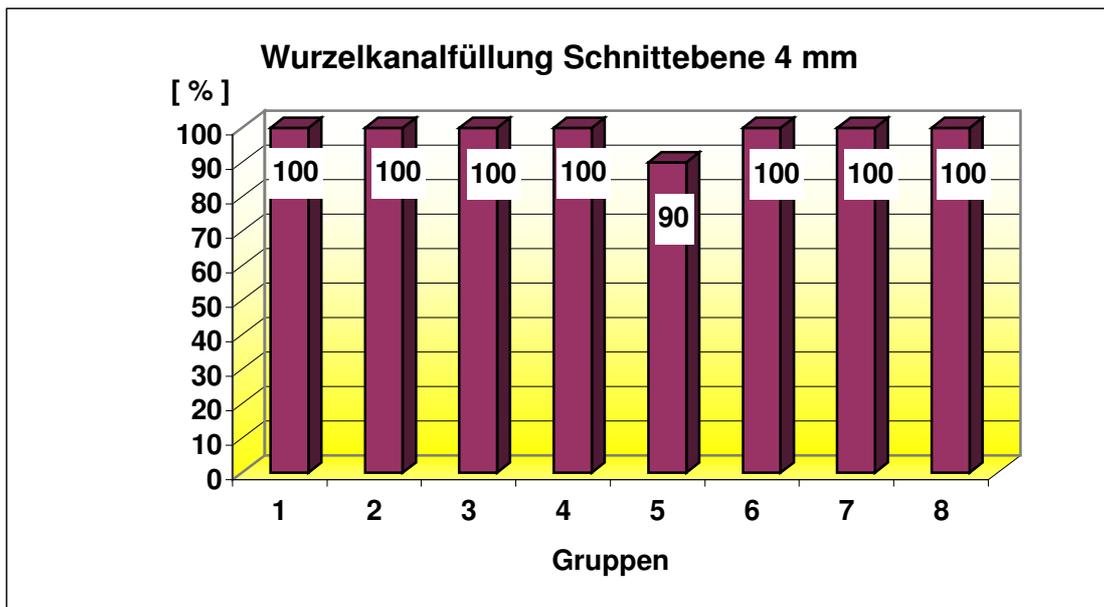


Abb. 20: Grafik zur Darstellung der Mittelwerte von Wurzelkanälen mit vorliegender Wurzelfüllung in der Schnittebene 4 mm. In dieser Schnittebene wiesen bis auf Gruppe 5 alle Wurzelkanäle eine Wurzelkanalfüllung auf.

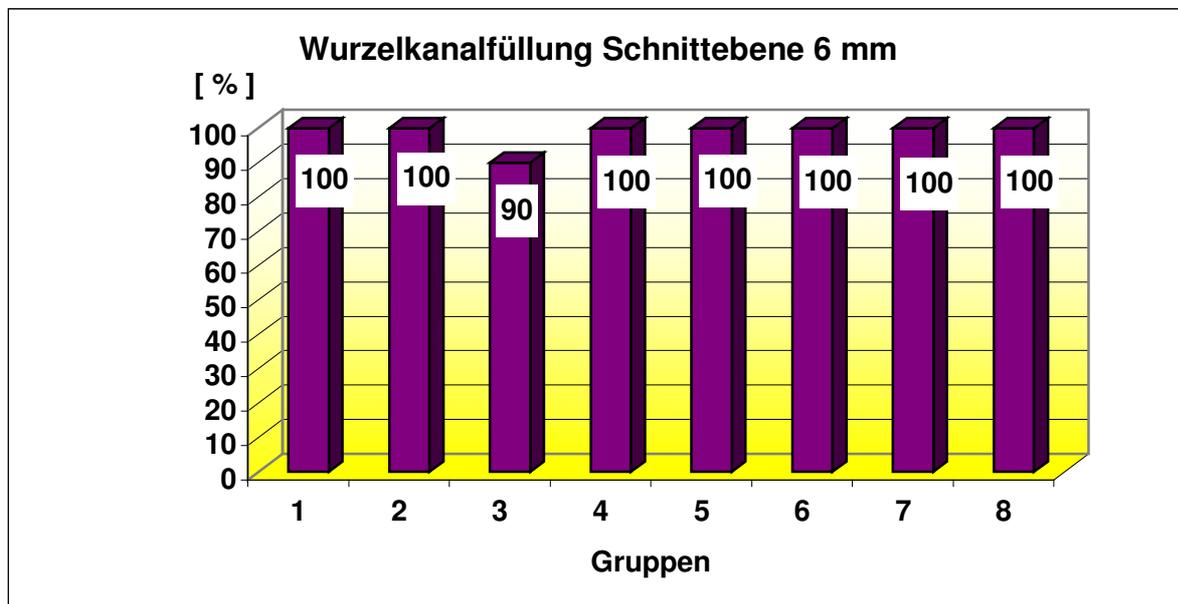


Abb. 21: Grafik zur Darstellung des Mittelwertes von Wurzelkanälen mit vorliegender Wurzelfüllung in der Schnittebene 6 mm. In dieser Schnittebene konnte nur bei Gruppe 3 in nicht allen Kanälen eine Wurzelkanalfüllung nachgewiesen werden.

4.3.1.3 Qualität der Wurzelkanalfüllung

Die Maximalwerte für Homogenität in der ersten Schnittebene (2 mm) erreichten die Gruppen 1 und 2 (Wurzelfüllung mit Silikon-Sealer) mit jeweils 50%. Fasst man die Kriterien „homogen“ und „homogen mit Blasen“ zusammen, ergibt sich, dass die Gruppen 1 und 4 (laterale Kondensation mit Referenz-Sealer) die besten Ergebnisse erzielen konnten. Die Gruppen 3 (Ein-Stift, Silikon-Sealer) und 8 (lat. Kondensation, Silikon-Sealer) wiesen hingegen den höchsten Wert für Inhomogenität auf (Abb. 22).

Analog zur ersten Schnittebene weist die Gruppe 4 in der zweiten Schnittebene ein Höchstmaß an Homogenität auf. Die Gruppen 1 und 2 liegen in dieser Schnittebene lediglich im mittleren Bereich. Wiederum kann bei Gruppe 3 der größte Wert für Inhomogenität mit 70% beobachtet werden (Abb. 23). Im Gegensatz zur Schnittebene 2 mm lässt sich bei Gruppe 8 in dieser Schnittebene ein Maximalwert für Homogenität feststellen. Im Vergleich zur ersten Schnittebene ist, mit Ausnahme von Gruppe 8, eine deutliche Abnahme der Homogenität von apikal in den mittleren Wurzelkanalbereich zu verzeichnen.

Wie auch in den ersten beiden Schnittebenen zeigt sich in der dritten Schnittebene (6 mm) ein Maximalwert für Homogenität bei Gruppe 4 (Abb. 24). In dieser Schnittebene konnte hier kein inhomogen gefüllter Wurzelkanal beobachtet werden. Wiederum gute Werte erzielte Gruppe 8 mit 80%. Die Gruppen 2 und 7 konnten mit 90% bzw. 80% ein hohes Maß an Homogenität erzielen. Die Gruppen 1 und 5 hingegen zeigten mit jeweils 80% ein Höchstmaß an Inhomogenität (Abb. 24). Die Qualität der Wurzelfüllung der Gruppen 1 und 5 wurde damit kontinuierlich von apikal nach koronal schlechter.

In allen drei Schnittebenen konnte die mittels lateraler Kondensation und dem Referenz-Sealer obturierte Gruppe 4 die besten Werte für Homogenität erreichen. Bei Gruppe 8 ließ sich ein kontinuierlicher Anstieg der Homogenität vom apikalen zum koronalen Bereich hin beobachten, während bei Gruppe 1 eine gegenläufige Entwicklung zu verzeichnen war.

Fasst man die Resultate der einzelnen Schnittebenen zusammen, so ergibt sich, dass die Wurzelfüllungen der durch laterale Kondensation obturierten Wurzelkanäle qualitativ höher zu bewerten sind als die durch die Ein-Stift-Methode gefüllten Wurzelkanäle. Ein Vergleich hinsichtlich des gewählten Sealmaterials zeigt, dass der Referenz-Sealer insgesamt höhere Prozentwerte bezüglich der Homogenität erzielen konnte als der Silikon-Sealer.

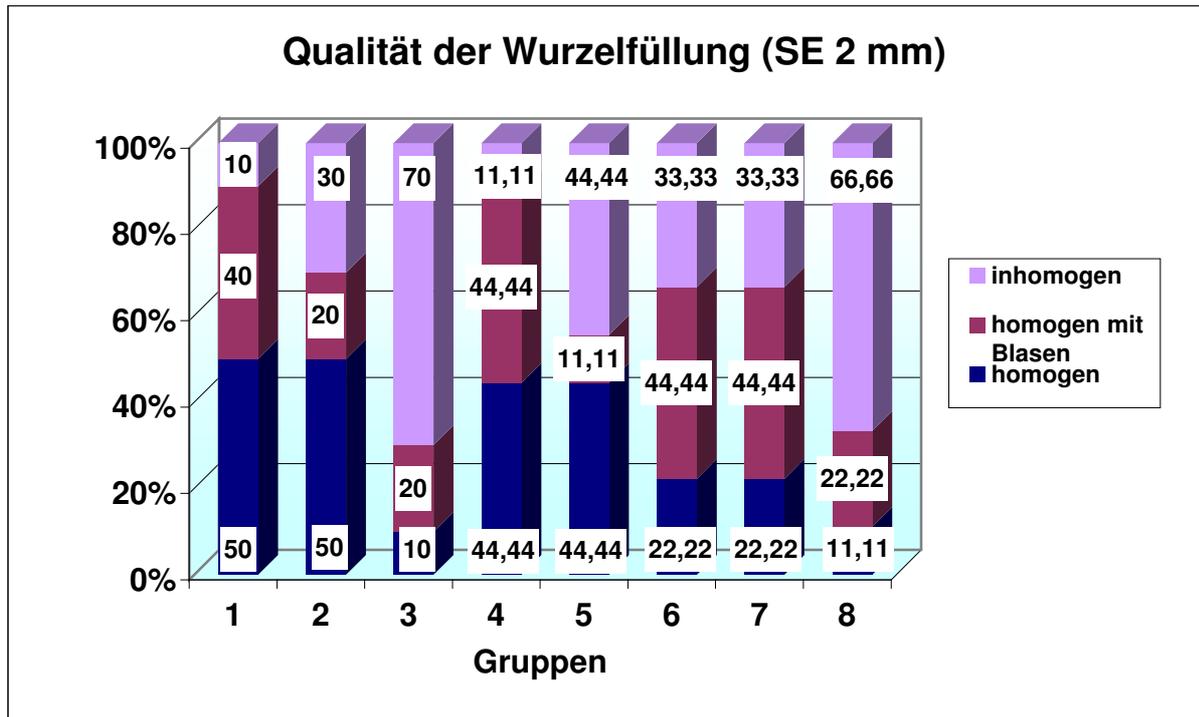


Abb. 22: Grafik zur Qualität der Wurzelfüllung in der Schnittebene 2 mm. Die Gruppen 1 und 2 erreichten in dieser Schnittebene das Höchstmaß an Homogenität. Die Gruppen 3 und 8 liefern die höchsten Prozentwerte für Inhomogenität. Eine Zusammenfassung der Prozentwerte für die Kriterien „homogen“ und „homogen mit kleinen Blasen“ ergibt für die Gruppen 1 und 4 die besten Ergebnisse.

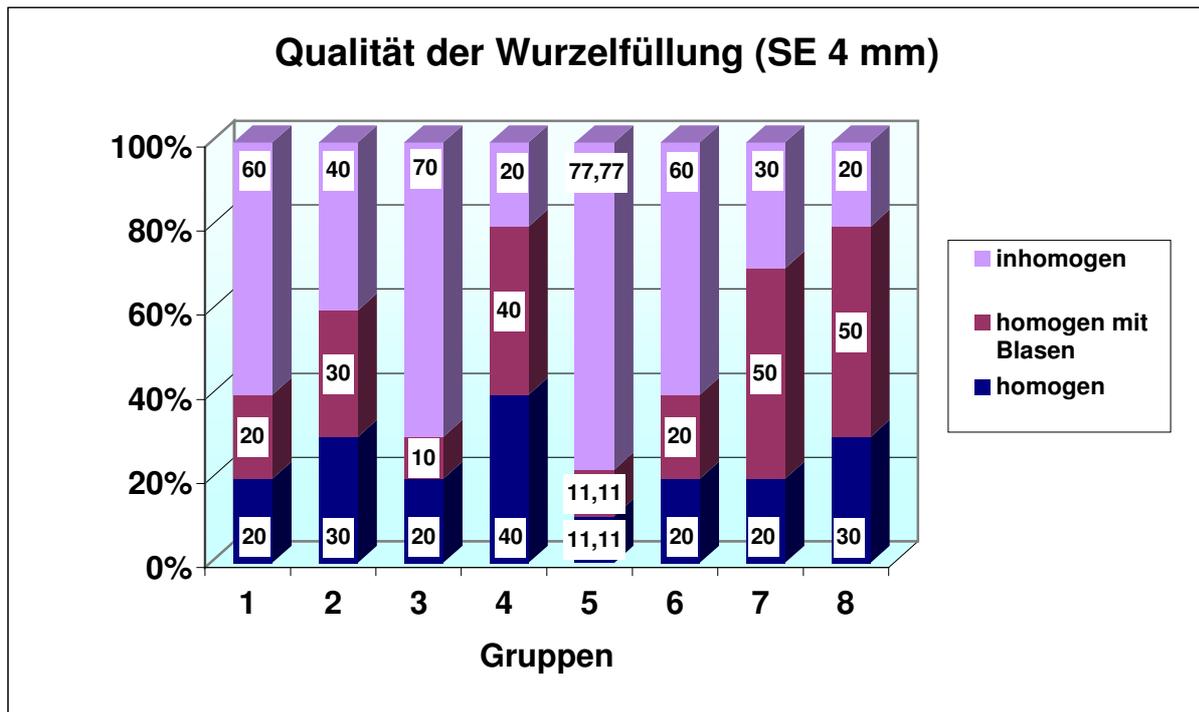


Abb. 23: Grafik zur Qualität der Wurzelfüllung in der Schnittebene 4 mm. In dieser Schnittebene kann bei Gruppe 4 der höchste Wert für Homogenität festgestellt werden. Auch zeigt ein Vergleich der beiden Schnittebenen 2 mm (Abb. 22) und 4 mm, dass bei Gruppe 8 eine deutliche Zunahme von Homogenität zu verzeichnen ist. Die in der 2. Schnittebene führenden Gruppen 1 und 2 liegen in dieser Schnittebene bezüglich der Homogenität lediglich im mittleren Bereich. Insgesamt ist eine Abnahme von Homogenität zu beobachten.

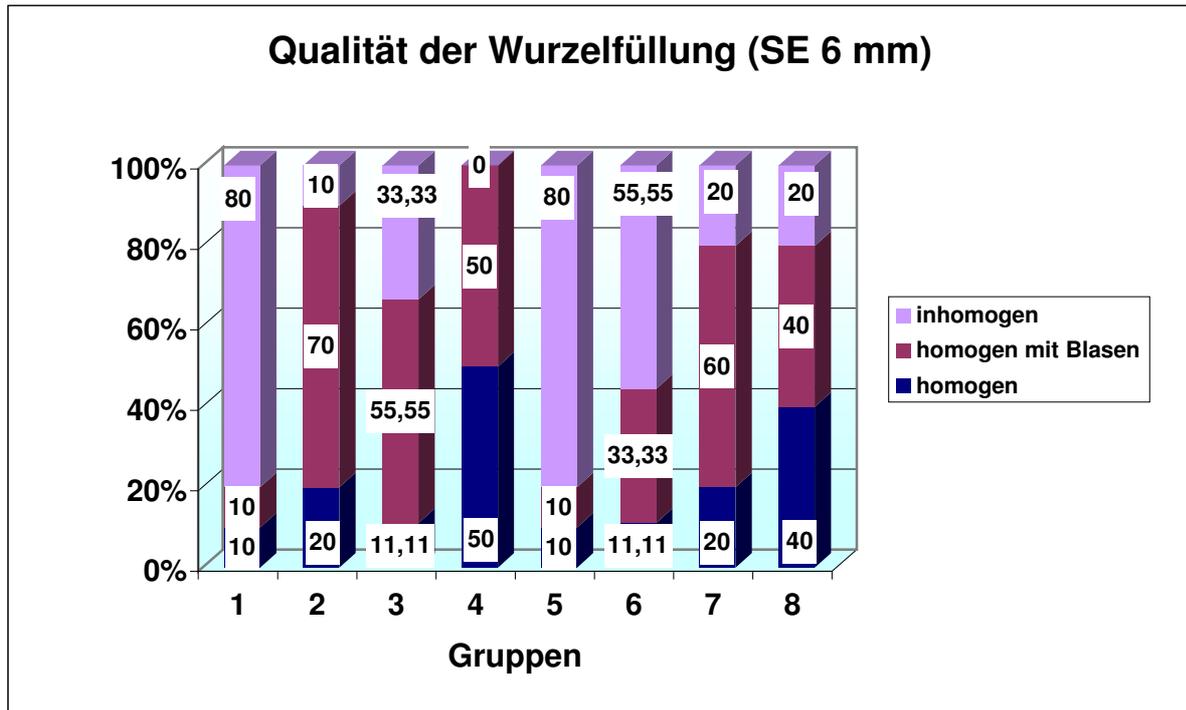


Abb. 24: Grafik zur Qualität der Wurzelfüllung in der Schnittebene 6 mm. Gruppe 4 weist den Maximalwert für Homogenität auf. Auch die Gruppen 2, 7 und 8 erzielen gute Prozentwerte in dieser Schnittebene. Die Gruppen 1 und 5 weisen in dieser Schnittebene die höchsten Werte für Inhomogenität auf. In diesen Gruppen wurde die Qualität der Wurzelkanalfüllung kontinuierlich von apikal nach koronal schlechter.

4.3.2 Histologische Fallbeispiele

Nachfolgend sind einige für die Bewertungskriterien „Wurzelkanalaufbereitung“, „Detritus“ und „Qualität der Wurzelkanalfüllung“ typische Beispielbilder aus der histologischen Untersuchung abgebildet. Es handelt sich um Dünnschliffpräparate, welche mit einem Dialux 20 EB-Lichtmikroskop untersucht und mit dem Fotoaufsatz MPS 51 auf Dia-Film fotografiert wurden. Abgebildet ist entweder eine mit einer Objektivvergrößerung x 16 angefertigte Übersichtsaufnahme des Dünnschliffpräparates oder eine mit einer Objektivvergrößerung x 100 untersuchte Detailaufnahme (Abb. 25 bis Abb.36).

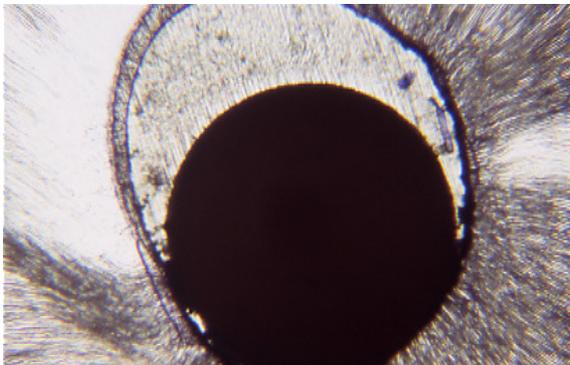


Abb. 25: Darstellung eines Wurzelkanals der 5. Gruppe (RSA[®], Ein-Stift-Technik, maschinelle Aufbereitung). An der scharfen Begrenzung und der kreisrunden Form des Wurzelkanals lassen sich Rückschlüsse auf eine mechanische Bearbeitung des Wurzelkanals ziehen. Detritus ist kaum vorhanden. Eine Auskleidung des Wurzelkanals mit Sealer fehlt. Lediglich ein einzelner Guttaperchastift ist als Wurzelfüllung erkennbar.

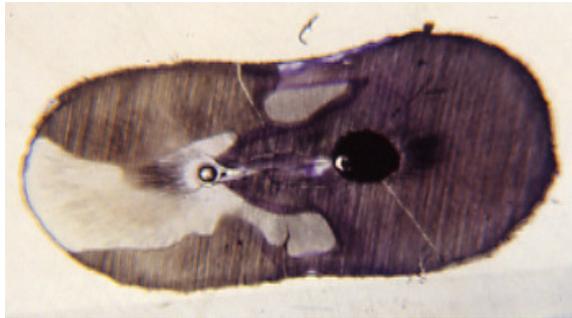


Abb. 26

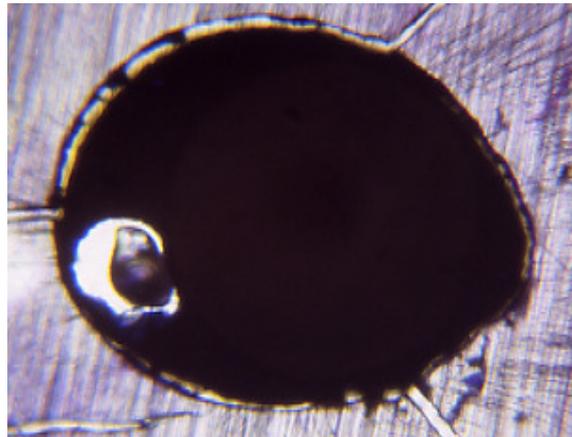


Abb. 27

Übersichtsaufnahme (Abb.26) eines Zahnes der 3. Gruppe (Sealapex[®], Ein-Stift-Technik, manuelle Aufbereitung). Man erkennt zwei voneinander getrennte Wurzelkanäle. Der rechte Wurzelkanal zeigt Anzeichen einer Aufbereitung sowie eine weitestgehend homogene Wurzelfüllung. Der linke Wurzelkanal lässt weder eine mechanische Bearbeitung noch eine Füllung erkennen. Ferner blieben die Nebenkanäle des Wurzelkanals ungefüllt. Dies wird in der Detailvergrößerung (Abb. 27) verdeutlicht.

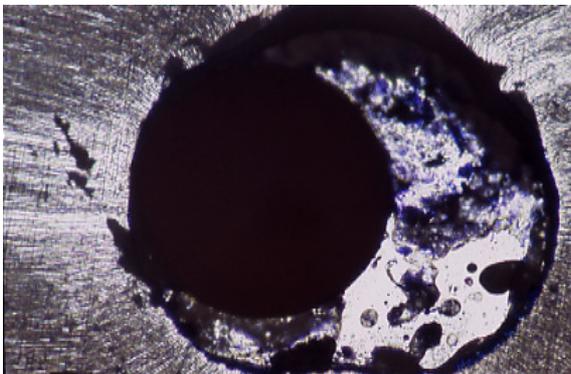


Abb. 28: Diese Darstellung eines Dünnschliffpräparates der 1. Gruppe (RSA[®], Ein-Stift-Technik, manuelle Aufbereitung) weist kaum Anzeichen einer mechanischen Aufbereitung auf. Neben dem Guttaperchastift zeigen sich im Wurzelkanal irregulär geformte Fragmente, welche als Reste von Detritus zu werten sind.

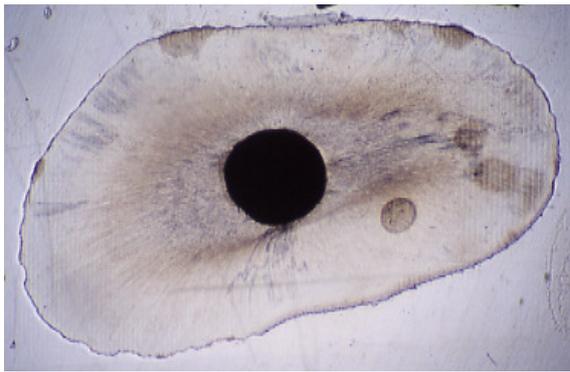


Abb. 29

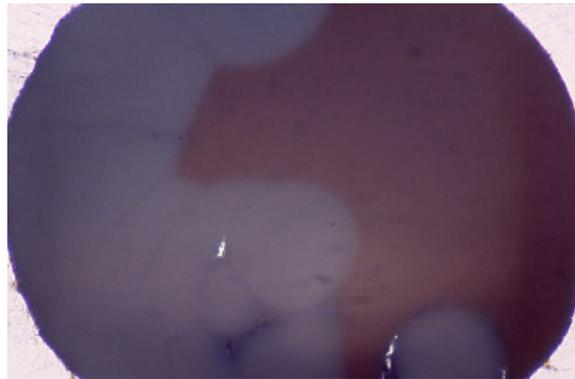


Abb. 30

Abb.29: Dargestellt ist eine Übersichtsaufnahme eines Dünnschliffpräparates der 2. Gruppe (RSA®, laterale Kondensation, Handaufbereitung). Erkennbar sind ein kreisrund aufbereiteter Wurzelkanal mit einer homogenen Füllung. In der Detailvergrößerung (Abb.30) sieht man die einzelnen lateral kondensierten Guttaperchastifte, die nahezu spaltfreien Kontakt untereinander und zum Sealer aufweisen.

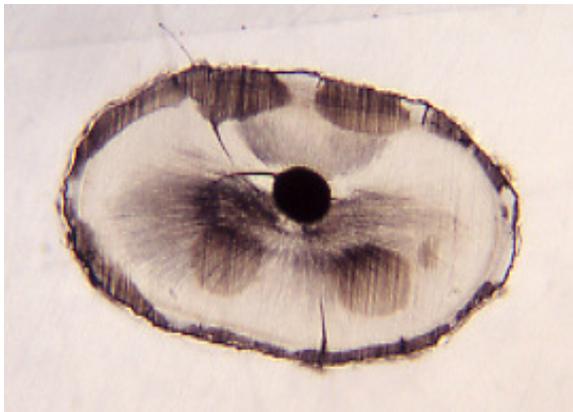


Abb. 31

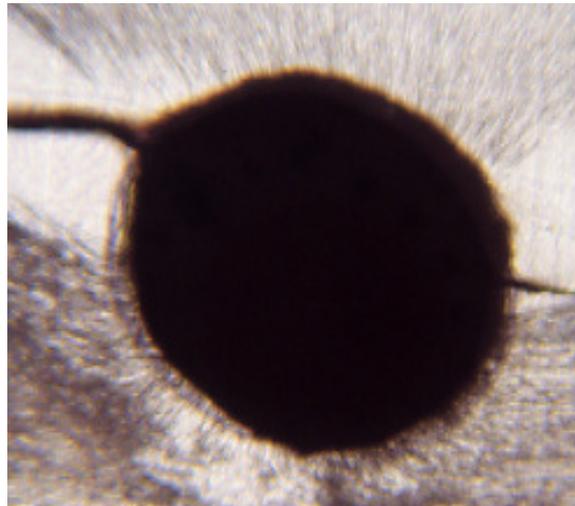


Abb. 32

Abb. 31 zeigt die Darstellung einer Übersichtsaufnahme eines Dünnschliffpräparates der 5. Gruppe (RSA®, Ein-Stift-Technik, maschinelle Aufbereitung). Neben dem vollständig mit einem Guttaperchastift und Sealer ausgekleidetem Wurzelkanal ist zudem ein mit Sealer gefüllter akzessorischer Kanal erkennbar. Die Detailaufnahme (Abb. 32) zeigt deutlich den spaltfreien Kontakt zwischen Guttaperchastift und Sealer, sowie zwischen Sealer und Kanalwand. Auch hier sieht man einen nahezu kreisrund aufbereiteten Wurzelkanal.

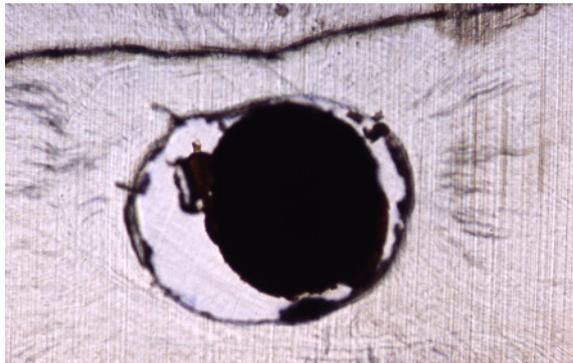


Abb. 33

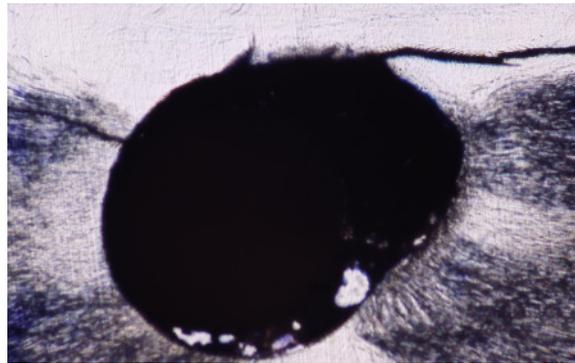


Abb. 34

Abb. 33 und Abb.34 zeigen Dünnschliffpräparate der 3. Gruppe (Sealapex[®], Ein-Stift-Technik, manuelle Aufbereitung). Abb. 33 zeigt den Wurzelkanal in der 1. Schnittebene (2 mm). Man erkennt, dass das Wurzelkanallumen kaum mit Sealmaterial gefüllt ist. Lediglich ein einzelner Guttaperchastift stellt hier die Wurzelkanalfüllung dar. Abb. 36 zeigt den Zahn in der 3. Schnittebene (6 mm). Hier ist eine annähernd homogen gefüllte Fläche sichtbar. Der Sealer füllt die Bereiche um den Guttapercha-Zentralstift nahezu blasenfrei aus.

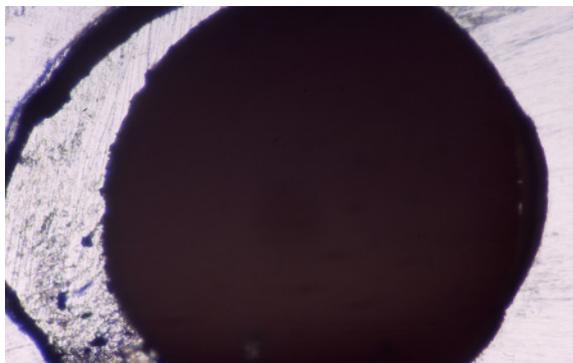


Abb. 35

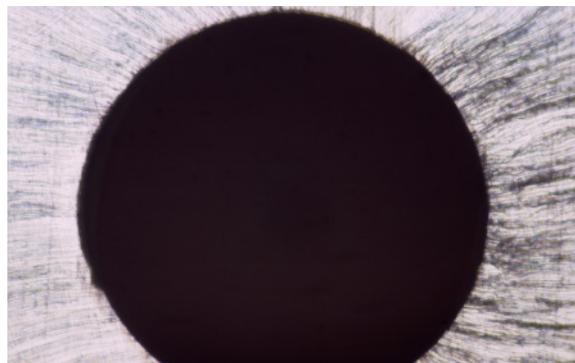


Abb. 36

Abb. 35 und Abb. 36 zeigen Dünnschliffpräparate der 1. Gruppe (RSA[®], Ein-Stift-Technik, manuelle Aufbereitung). Abb. 35 zeigt den Wurzelkanal in der 3. Schnittebene (6 mm). Der zentrale Guttaperchastift ist an die rechte Kanalwandseite gepresst, der entstandene Hohlraum nicht mit Sealer ausgefüllt. Abb. 36 zeigt den Wurzelkanal in der 1. Schnittebene (2 mm). Hier sind alle Bereiche des Wurzelkanals vollständig und homogen gefüllt. Die Verzäpfung des Sealers mit der Wurzelkanalwand lässt eine dichte Wurzelkanalfüllung in diesem Bereich vermuten.

5 Diskussion

5.1 Materialien

Gegenstand der vorliegenden Arbeit war die Untersuchung eines auf Polydimethylsiloxan-Basis hergestellten Wurzelkanalsealers. Zur Beurteilung der Qualität wurden die Kriterien Röntgenopazität, Verbund zur Kanaloberfläche und Dichtigkeit herangezogen. Das Ziel einer In-Vitro-Studie ist dabei, klinisch relevante und repräsentative Ergebnisse zu liefern. Dies erfordert standardisierte Versuchsbedingungen. Häufig werden in solchen In-Vitro-Studien aus Kunststoff hergestellte Wurzelkanäle verwendet (Schäfer et al., 2005; Baksi Akdeniz et al., 2007; Tepel, 2000). So werden zwar standardisierte Bedingungen geschaffen, allerdings bleiben sämtliche klinischen Faktoren, welche die Wechselwirkungen zwischen Zahn und zu untersuchendem Material beeinflussen, wie beispielsweise die Oberflächenbeschaffenheit der Wurzelkanalwand, das Vorhandensein des Smear Layers und die spezifische Wurzelkanalanatomie natürlicher Zähne davon unberücksichtigt.

Untersuchungen zu verschiedenen Wurzelfüllmethoden werden daher meist unter Verwendung humaner extrahierter Zähne vorgenommen (Dummer et al., 1993; Çobankara et al., 2001; Gilbert et al., 2001). Um trotz der bei natürlichen Zähnen vorkommenden Variabilität und Komplexität des Wurzelkanalsystem annähernd standardisierte Bedingungen und vergleichbare Resultate zu erhalten, sollten Zähne des gleichen Typs ausgewählt werden. In der vorliegenden Arbeit wurden deshalb einwurzelige Zähne ausgewählt und in gleichartig bestückte Untergruppen aufgeteilt.

Ein Problem, welches sich in dieser Studie ergab, war, dass drei der Zähne zwei Kanäle aufwiesen. Durch Randomisierung der Zähne wurden diese drei Proben einer Gruppe (Gruppe 3) zugeordnet. Die Röntgenkontrolle sowie die histologische Auswertung zeigte, dass die zweiten Kanäle nicht gefüllt wurden. Die nicht gefüllten Kanäle sind aber als ungefüllte Bereiche in die Bewertung mit eingeflossen. Insofern kann das Ergebnis bezüglich Gruppe 3 nicht als repräsentativ gelten.

5.2 Methoden

5.2.1 Röntgenkontrolle

Im Rahmen der Untersuchung der Qualität von Wurzelfüllungen werden häufig Röntgenuntersuchungen zur Beurteilung der Dichtigkeit, Homogenität und Erreichen der angestrebten Länge der Wurzelfüllung herangezogen. Eine allein in vestibulo-oraler Richtung aufgenommene Röntgenaufnahme wird hinsichtlich der Beurteilung der Qualitätskriterien von verschiedenen Autoren kritisch betrachtet (Slaus et al., 2001; Youngson et al., 1995). So wurden bei in mesio-distaler Projektionsrichtung aufgenommenen Röntgenkontrollaufnahmen signifikant häufiger Fehler in der Wurzelfüllungen wie Lunker oder Porositäten beobachtet, als dies bei vestibulo-oraler Projektionsrichtung der Fall war. Auch Kersten et al. (1987) kommen zu dem Schluss, dass die Homogenität und die apikale Ausdehnung der Wurzelkanalfüllung nicht durch in vestibulo-oraler Projektion aufgenommenen Röntgenaufnahmen exakt beurteilt werden können.

Dummer et al. (1993) konnten ebenfalls signifikant schlechtere Ergebnisse in der mesial-distalen Projektion nachweisen als dies in der vestibulo-oralen Projektion der Fall war. Die röntgenologischen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit untermauern diese Beobachtungen. Besonders im mittleren und apikalen Bereich der Wurzelkanalfüllung konnten hier, im Gegensatz zur vestibulo-oralen Projektionsrichtung, in mesio-distaler Projektion Inhomogenitäten lokalisiert werden. Die Wurzelkanalfüllung kann durch die Anfertigung einer zweiten Röntgenaufnahme in einer anderen Ebene eher als ein dreidimensionales Bild betrachtet werden. Für den klinische Alltag würde dies bedeuten, dass die Aufnahme in exzentrischer Projektion der orthoradialen Projektion überlegen ist.

Eine weitere mögliche Fehlerquelle besteht in der Interpretation der Röntgenaufnahmen. So kann das gleiche Bild von verschiedenen Behandlern unterschiedlich interpretiert und ausgewertet werden. Auch wird eine absolute Objektivität durch die Untersuchung durch eine Einzelperson nicht erreicht. Dies könnte durch zwei unabhängige Beurteilungen oder durch computerunterstützte Techniken erzielt werden. Die in der vorliegenden Arbeit angefertigten Röntgenbilder wurden von einem einzelnen Untersucher hergestellt und beurteilt. Eine Beurteilung durch mehrere Behandler hätte ggf. eine objektivere Aussage ergeben.

Bezüglich der Röntgenopazität konnte festgestellt werden, dass ein größerer Kontrast zwischen Sealer und Guttaperchastift bei den mit Sealapex[®] obturierten Gruppen vorlag als bei den mit

RSA[®] gefüllten Proben. Die Röntgenopazität des RSA[®] war den Guttaperchastiften ähnlich. Somit konnte zwar kein Unterschied zwischen Stift und Sealer ausgemacht werden, allerdings waren Inhomogenitäten innerhalb der Wurzelkanalfüllung bei diesen Gruppen auf dem Röntgenbild deutlicher sichtbar als bei den Referenzgruppen. Eine röntgenologische Beurteilung der Qualität der Wurzelkanalfüllung ist damit leichter.

5.2.2 Smear-layer

Ein Faktor, der Einfluss auf die Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen nehmen könnte ist die Schmierschicht (Smear-layer). Diese Schmierschicht entsteht durch die mechanische Bearbeitung des Wurzelkanals. Sie setzt sich aus verschiedenen Bestandteilen zusammen. So finden sich in der Schmierschicht vitale und nekrotische Pulpareste, organische und anorganische Bestandteile sowie Reste der Spülflüssigkeiten. Sie kann der Dentinoberfläche als lockere oder auch fest anhaftende Schicht aufsitzen. Ob eine Entfernung der Smear-layer für die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung sinnvoll ist oder nicht wird kontrovers diskutiert. So wird von einigen Autoren empfohlen, die Schmierschicht als eine Art Schutzschicht zu belassen. Eine bakterielle Besiedelung der Dentintubuli soll so gehemmt und ein Nachsickern von Flüssigkeiten aus den Dentintubuli in den Wurzelkanal verhindert werden (Drake et al., 1994). Andererseits scheint durch die Entfernung der Smear-layer eine bessere Penetration der Wurzelfüllpasten in die Dentinkanälchen möglich (Petschelt et al., 1987; White et al., 1987).

Die Entfernung der Smear-layer kann durch eine alleinige Verwendung von NaOCl nicht erreicht werden (Baumgartner et al., 1984). Der zusätzliche Gebrauch eines Chelators wie EDTA, 17%, soll die anorganischen Bestandteile auflösen. Die Wechselfspülung mit NaOCl, 5,25%, die organischen Substanzen eliminieren.

In der vorliegenden Arbeit wurde die Smear-layer nicht entfernt. Die Wurzelkanäle wurden nach der Aufbereitung mit einer alternierenden Spülung von NaOCl, 3%, und H₂O₂, 2%, gespült. Dies führt nicht zur Entfernung der Schmierschicht. Da der zu untersuchende Sealer rein mechanisch an der Kanalwand anhaftet, könnte dies ein möglicher Grund für schlechtere Werte beim Untersuchungskriterium „Dichtigkeit“ sein. Ob allerdings die Entfernung der Schmierschicht tatsächlich einen bedeutenden Einfluss auf die Dichtigkeit von RSA[®] hat, bleibt fraglich, da auch hier widersprüchliche Literaturdaten vorliegen. So wurden sowohl in Studien, in denen die Schmierschicht entfernt wurde (Gençoğlu et al., 2003) als auch in Studien ohne eine Vorbehandlung des

Dentins (Saleh et al., 2002; Wu et al., 2002) gute Ergebnisse hinsichtlich der Dichtigkeit von RSA[®] erzielt.

Nach einer Studie von Roggendorf et al. (2007) scheint auch die Anwesenheit von Feuchtigkeit einen positiven Effekt auf die Dichtigkeit von RSA[®] auszuüben. Sie folgerten, dass im Wurzelkanal befindliche Feuchtigkeit als eine Art Schmiermittel für den Sealer fungiert und so ein besseres Attachment an die Wurzelkanalwand ermöglicht. Die in der vorliegenden Untersuchung behandelten Proben wurden vor der Wurzelkanalfüllung mit sterilen Papierspitzen getrocknet, so dass vermutlich nur wenig Restfeuchtigkeit im Kanal verblieben ist. Dies könnte der Studie von Roggendorf et al. (2007) zufolge ein Grund für eine weniger gute Adhäsion des Wurzelfüllmaterials an die Kanalwand gewesen sein, dies sollte aber in weiteren Studien geprüft werden.

5.2.3 Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster[®]-System

In der vorliegenden Arbeit wurden vier Gruppen manuell mit K-Feilen und vier Gruppen maschinell mit dem FlexMaster[®]-System aufbereitet. Die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse zum Punkt „Zeitersparnis“ bei den maschinell aufbereiteten Proben decken sich mit zahlreichen in der Literatur beschriebenen Beobachtungen (Guelzow et al., 2005; Nagaratna et al., 2006; Saad et al., 2007; Schäfer und Vlassis, 2004b). Die Betrachtung der Kriterien „Anzeichen einer Wurzelkanalaufbereitung“ und „Detritus“ zeigt durchschnittlich bessere Ergebnisse für die maschinell aufbereiteten Gruppen als für die Gruppen mit Handaufbereitung. Dies deckt sich nicht unbedingt mit den bisher veröffentlichten Studien. Schäfer und Lohmann (2002) konnten bezüglich der Entfernung von Debris und Smear-layer bessere Ergebnisse bei der Verwendung von Handinstrumenten (K-Flexofiles) erzielen als mit dem FlexMaster[®]-System. Auch Alam et al. (2006) zufolge war eine bessere Säuberung des Wurzelkanals mit Handinstrumenten zu erreichen. Eine Studie von Schirrmeister et al. (2006b) zur Entfernung von Guttapercha aus vorbehandelten Wurzelkanälen belegt, dass größere Areale im Wurzelkanal verbliebenen Guttaperchas zu verzeichnen waren bei der Verwendung von FlexMaster[®]-Feilen, als dies bei Anwendung des RaCe-Systems der Fall war.

Dass in der vorliegenden Arbeit ein durchschnittlich höheres Maß an Säuberung der Wurzelkanäle bei den maschinell bearbeiteten Wurzelkanälen erzielt wurde, könnte an der Verwendung des EDTA-haltigen Gleitmittels File-Eze[®] gelegen haben. Auch die größere Konizität der FlexMaster[®]-Feilen und ein damit verbundener erhöhter Abtrag von Dentin könnte eine Rolle bei der

Entfernung von Detritus gespielt haben. Möglicherweise ist auch eine effizientere Irrigation der Wurzelkanäle durch den größeren Raum, welcher systembedingt bei der maschinellen Aufbereitung entsteht, für die bessere Säuberung verantwortlich.

Der häufig in Publikationen erwähnte Nachteil in Form von Instrumentenfrakturen der maschinellen Aufbereitungssysteme (Schirmeister et al., 2006a; Dietz et al., 2000; Pruett et al., 1997; Turpin et al., 2000) konnte in dieser Studie nicht bestätigt werden. Diese traten auch insbesondere bei Behandlern auf, die mit diesen Systemen nicht ausreichend vertraut waren (Sonntag et al., 2003).

Vor Beginn der maschinellen Aufbereitung der zu untersuchenden Proben wurde die Arbeitsweise mit dem FlexMaster[®]-System intensiv geprobt, wodurch gute Ergebnisse hinsichtlich der Kanalsäuberung erzielt und Instrumentenfrakturen vermieden wurden.

Die Einhaltung der vor dem Beginn der Wurzelkanalaufbereitung bestimmten Arbeitslänge ist unabdingbar für den klinischen Erfolg einer solchen Behandlung. So wird von Strindberg (1956) eine Arbeitslänge von einer Distanz von 1 mm des röntgenologischen Apex zur Wurzelkanalfüllung als ideal angesehen. Auch Dummer et al. (1984) konnten mit dieser Arbeitslänge die besten Resultate erzielen. Eine Überfüllung des Wurzelfüllmaterials in den periapikalen Bereich kann, in Abhängigkeit vom überpressten Material, schwere Entzündungsreaktionen, Nervschädigungen und Knochennekrosen verursachen (Serper et al., 1998; Leonardo et al., 1998).

Die Untersuchungsergebnisse der vorliegenden Arbeit zeigen eine grundsätzliche Tendenz zu einer Überextension der Wurzelkanalfüllungen. Die manuell bearbeiteten Wurzelkanäle schienen weniger erfolgreich hinsichtlich der angestrebten Aufbereitungstiefe im Vergleich zu den maschinell aufbereiteten Wurzelkanälen. Allerdings waren die Unterschiede statistisch nicht signifikant. Auch liegen die Mittelwerte dieses Untersuchungskriteriums in einem durchaus vertretbaren Rahmen und scheinen ohne klinische Relevanz zu sein. Die Ergebnisse decken sich auch mit bisherigen Publikationen.

Thompson und Dummer (2000) und Schäfer und Vlassis (2004a) konnten in ihren Studien auch nur geringe Abweichungen von der angestrebten Aufbereitungslänge bei Verwendung rotierender NiTi-Instrumente beobachten. Sonntag et al. (2003) konnten bei ihren Untersuchungen feststellen, dass bei den handaufbereiteten Proben signifikant weniger Masterpoints die korrekte Arbeitslänge erreichten als dies bei mit rotierenden Instrumenten aufbereiteten Zähnen der Fall

war. Auch Schirrmeister et al. (2006b) konnten in ihrer Studie, besonders beim FlexMaster®-System eine Inkongruenz zwischen angestrebter Aufbereitungstiefe und tatsächlich erreichter Wurzelkanalfüllung feststellen. Allerdings handelte es sich hier um einen Verlust der Arbeitslänge.

Da es sich in der vorliegenden Studie nur um eine sehr geringe Tendenz zur Überextension handelte, kann eine klinische Relevanz in Frage gestellt werden.

Ein weiterer wichtiger Aspekt der vorliegenden Untersuchung war die Frage nach dem Einfluss der Aufbereitungstechnik auf die Qualität der Wurzelkanalfüllung. Anhand der Bewertungskriterien „Homogenitätsverhältnis“, dessen Befunde sich auf röntgenologische Ergebnisse stützte und „Qualität der Wurzelkanalfüllung“, die sich durch histologische Untersuchungen ergaben, konnte ein Vergleich zwischen den beiden Aufbereitungsarten gezogen werden. Obwohl die maschinell aufbereiteten Wurzelkanäle bessere Ergebnisse bei der Wurzelkanalaufbereitung und der Säuberung (Vorhandensein von Detritus im Kanal) lieferten, scheint dies kein bedeutender Aspekt für eine bessere Qualität der Wurzelkanalfüllung zu sein, da die histologische Beurteilung der Qualität der Wurzelkanalfüllung sowohl bei den manuell bearbeiteten Wurzelkanälen als auch bei den maschinell aufbereiteten Wurzelkanälen zu ähnlichen Befunden führte. Es kann somit konstatiert werden, dass die Art der Aufbereitung keinen wesentlichen Einfluss auf die Füllungsqualität hat.

5.2.4 Wurzelkanalfülltechniken

In der vorliegenden Studie kamen die Wurzelfülltechniken „laterale Kondensation“ und „Zentralstift-Technik“ zur Anwendung. Bei Betrachtung der Ergebnisse bezüglich der Qualität der Wurzelkanalfüllung, gemessen am Grad der Homogenität/Inhomogenität, fällt auf, dass insbesondere im weiter koronal gelegenen Bereich (Schnittebene 6 mm) bei den mit RSA® und der Zentralstifttechnik gefüllten Gruppen ein hoher Grad an Inhomogenität zu verzeichnen ist. Bei den wichtigeren apikalen Bereichen ist hier ein deutlich höheres Maß an Homogenität zu verzeichnen. In der mittleren und apikalen Schnittebene (4 mm und 2 mm) weisen auch die mit Sealapex® gefüllten handaufbereiteten Proben hohe Prozentwerte für Inhomogenität auf. Daraus ist zu schließen, dass diese Methode sowohl für die Verwendung mit RSA® als auch mit Sealapex® keine ideale Kombination darstellt. Zahlreiche Studien belegen, dass mit der Methode der lateralen Kondensation im Vergleich zur Zentralstifttechnik bessere Resultate bezüglich der Dichtigkeit

von Wurzelkanalfüllungen zu erzielen sind (Monticelli et al., 2007; Beatty et al., 1986; Schirrmeyer et al., 2005). Die Verwendung von Thermafil® als Zentralstift in Verbindung mit verschiedenen Wurzelkanalpasten zeigt hingegen gute Resultate bezüglich der Dichtigkeit (Schirrmeyer et al., 2005; Dummer et al., 1993; Chohayeb, 1992; Gilbert et al., 2001).

Eine mögliche Erklärung für die schlechteren Ergebnisse bezüglich der Einstifttechnik könnte in der mangelnden Erfahrung des Behandlers liegen. Diese ist bei der Methode der lateralen Kondensation höher anzusiedeln als bei der Einstifttechnik.

Bei Betrachtung der Ergebnisse hinsichtlich des Homogenitätsverhältnisses und der Qualität der Wurzelkanalfüllungen fällt auf, dass es deutliche Unterschiede in Abhängigkeit von der Art der Aufbereitungsmethode gibt. So zeigt die Gruppe der handaufbereiteten und mit Sealapex® und der Einstiftmethode obturierten Proben signifikant schlechtere Werte als die Gruppe, bei der mit der gleichen Füllmethode obturiert, aber maschinell aufbereitet wurde. Wie schon erwähnt, ist die Bewertung dieser Proben aufgrund der vorhandenen zweiten Kanäle dreier Zähne fraglich.

5.3 RSA®

In der vorliegenden Studie galt es, die Qualität der mit RSA® obturierten Wurzelkanalfüllungen in Abhängigkeit zweier Wurzelkanalfülltechniken zu überprüfen und mit solchen, die mit Sealapex® gefüllt worden waren zu vergleichen. Studien konnten bereits die gute Gewebeverträglichkeit von RSA® bestätigen (Eldeniz et al., 2007; Gençoglu et al., 2003; Miletić et al., 2005). Auch die Verwendung des Doppelkammerapplikators ist positiv zu bewerten. Auf diese Weise erhält der Behandler den Sealer stets im selben Mischungsverhältnis. Dies ist auch bei gewissenhaftestem manuellen Anmischen der Basis/Katalysatorpaste bei Sealapex® nicht möglich.

Die Tatsache, dass bei den mittels Einstiftmethode gefüllten Proben eine Zunahme an Inhomogenität von apikal nach koronal zu verzeichnen ist, könnte daran liegen, dass bei der Verwendung eines einzelnen Guttaperchastiftes eine größere Menge an Sealer benötigt wird, insbesondere bei Kanälen mit ovalem Querschnitt. Selbst bei der Verwendung der Greater Taper Stifte, welche eng an die Geometrie der rotierenden Nickel-Titan-Instrumente angepasst sind, muss mehr Sealer in den Kanal eingebracht werden. Somit kann der Forderung eines optimalen Gut-tapercha-Sealer-Verhältnisses von 90:10 nicht nachgekommen werden. Diese Erkenntnisse wurden auch von Monticelli et al. (2007) gewonnen.

Eine Weiterentwicklung des RSA[®] stellt das Füllmaterial Guttaflow[®] dar. Die Matrix dieses neuen Sealers setzt sich wie beim RSA[®] aus Polydimethylsiloxan als Grundstoff, sowie Silikonöl, Paraffinöl, Zirkonoxid und Hexachloroplatinsäure zusammen, enthält aber zusätzlich ein Guttaperchapulver mit einer Korngröße von 30 µm beigemischt. Die Biokompatibilität dieses Material gleicht der des RSA[®] und wurde auch bereits in Studien untersucht (Gençoglu et al., 2005; Bouillaguet et al., 2006). Geiß (2004) konnte in einer Studie feststellen, dass bei Verwendung der Einstifttechnik mit diesem Material bessere Ergebnisse erzielt werden konnten als mit der lateralen Kondensation. Ebenso scheint dieses Material einem optimalen Sealer/Guttapercha-Verhältnisses näher zu kommen.

Die Kombination RSA[®]/laterale Kondensation scheint nach den in dieser Studie gewonnenen Erkenntnissen für eine gute Abdichtung des Wurzelkanals besser geeignet zu sein. Diese Erfahrung deckt sich mit denen von Gerling (2005). Auch dieser Untersuchung zufolge konnte mit RSA[®] und der lateralen Kondensation am ehesten ein hermetischer Verschluss des Wurzelkanals erreicht werden. Viel versprechend schien in dieser Studie aber auch die Verwendung der Therafil[®]-plus-Methode zu sein. Zukünftig sollte überprüft werden, ob u. U. mit dieser Methode noch bessere Ergebnisse bezüglich der Abdichtungsfähigkeit erzielt werden können.

In Zusammenfassung der Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigt sich keine Überlegenheit des RSA[®] gegenüber Sealapex[®] in der Abdichtungsfähigkeit. Dies deckt sich nicht unbedingt mit den Ergebnissen anderer Studien, in denen RSA[®] häufig im Bezug auf Dichtigkeit bessere Ergebnisse erzielte als andere Sealer (Çobankara et al., 2002; Gençoglu et al., 2003; Wu et al., 2002; Gerling, 2005). Diese Diskrepanz zu den Ergebnisse der vorliegenden Studie könnte auch in der Methodik begründet liegen. So wurde zumeist zur Untersuchung der Dichtigkeit ein Farbpenetrationstest als Methode heran gezogen. Bei diesen Tests wird die Eindringtiefe eines Farbstoffs (z. B. Methylenblau) in den Wurzelkanal bestimmt und quantitativ ausgewertet. Diese Methode könnte eine genauere Beurteilung der Dichtigkeit erlauben, als es in der vorliegenden Studie anhand der histologischen Präparate mit einer einfachen Ja/Nein-Beurteilung möglich war. Eine solche Ja/Nein-Beurteilung von Homogenität und Dichtigkeit ist naturgemäß bis zu einem gewissen Grade vom subjektiven Eindruck des Beobachters abhängig. Insofern ist ein Vergleich der in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse nur bedingt mit denen anderer Studien möglich.

Abschließend ist anzumerken, dass in der vorliegenden Studie mit RSA[®] im Wesentlichen ähnliche Ergebnisse bezüglich der Qualität der Wurzelkanalfüllung erzielt wurden, wie mit dem be-

reits klinisch erprobten und häufig in der Praxis verwendeten Material Sealapex[®]. Die gute Biokompatibilität, das leichte Expansionsverhalten, das exakte Mischungsverhältnis aufgrund des Doppelkammerapplikators, die gute Röntgenopazität und die in dieser Studie gewonnenen Erkenntnisse zur Qualität der Wurzelkanalfüllung könnten RSA[®] zu einem Standardprodukt bei der Obturation von Wurzelkanälen werden lassen.

Eine Vorbehandlung des Dentins, das Entfernen der Schmierschicht und ein Verbleiben von Restfeuchtigkeit scheint empfehlenswert, um eine bessere mechanische Adaptation des RSA[®] an die Kanalwand zu erreichen. Diese Empfehlungen und die weitere Untersuchung und Entwicklung optimierter Wurzelfüllmethoden sollten Gegenstand weiterer Studien sein.

6 Zusammenfassung

In der vorliegenden Studie wurde die Qualität des auf Polydimethylsiloxan-Basis hergestellten Sealers RoekoSeal Automix[®] (RSA[®]) hinsichtlich der Kriterien Röntgenopazität und Abdichtungsfähigkeit in Abhängigkeit zweier verschiedener Aufbereitungstechniken (Handaufbereitung mit K-Feilen bzw. maschinelle Aufbereitung mit dem FlexMaster[®]-System) und Fülltechniken (Einstiftmethode vs. laterale Kondensation) untersucht und mit einem bereits klinisch erprobten, auf Calciumhydroxid-Basis hergestellten Sealer (Sealapex[®]) als Referenzmaterial verglichen.

Achtzig extrahierte, humane Zähne wurden zu diesem Zweck randomisiert in zwei Hauptgruppen mit manueller und maschineller Aufbereitung aufgeteilt. Innerhalb dieser Hauptgruppen wurden jeweils zwei Gruppen mit dem zu untersuchenden Sealer und zwei Gruppen mit dem Referenzsealer entweder mit der Einstifttechnik oder der lateralen Kondensation obturiert. Daran anschließend erfolgte zunächst eine radiologische Analyse der Proben. In einem weiteren Arbeitsschritt wurden Dünnschliffpräparate der wurzelgefüllten Zähne angefertigt und diese mit dem Lichtmikroskop histologisch ausgewertet.

Die radiologische und histologische Analyse ergab, dass mit der lateralen Kondensation und RSA[®] bessere Ergebnisse erzielt wurden als mit der Einstiftmethode. Besonders im apikalen Wurzelkanalbereich zeigte sich hier ein Höchstmaß an Homogenität, die jedoch nach koronal hin abnahm. Die Wurzelkanalfüllung mit Sealapex[®] als Sealer lieferte sowohl in Kombination mit der Einstiftmethode als auch mit der lateralen Kondensation ähnliche Ergebnisse. Insgesamt konnten mit RSA[®] keine besseren Ergebnisse erzielt werden als mit Sealapex[®]. Im Mittel waren diese beiden Wurzelfüllpasten in Hinblick auf ihre Abdichtungsfähigkeiten äquivalent.

Die Röntgenopazität des RSA[®] war zufriedenstellend. Durch eine dem Guttaperchastift vergleichbare Opazität erschien die Wurzelkanalfüllung deutlich homogener als es bei den mit Sealapex[®] versiegelten Wurzelkanälen der Fall war. So konnten dann auch bei dem Bewertungskriterium „Homogenitätsverhältnis“ Inhomogenitäten in der Wurzelkanalfüllung besser ausgemacht werden als bei den mit Sealapex[®] gefüllten Wurzelkanälen. Die Beurteilung der Füllqualität gelingt somit bei den mit RSA[®] versiegelten Wurzelkanälen besser. Ein Vergleich der Aufbereitungsmethoden zeigte, dass das FlexMaster[®]-System der Handaufbereitung besonders im Bezug auf Zeitersparnis überlegen ist. Auch konnte ein höherer Grad an Kanalsäuberung mit diesem System erreicht werden.

Aufgrund der Ergebnisse anderer Studien sollte geprüft werden, ob bei Verwendung von RSA[®] eine Entfernung der Smear-layer und ein Verbleib von Feuchtigkeit im Kanal zu noch besserer Qualität der Wurzelkanalfüllung führen kann.

7 Tabellen

7.1 Tabellen der histologischen Auswertung

Nachfolgend sind die Rohdaten der histologischen Auswertung für die Bewertungskriterien „Aufbereitung“, „Detritus“, „Füllungsmaterial“ und „Homogenität“ tabellarisch abgebildet. Der Wert „1“ bedeutet „Ja“ bzw. „Kriterium erfüllt“, der Wert „0“ bedeutet „Nein“ bzw. „Kriterium nicht erfüllt“ (Tab. 1 bis Tab. 8).

Gruppe 1								
						Homogenität		
Zahn	Präparatnummer	Schnittebene [mm]	Aufbereitung	Detritus	Füllungsmaterial	homogen	homogen mit Blasen	inhomogen
1	1	2	1	0	1	0	1	0
	2	4	1	0	1	1	0	0
	3	6	1	1	1	0	1	0
2	4	2	1	0	1	1	0	0
	5	4	1	1	1	0	0	1
	6	6	1	1	1	0	0	1
3	7	2	1	0	1	1	0	0
	8	4	1	0	1	0	0	1
	9	6	0	1	1	0	0	1
4	10	2	0	1	1	0	0	1
	11	4	1	0	1	0	1	0
	12	6	1	0	1	0	0	1
5	13	2	1	0	1	1	0	0
	14	4	1	1	1	0	0	1
	15	6	0	1	1	0	0	1
6	16	2	0	1	1	1	0	0
	17	4	0	1	1	0	0	1
	18	6	0	1	1	0	0	1
7	19	2	1	0	1	0	1	0
	20	4	1	0	1	1	0	0
	21	6	1	0	1	1	0	0
8	22	2	1	0	1	0	1	0
	23	4	1	1	1	0	1	0
	24	6	0	1	1	0	0	1
9	25	2	1	0	1	0	1	0
	26	4	0	1	1	0	0	1
	27	6	0	1	1	0	0	1
10	28	2	1	0	1	1	0	0
	29	4	0	1	1	0	0	1
	30	6	0	1	1	0	0	1

Tab. 1: Rohdaten der histologischen Auswertung der Gruppe 1.

Gruppe 2								
Zahn	Präparatnummer	Schnittebene [mm]	Aufbereitung	Detritus	Füllungsmaterial	Homogenität		
						homogen	homogen mit Blasen	inhomogen
1	31	2	1	0	1	1	0	0
	32	4	1	0	1	0	1	0
	33	6	1	0	1	0	1	0
2	34	2	1	0	1	0	1	0
	35	4	1	0	1	0	0	1
	36	6	1	1	1	0	1	0
3	37	2	0	1	1	0	0	1
	38	4	1	0	1	1	0	0
	39	6	1	1	1	0	1	0
4	40	2	1	0	1	1	0	0
	41	4	1	0	1	0	1	0
	42	6	1	0	1	0	1	0
5	43	2	1	0	1	1	0	0
	44	4	0	1	1	0	0	1
	45	6	1	0	1	1	0	0
6	46	2	0	1	1	0	0	1
	47	4	0	1	1	0	0	1
	48	6	0	1	1	0	0	1
7	49	2	0	1	1	0	0	1
	50	4	0	1	1	0	0	1
	51	6	1	0	1	0	1	0
8	52	2	1	0	1	1	0	0
	53	4	1	1	1	0	1	0
	54	6	1	0	1	0	1	0
9	55	2	1	0	1	0	1	0
	56	4	1	0	1	1	0	0
	57	6	1	0	1	0	1	0
10	58	2	1	0	1	1	0	0
	59	4	1	0	1	1	0	0
	60	6	1	0	1	1	0	0

Tab. 2: Rohdaten der histologischen Auswertung der Gruppe 2.

Gruppe 3								
Zahn	Präparatnummer	Schnittebene [mm]	Aufbereitung	Detritus	Füllungsmaterial	Homogenität		
						homogen	homogen mit Blasen	inhomogen
1	61	2	1	0	1	1	0	0
	62	4	1	1	1	0	1	0
	63	6	1	0	1	0	1	0
2	64	2	0	1	1	0	0	1
	65	4	1	1	1	0	0	1
	66	6	1	0	1	0	0	1
3	67	2	1	0	1	0	1	0
	68	4	1	0	1	1	0	0
	69	6	1	0	1	0	1	0
4	70	2	0	1	1	0	0	1
	71	4	1	0	1	0	0	1
	72	6	1	0	1	0	0	1
5	73	2	1	0	1	0	1	0
	74	4	1	1	1	0	0	1
	75	6	1	1	1	0	0	1
6	76	2	0	1	1	0	0	1
	77	4	0	1	1	0	0	1
	78	6	0	1	0	0	0	0
7	79	2	0	1	1	0	0	1
	80	4	1	1	1	0	0	1
	81	6	1	1	1	0	1	0
8	82	2	1	1	1	0	0	1
	83	4	1	1	1	1	0	0
	84	6	0	1	1	1	0	0
9	85	2	0	1	1	0	0	1
	86	4	1	0	1	0	0	1
	87	6	1	0	1	0	1	0
10	88	2	0	1	1	0	0	1
	89	4	0	1	1	0	0	1
	90	6	0	0	1	0	1	0

Tab. 3: Rohdaten der histologischen Auswertung der Gruppe 3.

Gruppe 4								
						Homogenität		
Zahn	Präparatnummer	Schnittebene [mm]	Aufbereitung	Detritus	Füllungsmaterial	homogen	homogen mit Blasen	inhomogen
1	n.v.	2	n.v.			n.v.		
	91	4	1	0	1	1	0	0
	92	6	1	0	1	0	1	0
2	93	2	1	1	1	0	1	0
	94	4	1	0	1	1	0	0
	95	6	1	1	1	1	0	0
3	96	2	1	0	1	1	0	0
	97	4	1	0	1	1	0	0
	98	6	1	0	1	1	0	0
4	99	2	1	1	1	1	0	0
	100	4	1	1	1	0	1	0
	101	6	1	1	1	1	0	0
5	102	2	1	1	1	0	1	0
	103	4	0	1	1	0	0	1
	104	6	1	0	1	0	1	0
6	105	2	1	1	1	1	0	0
	106	4	1	1	1	0	1	0
	107	6	1	1	1	0	1	0
7	108	2	1	0	1	0	1	0
	109	4	1	0	1	0	1	0
	110	6	1	0	1	0	1	0
8	111	2	1	0	1	1	0	0
	112	4	1	1	1	1	0	0
	113	6	1	0	1	1	0	0
9	114	2	1	1	1	0	0	1
	115	4	1	0	1	0	0	1
	116	6	1	0	1	0	1	0
10	117	2	1	1	1	0	1	0
	118	4	1	1	1	0	1	0
	119	6	1	0	1	1	0	0

Tab. 4: Rohdaten der histologischen Auswertung der Gruppe 4. n.v.: nicht vorhanden.

Gruppe 5								
						Homogenität		
Zahn	Präparatnummer	Schnittebene [mm]	Aufbereitung	Detritus	Füllungsmaterial	homogen	homogen mit Blasen	inhomogen
1	120	2	1	0	1	0	0	1
	121	4	1	0	1	0	0	1
	122	6	1	0	1	0	0	1
2	123	2	1	0	1	0	1	0
	124	4	1	1	1	0	1	0
	125	6	1	0	1	0	0	1
3	126	2	1	0	1	0	0	1
	127	4	0	1	1	0	0	1
	128	6	1	1	1	0	0	1
4	129	2	1	0	1	1	0	0
	130	4	1	0	1	1	0	0
	131	6	1	0	1	1	0	0
5	132	2	0	0	1	0	0	1
	133	4	0	0	1	0	0	1
	134	6	1	0	1	0	0	1
6	135	2	0	1	0	0	0	0
	136	4	0	1	0	0	0	0
	137	6	0	1	1	0	0	1
7	138	2	1	0	1	1	0	0
	139	4	1	1	1	0	0	1
	140	6	0	1	1	0	0	1
8	141	2	1	0	1	1	0	0
	142	4	1	1	1	0	0	1
	143	6	1	1	1	0	0	1
9	144	2	1	0	1	1	0	0
	145	4	1	1	1	0	0	1
	146	6	1	1	1	0	0	1
10	147	2	1	1	1	0	0	1
	148	4	1	1	1	0	0	1
	149	6	1	1	1	0	1	0

Tab. 5: Rohdaten der histologischen Auswertung der Gruppe 5.

Gruppe 6								
						Homogenität		
Zahn	Präparatnummer	Schnittebene [mm]	Aufbereitung	Detritus	Füllungsmaterial	homogen	homogen mit Blasen	inhomogen
1	150	2	0	1	1	0	0	1
	151	4	1	0	1	0	0	1
	152	6	1	0	1	0	0	1
2	153	2	1	0	1	0	1	0
	154	4	1	1	1	0	1	0
	155	6	1	1	1	0	0	1
3	156	2	1	1	1	0	0	1
	157	4	1	1	1	0	0	1
	158	6	0	0	1	1	0	0
4	159	2	1	0	1	1	0	0
	160	4	1	0	1	0	1	0
	161	6	1	0	1	0	0	1
5	n.v.	2	n.v.		n.v.		n.v.	
	162	4	1	0	1	1	0	0
	163	6	1	0	1	0	1	0
6	164	2	1	0	1	1	0	0
	165	4	1	0	1	1	0	0
	166	6	1	1	1	0	1	0
7	167	2	1	1	1	0	1	0
	168	4	1	1	1	0	0	1
	169	6	1	0	1	0	0	1
8	170	2	0	1	1	0	1	0
	171	4	1	1	1	0	0	1
	n.v.	6	n.v.		n.v.		n.v.	
9	172	2	0	1	1	0	0	1
	173	4	0	1	1	0	0	1
	174	6	1	0	1	0	1	0
10	175	2	1	1	1	0	1	0
	176	4	0	1	1	0	0	1
	177	6	0	1	1	0	0	1

Tab. 6: Rohdaten der histologischen Auswertung der Gruppe 6.n.v.: nicht vorhanden

Gruppe 7								
						Homogenität		
Zahn	Präparatnummer	Schnittebene [mm]	Aufbereitung	Detritus	Füllungsmaterial	homogen	homogen mit Blasen	inhomogen
1	178	2	1	0	1	0	1	0
	179	4	1	0	1	0	1	0
	180	6	1	0	1	0	1	0
2	181	2	1	0	1	1	0	0
	182	4	1	0	1	1	0	0
	183	6	1	0	1	1	0	0
3	184	2	1	0	1	0	1	0
	185	4	1	0	1	0	0	1
	186	6	1	0	1	0	0	1
4	187	2	0	0	1	0	0	1
	188	4	1	0	1	0	1	0
	189	6	1	0	1	0	1	0
5	190	2	1	0	1	0	1	0
	191	4	1	0	1	0	1	0
	192	6	1	0	1	0	1	0
6	193	2	1	0	1	1	0	0
	194	4	1	0	1	1	0	0
	195	6	1	0	1	1	0	0
7	196	2	1	1	1	0	1	0
	197	4	0	0	1	0	0	1
	198	6	1	0	1	0	1	0
8	199	2	1	1	0	0	0	0
	200	4	1	0	1	0	1	0
	201	6	1	1	1	0	0	1
9	202	2	1	1	1	0	0	1
	203	4	1	1	1	0	0	1
	204	6	1	0	1	0	1	0
10	205	2	1	1	1	0	0	1
	206	4	1	1	1	0	1	0
	207	6	1	1	1	0	1	0

Tab. 7: Rohdaten der histologischen Auswertung der Gruppe 7.

Gruppe 8								
						Homogenität		
Zahn	Präparatnummer	Schnittebene [mm]	Aufbereitung	Detritus	Füllungsmaterial	homogen	homogen mit Blasen	inhomogen
1	208	2	1	0	1	0	0	1
	209	4	1	0	1	0	1	0
	210	6	1	0	1	1	0	0
2	211	2	1	1	1	1	0	0
	212	4	1	0	1	0	1	0
	213	6	1	0	1	0	1	0
3	214	2	1	0	1	0	0	1
	215	4	1	0	1	1	0	0
	216	6	1	0	1	1	0	0
4	217	2	1	0	1	0	1	0
	218	4	1	0	1	0	0	1
	219	6	1	0	1	0	0	1
5	220	2	1	1	1	0	0	1
	221	4	1	0	1	0	1	0
	222	6	1	0	1	1	0	0
6	223	2	1	0	1	0	1	0
	224	4	1	0	1	1	0	0
	225	6	0	0	1	0	1	0
7	226	2	0	1	1	0	0	1
	227	4	1	1	1	0	1	0
	228	6	1	1	1	0	1	0
8	229	2	1	0	1	0	0	1
	231	4	1	1	1	0	1	0
	232	6	1	1	1	0	1	0
9	233	2	1	0	1	0	0	1
	234	4	1	0	1	1	0	0
	235	6	1	0	1	1	0	0
10	236	2	1	0	0	0	0	0
	237	4	1	1	1	0	0	1
	238	6	1	1	1	0	0	1

Tab. 8: Rohdaten der histologischen Auswertung der Gruppe 8.

7.2 Tabellen der röntgenologischen Auswertung

Gruppe 1		Gruppe 2		Gruppe 3		Gruppe 4	
<i>vestibulär/oral</i>	<i>mesial/distal</i>	<i>vestibulär/oral</i>	<i>mesial/distal</i>	<i>vestibulär/oral</i>	<i>mesial/distal</i>	<i>vestibulär/oral</i>	<i>mesial/distal</i>
87,73	88,04	100,00	99,42	97,64	98,30	96,30	94,86
96,17	92,50	88,19	95,70	100,00	100,00	86,14	91,60
94,87	94,77	98,61	97,69	88,93	77,63	98,62	88,08
97,63	93,07	98,50	99,54	97,68	77,00	92,86	88,05
98,26	98,86	99,19	97,69	84,97	96,53	97,04	88,06
95,31	93,95	97,85	97,72	91,69	44,79	91,90	92,31
89,17	89,24	99,33	100,00	84,30	74,64	93,39	87,10
79,75	69,94	97,30	91,05	100,00	69,02	95,96	90,64
97,15	93,00	99,31	98,57	94,47	67,70	92,84	93,45
98,83	97,42	97,96	96,87	87,45	76,87	95,98	95,30

Tab. 9: Rohdaten Homogenitätsverhältnis der Gruppen 1-4 [%].

Gruppe 5		Gruppe 6		Gruppe 7		Gruppe 8	
<i>vestibulär/oral</i>	<i>mesial/distal</i>	<i>vestibulär/oral</i>	<i>mesial/distal</i>	<i>vestibulär/oral</i>	<i>mesial/distal</i>	<i>vestibulär/oral</i>	<i>mesial/distal</i>
92,75	91,50	100,00	97,30	100,00	100,00	97,14	95,68
92,29	87,79	87,00	90,14	100,00	100,00	100,00	90,15
100,00	100,00	98,16	97,97	92,74	92,55	84,62	91,53
85,20	88,44	99,10	95,06	100,00	100,00	84,42	81,99
95,94	100,00	98,17	97,39	97,31	95,61	97,62	91,33
90,93	56,17	95,94	95,80	100,00	100,00	100,00	95,22
94,42	97,99	93,89	93,78	95,34	100,00	95,54	90,24
93,89	88,05	100,00	98,00	99,78	99,48	94,42	95,25
93,40	96,69	91,13	92,76	98,51	99,11	85,28	91,65
91,83	86,58	91,19	93,70	94,30	95,07	91,02	81,11

Tab. 10: Rohdaten Homogenitätsverhältnis der Gruppen 5 – 8 [%].

Gruppe 1	Gruppe 2	Gruppe 3	Gruppe 4	Gruppe 5	Gruppe 6	Gruppe 7	Gruppe 8
-1,46	-0,61	-0,45	-0,67	0,00	-0,91	-0,61	-0,30
-1,50	-0,48	-0,48	-0,55	-0,24	-0,80	-0,73	-0,49
0,00	-0,24	-0,13	-1,65	-0,91	-0,85	-1,46	-0,85
0,00	-0,55	-1,28	-1,90	-0,91	-0,61	-0,37	-0,98
0,00	-1,28	-0,46	0,30	-1,70	-1,22	-0,73	-1,83
-0,12	-1,28	-1,30	-0,06	-1,65	-1,10	-0,73	-1,70
-0,43	-0,30	-1,30	-0,67	-1,03	-0,49	-0,85	-0,61
0,00	-0,24	-0,30	-0,91	-0,91	-0,49	-0,73	-0,73
0,00	-0,12	-0,18	0,00	-0,30	-0,42	-1,83	-0,85
0,00	0,36	-1,70	0,00	0,00	-0,37	-1,59	-1,03
0,12	-1,34	-1,24	-1,46	-2,31	-0,91	-0,49	-1,22
0,00	-1,34	-0,38	-1,59	-2,20	-0,37	-0,49	-1,10
-0,98	0,55	-1,22	-0,49	-0,61	-1,22	-0,91	-1,34
-0,61	0,60	-1,08	-0,55	0,00	-1,10	-1,10	-1,22
-1,10	-0,98	-0,88	-1,46	0,12	-1,34	-2,38	-0,42
-0,98	-1,03	-1,23	-1,10	-0,18	-1,10	-2,20	-0,73
-1,34	-0,73	-1,18	-0,12	-0,85	-0,42	-2,44	-2,56
-1,46	-0,49	-0,30	-0,18	-0,85	-0,49	-2,25	-2,07
-0,73	-0,98	-0,30	-0,80	-0,30	-0,61	-0,80	-1,83
-1,22	-0,98	n.v.	-0,61	-0,24	-0,61	0,49	-1,95

Tab. 12: Rohdaten Distanz der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex [mm].

n.v.: nicht vorhanden

7.3 Tabellen zur statistischen Auswertung

7.3.1 Statistische Auswertung der Gruppen 1-8

zum Bewertungskriterium „Homogenitätsverhältnis“

ONEWAY ANOVA

RANK of trans1

	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	15201,900	7	2171,700	5,699	,000
Innerhalb der Gruppen	27438,600	72	381,092		
Gesamt	42640,500	79			

Tab. 13: Einfaktorielle Varianz-Analyse (ANOVA) für das Homogenitätsverhältnis in den Gruppen 1-8.

Index1	N	Untergruppe für Alpha=0,05	
		1	2
3	10	20,60000	
8	10	31,35000	31,35000
4	10	31,60000	31,60000
5	10	33,65000	33,65000
1	10	37,60000	37,60000
6	10	46,75000	46,75000
2	10		59,25000
7	10		63,20000
Signifikanz		0,272	0,082

Tab. 14: Post-hoc-Auswertung (Scheffé-Prozedur) für das Untersuchungskriterium „Homogenitätsverhältnis“ der Gruppen 1-8. Verdeutlicht wird die statistische Signifikanz für das Bewertungskriterium „Homogenitätsverhältnis“. Die Gruppen 2 und 7 konnten signifikant bessere Ergebnisse erzielen als die Gruppe 3 (Signifikanz $p < 0,05$). Die übrigen Gruppen 1, 4, 5, 6 und 8 zeigen keine signifikanten Unterschiede zu den Gruppen 2, 3 und 7.

7.3.2 Statistische Auswertung der Gruppen 1-8 zum Bewertungskriterium Distanz Wurzelfüllung - röntgenologischer Apex

ONEWAY ANOVA

RANK of trans1

	Quadrat-summe	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Zwischen den Gruppen	29635,149	7	4233,593	2,097	,047
Innerhalb der Gruppen	304852,851	151	2018,893		
Gesamt	334488,000	158			

Tab.15: Einfaktorielle Varianz-Analyse (ANOVA) für die Distanz der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex in den Gruppen 1-8.

Index1	N	Untergruppe für Alpha = .05.
		1
Gruppe 8	20	54,35000
Gruppe 7	20	62,72500
Gruppe 3	19	78,84211
Gruppe 6	20	80,65000
Gruppe 4	20	86,22500
Gruppe 5	20	88,75000
Gruppe 2	20	92,60000
Gruppe 1	20	95,80000
Signifikanz		,302

Tab. 16: Post-hoc-Auswertung (Scheffé-Prozedur) für das Untersuchungskriterium „Distanz WF-röntgenologischer Apex“ für die Gruppen 1-8. Die statistische Auswertung ergab, dass innerhalb der Gruppen 1-8 keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Bewertungskriteriums „Distanz der Wurzelkanalfüllung zum röntgenologischen Apex“ ausgemacht werden konnten.

8 Literaturverzeichnis

1. Alam MS, Bashar AK, Begumr JA, Kinoshita JI.

A study on FlexMaster: a Ni-Ti rotary engine driven system for root canal preparation.
Mymensingh Med J 2006; 15: 135-141

2. Andresen V.

Verbesserte Methoden der Wurzelbehandlung.
Dtsch Mschr Zahnheilk 1912; 30: 200-216

3. Baksi Akdeniz BG, Eyaüboğlu TF, Şen BH, Erdilek N.

The effect of three different sealers on the radiopacity of root fillings in simulated canals.
Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2007; 103: 138-141

4. Baumann MA.

Nickel-titanium: options and challenges.
Dent Clin North Am 2004; 48: 55-67

5. Baumgardner KR, Taylor J, Walton R.

Canal adaptation and coronal leakage: lateral condensation compared to Thermafil.
J Am Dent Assoc 1995; 126: 351-356

6. Baumgartner JC, Brown CL, Mader CK, Peters DD, Shulman JD.

A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite and citric acid.
J Endod 1984; 10: 525-531

7. Beatty RG, Baker PS, Haddix J, Hart F.

The efficacy of four root canal obturation techniques in preventing apical dye penetration.
J Am Dent Assoc 1989; 119: 633-637

8. Beatty RG, Vertucci FJ, Zakariasen KL.

Apical sealing efficacy of endodontic obturation techniques.
Int Endod J 1986; 19: 237-241

9. Beer R.

Die Guttaperchafüllung des gekrümmten Wurzelkanals.

ZWR 1993; 102: 413-420

10. Bortnick KL, Steiman HR, Ruskin A.

Comparison of nickel-titanium file distortion using electric and air-driven handpieces.

J Endod 2001; 27: 57-59

11. Bouillaguet S, Wataha JC, Tay FR, Brackett MG, Lockwood PE.

Initial in vitro biological response to contemporary endodontic sealers.

J Endod 2006; 32: 989-992

12. Brackett MG, Martin R, Sword J, Oxford C, Rueggeberg FA, Tay FR, Pashley DH.

Comparison of Seal After Obturation Techniques Using a Polydimethylsiloxane-Based Root Canal Sealer.

J Endod 2006; 32: 1188-1190

13. Buck RA.

Glass ionomer endodontic sealers- A literature review.

Gen Dent 2002; 50: 365-368

14. Camps J, Pashley D.

Reliability of the dye penetration studies.

J Endod 2003; 29: 592-594

15. Cheung GS, Chan TK.

Long-term survival of primary root canal treatment carried out in a dental teaching hospital.

Int Endod J 2003; 36: 117-128

16. Chohayeb AA.

Comparison of conventional root canal obturation techniques with Thermafil obturators.

J Endod 1992; 18: 10-12

17. Cobankara FK, Adanir N, Belli S, Pashley DH.

A quantitative evaluation of apical leakage of four root-canal sealers.

Int Endod J 2002; 35: 979-984

18. Cobankara FK, Orucoglu H, Sengun A, Belli S.

The Quantitative Evaluation of Apical Sealing of Four Endodontic Sealers.

J Endod 2006; 32: 66-68

19. Czonstkowsky M, Michanowicz A, Vazquez JA.

Evaluation of an injection of thermoplasticized low temperature gutta-percha using radioactive isotopes

J Endod 1985; 11: 71-74

20. De Moor RJ, Hommez GM.

The long-term sealing ability of an epoxy resin root canal sealer used with five gutta percha obturation techniques.

Int Endod J 2002; 35: 275-282

21. DGZMK (Gemeinsame Stellungnahme der DGZ und der DGZMK).

Die Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung.

Dtsch Zahnärztl Z 2005; 60

22. Dietz DB, Di Fiore PM, Bahcall JK, Lautenschlager EP.

Effect of rotational speed on the breakage of nickel-titanium rotary files.

J Endod 2000; 26: 68-71

23. Donath K, Breuner G.

A method for the study of undecalcified bones and teeth with attached soft tissues.

The Sage-Schliff (sawing and grinding) technique.

J Oral Pathol 1982; 11: 318-326

24. Drake DR, Wiemann AH, River EM, Walton RE.

Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer.

J Endod 1994; 20: 78-82

25. Dummer PM, Kelly T, Meghji A, Sheikh I, Vanitchai JT.

An in vitro study of the quality of root fillings in teeth obturated by lateral condensation of gutta-percha or Thermafil obturators.

Int Endod J 1993; 26: 99-105

26. Dummer PM, McGinn JH, Rees DG.

The position and topography of the apical canal constriction and apical foramen.

Int Endod J 1984; 17: 192-198

27. Economides N, Panagiotus B, Kolokouris I, Gogos C, Kokorikos I.

Comparative Study of the Sealing Ability of a Polydimethylsiloxane-based Root Canal Sealer.

Braz Dent J 2005; 16: 145-148

28. ElDeeb M, Zucker KJ, Messer H.

Apical leakage in relation to radiographic density of Gutta-percha using different obturation techniques.

J Endod 1985; 11: 25-29

29. Eldeniz AU, Mustafa K, Ørstavik D, Dahl JE.

Cytotoxicity of new resin-, calcium hydroxide- and silicone-based root canal sealers on fibroblasts derived from human gingiva and L929 cell lines.

Int Endod J 2007; 40: 329-337

30. Europäische Gesellschaft für Endodontologie.

Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology.

Int Endod J 2006; 39: 921-930

31. Geiß S.

Die Wurzelkanalfüllung mit einem Guttapercha-Sealer: eine In-vitro-Studie.

Med Diss, Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (2004)

32. Gençoglu N, Samani S, Gunday M.

Dentinal wall adaptation of thermoplasticized guttapercha in the absence or presence of smear-layer: a scanning electron microscop study.

J Endod 1993; 19: 558-562

33. Gençoglu N, Sener G, Omurtag GZ, Tozan A, Uslu B, Arbak S.

Comparison of biocompatibility and cytotoxicity of two new root canal sealers.

Int Endod J 2005; 38: 943

34. Gençoglu N, Türkmen C, Ahiskali R.

A new silicon-based root canal sealer (RoekoSeal-Automix).

J Oral Rehabil 2003; 30: 753-755

35. Gerling ER.

Klinische In-vitro-Untersuchung der Dichtigkeit von RSA RoekoSeal Automix im Vergleich zu AH Plus und Sealapex.

Med Diss, Ludwig-Maximilians Universität München (2005)

36. Geurtsen W, Leyhausen G.

Biological aspects of root canal filling materials – histocompatibility, cytotoxicity and mutagenicity.

Clin Oral Invest 1997; 1: 5-11

37. Gilbert SD, Witherspoon DE, Berry CW.

Coronal leakage following three obturation techniques.

Int Endod 2001; 34: 293-299

38. Goodman A, Schilder H, Aldrich W.

The thermomechanical properties of gutta-percha.II.The history and molecular chemistry of gutta-percha.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1974; 37: 945-961

39. Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM.

Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation.

Int Endod J 2005; 38: 743-752

40. Guldener PHA.

Endodontie: Wurzelkanalaufbereitung und -füllung.

Schweiz Mschr Zahnmed 1989; 99: 1018-1032

41. Guldener PHA, Langeland K.

In: Endodontologie.

Stuttgart – New York: Thieme, 1993: 197-211

42. Heidemann D.

Die Wurzelfüllung – manuell – maschinell.

Dtsch Zahnärztl Z 1989; 44: 414-416

43. Heidemann D.

Endodontie – Praxis der Zahnheilkunde, 4. Auflage.

München Jena: Urban & Fischer, 2001

44. Hoppe W, Heinen JP.

Schärfe-Grenzwerte von Wurzelkanalbohrern und Hedströmfeilen und ihre Bedeutung für die Wurzelkanalaufbereitung.

Dtsch Zahnärztl Z 1983; 38: 209-213

45. Hübscher W, Barbakow F, Peters OA.

Root-canal preparation with FlexMaster: canal shapes analysed by micro-computed tomography.

Int Endod J 2003; 36: 740-747

46. Hülsmann M.

Guttapercha – Geschichte, Chemie, Eigenschaften und Verarbeitung.

Endodontie 1993; 2: 115-125

47. Hülsmann M.

Die Wurzelkanalfüllung mit Silberstiften.

Endodontie 1995; 4: 49-62

48. Hülsmann M.

Risiken und Nebenwirkungen bei der Devitalisierung permanenter Zähne.

Zahnärztl Mitt 1996; 86: 338-345

49. Hülsmann M, Gressmann G, Schäfers F.

A comparative study of root canal preparation using FlexMaster and HERO 642 rotary Ni-Ti instruments.

Int Endod J 2003; 36: 358-366

50. Huumonen S, Lenander-Lumikari M, Sigurdsson A, Ørstavik D.

Healing of apical periodontitis after endodontic treatment: A comparison between a silicone-based and a zinc oxide-eugenol-based sealer.

Int Endod J 2003; 36: 296-301

51. Hsu YY, Kim S.

The ProFile system.

Dent Clin N Am 2004; 48: 69-85

52. Johnson WB.

A new gutta-percha technique.

J Endod 1987; 4: 184-188

53. Kantorowicz A.

Klinische Zahnheilkunde.

Berlin: Hermann Meusser Verlag, 1924

54. Kayaoglu G, Erten H, Alaçam T, Ørstavik D.

Short-term antibacterial activity of root canal sealers towards *Enterococcus faecalis*.

Int Endod J 2005; 38: 483-488

55. Kerekes K, Rowe AH.

Thermo-mechanical compaction of guttapercha root filling.

Int Endod J 1982; 15: 27-35

56. Kersten HW, Wesselink PR, Thoden van Velzen SK.

The diagnostic reliability of the buccal radiograph after root canal filling.

Int Endod J 1987; 20: 20-24

57. Ketterl W.

Instrumentenfrakturen im Wurzelkanal.

Dtsch Zahnärztekalendar, München – Wien: Hanser, 1975

58. Koçkapan C.

Curriculum Endodontie.

Berlin: Quintessenz Verlag, 2003

59. Koort HJ, Frentzen M.

Histological techniques to study laser effects in mineralized tissues.

Proc. SPIE 1993; Vol.1882: 412-421

60. Kuttler Y.

Analysis and Comparison of root canal filling techniques.

Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1979; 48: 153-159

61. Leonardo MR, Almeida WA, da Silva LA, Utrilla LS.

Histological evaluation of the response of apical tissues to glass ionomer and zinc oxide-eugenol based sealers in dog teeth after root canal treatment.

Endod Dent Traumatol 1998; 14: 257-261

62. Lussi A.

Die Reinigung und Obturation des Wurzelkanalsystems ohne konventionelle Instrumente.

Schweiz Mschr Zahnmed 2000; 110: 249-258

63. Lussi A, Nussbächer U, Grosrey J.

A novel noninstrumented technique for cleansing the root canal system.

J Endod 1993; 19: 549-553

64. Lussi A, Suter B, Grosrey J.

Obturation of Root Canals In Vivo with a New Vacuum Technique.

J Endod 1997; 23: 629-631

65. Mannocci F, Ferrari M.

Apical seal of roots obturated with laterally condensed gutta-percha, epoxy resin cement and dentin bonding agent.

J Endod 1998; 24: 41-44

66. Martin M, Huber A, Brunert M, Braun A, Frentzen M.

Drehmomentbegrenztes Winkelstück für Nickel-Titan-Instrumente zur Wurzelkanalaufbereitung.

Quintessenz 2003; 11: 1235-1240

67. McSpadden JT.

Self study course of the thermatic condensation of gutta-percha.

Form no. 33410/80 USA, 1980

68. Merrett SJ, Bryant ST, Dummer PM.

Comparison of the shaping ability of RaCe and FlexMaster rotary nickel-titanium systems in simulated canals.

J Endod 2006; 32: 960-962

69. Michanowicz A, Czonstkowsky M.

Sealing properties of an injection-thermoplasticized low-temperature (70 degrees C) gutta-percha: a preliminary study.

J Endod 1984; 10: 563-566

70. Miletić I, Devčić N, Anić I, Borčić J, Karlović Z, Osmak M.

The Cytotoxicity of RoekoSeal and AH Plus Compared during Different Setting Periods.

J Endod 2005; 31: 307-309

71. Monticelli F, Sadek FT, Schuster GS, Volkmann KR, Looney SW, Ferrari M, Toledano M, Pashley DH, Tay FR.

Efficacy of Two Contemporary Single-cone Filling Techniques in Preventing Bacterial Leakage.
J Endod 2007; 33: 310-313

72. Nagaratna PJ, Shashikiran ND, Subbareddy VV.

In vitro comparison of NiTi rotary instruments and stainless steel hand instruments in root canal preparations of primary and permanent molar.
J Indian Society Ped and Prev Dent 2006; 24: 186-191

73. Nolden R.

Endodontie.
In: Nolden R, Hrsg. Zahnerhaltungskunde.
Stuttgart-New York: Thieme, 1994: 206-270

74. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE.

Dimensional change following setting of root canal sealer materials.
Dent Mater 2001; 17: 512-519

75. Osins BA, Carter PR, Shih-Levine M.

Microleakage of four root canal sealer cements as determined by an electrochemical technique.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1983; 56: 80-88

76. Pascon EA, Spangberg LSW.

In vitro cytotoxicity of root canal filling material.1. Gutta-percha.
J Endod 1990; 16: 429-433

77. Petschelt A, Stumpf B, Raab W.

Dichtigkeit von Wurzelfüllungen mit und ohne Schmierschicht („Smear layer“).
Dtsch Zahnärztl Z 1987; 42: 743-746

78. Pommel L, About I, Pashley D, Camps J.

Apical leakage of four endodontic sealers.
J Endod 2003; 29: 208-210

79. Portmann P, Imwinkelried S, Lussi A.

Obturation quality after four years of storage using the non-instrumentation technique.
Schweiz Mschr Zahnmed 2005; 115: 431-436

80. Pruett JP, Clement DJ, Carnes DL.

Cyclic fatigue testing of nickel-titanium endodontic instruments.
J Endod 1997; 23: 77-85

81. Pyner DA.

Paresthesia of the inferior alveolar nerve caused by Hydron: a case report.
J Endod 1980; 6: 527-528

82. Rappaport HM, Lilly GE, Kapsimalis P.

Toxicity of Endodontic Filling Materials.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1964; 18: 785-802

83. Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R.

Influence of Moisture on the Apical Seal of Root Canal Fillings With Five Different Types of Sealer.
J Endod 2007; 33: 31-33

84. Roggendorf MJ, Ebert J, Schulz C, Petschelt A.

Microleakage Evaluation of Polyvinylsiloxane-based Endodontic Filling Materials Using Various Filling Methods.
The 32nd Annual Meeting and Exhibition of the AADR (March 12-15, 2003)

85. Saad AY, Al-Hadlaq SM, Al-Katheeri NH.

Efficacy of two rotary NiTi instruments in the removal of Gutta-Percha during root canal retreatment.
J Endod 2007; 33: 38-41

86. Sachs W.

Sofortige Wurzelfüllung.
Dtsch Mschr Zahnheilk 1894; 9: 325-334

87. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D.

The effects of dentine pretreatment on the adhesion of root-canal sealers.

Int Endod J 2002; 35: 859-866

88. Sattapan B, Palamara JE, Messer HH.

Torque during canal instrumentation using rotary nickel-titanium files.

J Endod 2000; 26: 156-160

89. Schäfer E.

Wurzelkanalfüllmaterialien.

Dtsch Zahnärztl Z 2000; 55: 15

90. Schäfer E.

Wurzelkanalfüllmaterialien – Ein Überblick (Teil 2)

Endodontie 2002; 11: 55-64

91. Schäfer E, Lohmann D.

Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile—Part 2. Cleaning effectiveness and instrumentation results in severely curved root canals of extracted teeth.

Int Endod J 2002; 35: 514-521

92. Schäfer E, Erlen M, Dammaschke T.

Influence of different types of automated devices on the shaping ability of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments.

Int Endod J 2005; 38: 627-636

93. Schäfer E, Olthoff G.

Effect of Three Different Sealers on the Sealing Ability of Both Thermafil Obturators and Cold Laterally Compacted Gutta-Percha.

J Endod 2002; 28: 638-642

94. Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G.

Comparison of Hand Stainless Steel and Nickel Titanium Rotary Instrumentation: A Clinical Study.

J Endod 2004; 30: 432-435

95. Schäfer E, Tepel J.

Formveränderungen gekrümmter Wurzelkanäle nach standardisierter Aufbereitung.

Dtsch Zahnärztl Z 1993; 48: 653-658

96. Schäfer E, Tepel J, Hoppe W.

Die Schneidleistung von Wurzelkanalinstrumenten bei drehend-schabender Arbeitsweise.

Dtsch Zahnärztl Z 1992; 47: 781-785

97. Schäfer E, Vlassis M.

Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 1. Shaping ability in simulated curved canals.

Int Endod J 2004a; 37: 229-238

98. Schäfer E, Vlassis M.

Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth.

Int Endod J 2004b; 37: 239-248

99. Schilder H.

Filling root canals in three dimensions.

Dent Clin N Am 1974; 11: 723-743

100. Schirrmeister JF, Kielbassa AM.

Apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalsealern auf Calciumphosphat-Basis im Vergleich zu marktüblichen Füllpasten.

Dtsch Zahnärztl Z 2005; 60: 446-456

101. Schirrmeister JF, Kielbassa AM.

Coronal leakage of calcium phosphate-based root canal sealers compared with usual sealers.
Schweiz Mschr Zahnmed 2006; 116: 224-228

102. Schirrmeister JF, Strohl C, Altenburger MJ, Wrbas KT, Hellwig E.

Shaping ability and safety of five different rotary nickel-titanium instruments compared with stainless steel hand instrumentation in simulated curved root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 2006a; 101: 807-813

103. Schirrmeister JF, Wrbas KT, Meyer KM, Altenburger MJ, Hellwig E.

Efficacy of Different Rotary Instruments for Gutta-Percha Removal in Root Canal Retreatment.
J Endod 2006b; 32: 469-472

104. Schneider S.

A comparison of canal preparation in straight and curved root canals.
Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1971; 32: 271-275

105. Schroeder A.

Endodontie. Ein Leitfaden für Studium und Praxis.
Berlin: Quintessenz Verlag, 1981

106. Seltzer S, Green DB, Weiner N, DeRenzis F.

A scanning electron microscope examination of silver cones removed from endodontically treated teeth. 1972
J Endod 2004; 30, 463-474: Discussion 462

107. Serper A, Uçer O, Onur R, Etikan I.

Comparative neurotoxic effects of root canal filling materials on rat sciatic nerve.
J Endod 1998; 24: 592-594

108. Slaus G, Vandenwijngaert S, Bottenberg P.

Qualitätskontrolle von Wurzelkanalfüllungen - eine In-vitro-Studie.
Dtsch Zahnärztl Z 2001; 56: 177

109. Sonntag D, Guntermann A, Kim SK, Stachniss V.

Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary Ni-Ti files performed by students.
Int Endod J 2003; 36: 246-255

110. Stoll R, Stachniss V.

Vertikale Kondensationstechniken für thermisch plastifizierte Guttapercha
Zahnärztl Mitt 2006; 8: 40-44

111. Strindberg LZ.

The dependence of the results of pulp therapy on certain factors; an analytic study based on radiographic and clinical follow-up examination.

Acta Odontol Scand 1956; 14: 82-101

112. Tagger M, Tagger E, Tjan AHL, Bakland LK.

Measurement of adhesion of endodontic sealers to dentin.

J Endod 2002; 28: 351-354

113. Tepel J.

Experimentelle Untersuchung über die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung.

Habilitationsschriften der Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde.

Berlin: Quintessenz Verlag, 2000

114. Thompson SA.

An overview of nickel-titanium alloys used in dentistry.

Int Endod J 2000; 33: 297-310

115. Thompson SA, Dummer PM.

Shaping ability of HERO 641 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 1.

Int Endod J 2000; 33: 248-254

116. Turpin YL, Chaqneau F, Vulcain JM.

Impact of two theoretical cross-sections on torsional and bending stresses of nickel-titanium root canal instrument models.

J Endod 2000; 26: 414-417

117. Unverdorn D, Petschelt A, Hickel R.

Dichte von Wurzelkanalfüllungen.

Dtsch Zahnärztl Z 1992; 47: 486-489

118. Wesselink PR.

Die Wurzelkanalfüllung (I).

Endodontie 1995; 4: 181-192

119. White RR, Goldman M, Sun Lin P.

The influence of the smeared layer upon dentinal tubule penetration by endodontic filling materials. Part II.

J Endod 1987; 13: 369-374

120. Wu MK, Tigos E, Wesselink PR.

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

121. Wu MK, Van der Sluis LWM, Ardila CN, Wesselink PR.

Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques.

Int Endod J 2003; 36: 533-540

122. Youngson CC, Nattress BR, Manogue M, Speirs AF.

In vitro radiographic representation of the extent of voids within obturated root canals.

Int Endod J 1995; 28: 77-81

123. Zand V, Bides M, Ghaziani P, Rahini S, Shahi S.

A comparative SEM investigation of the smear layer following preparation of root canals using nickel-titanium rotary and hand instruments.

J Oral Science 2007; 49: 47-52

124. Zarrabi MH, Bidar M, Jafarzadeh H.

An in vitro comparative study of apically extruded debris resulting from conventional and three rotary (Profile, RaCe, FlexMaster) instrumentation techniques.

J Oral Science 2006; 48: 85-88

9 Danksagungen

Bei Herrn Professor Dr. Matthias Frentzen möchte ich mich ganz besonders für die Überlassung des Themas, die freundliche Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit und die Begutachtung des fertigen Manuskripts herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt auch Frau Lange für die zeitaufwändige Herstellung der histologischen Präparate.

Herrn OA Priv.-Doz. Dr. Andreas Braun danke ich für seine Unterstützung bei der statistischen Auswertung der Ergebnisse.

Ganz besonders möchte ich mich auch bei Herrn Philipp Schwan für seine große Hilfe bei der Arbeit mit den Programmen Word und Excel bedanken.

Meinen Eltern, besonders meinem Vater Peter Heyl, danke ich für die finanzielle Unterstützung zu Studienzeiten ohne die ich nie Zahnärztin hätte werden können.

Zuletzt möchte ich mich ganz herzlich bei meinem Mann Ingo bedanken, der mich während der gesamten Zeit fortwährend motiviert und mir besonders gegen Ende der Arbeiten an der Dissertation durch die Betreuung unserer Tochter Freiraum geschaffen hat.

