

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund- und

Kieferheilkunde

Abteilung für Zahnerhaltungskunde

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. R. Frankenberger

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

**Analyse der koronalen Dichtigkeit unter Verwendung
verschiedener Wurzelkanalsealer mit verschiedenen
Obturationstechniken bei ovalen Wurzelkanälen**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der

Zahnmedizin,

dem Fachbereich der Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Ulrike Decker geb. Zinkler

aus Freiberg

Marburg 2014

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 24.06.2014

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. Helmut Schäfer

Referent: Prof. Dr. Roland Frankenberger

Korreferent: Prof. Dr. Reiner Mengel

Meinen Eltern, meinem Mann Georg und Stephanie gewidmet.

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
1.1	Hintergrund und Ziele	1
1.2	Material und Methode	1
1.3	Ergebnisse.....	2
1.4	Schlussfolgerungen.....	2
2	English Summary	3
2.1	Background and Aims	3
2.2	Methods	3
2.3	Results	4
2.4	Practical conclusion	4
3	Einleitung	5
4	Literaturübersicht	6
4.1	Wurzelkanalanatomie	6
4.2	Wurzelkanalaufbereitung	7
4.3	Wurzelkanalspülungen	11
4.4	Wurzelkanalfüllmaterialien.....	13
4.5	Obturationstechniken	24
5	Ziele der Studie	29
6	Material und Methode	30
6.1	Übersicht der Arbeitsschritte.....	30
6.2	Einteilung der Proben	31
6.3	Aufbereitung und Spülprotokoll	32
6.4	Wurzelkanalfüllung	33
6.5	Farbstoffpenetration	35
6.6	Herstellung der Polyurethansägeblöcke (PUR-Blöcke).....	35
6.7	Dichtigkeitsbewertung.....	36
6.8	Statistische Auswertung	37

7	Ergebnisse	38
8	Diskussion	43
8.1	Diskussion von Material und Methodik	43
8.2	Diskussion der Ergebnisse	55
8.3	Klinische Ausblicke	59
9	Literaturverzeichnis	61
10	Abkürzungsverzeichnis	78
11	Abbildungsverzeichnis	79
12	Tabellenverzeichnis	80
13	Anhang	81
13.1	Materialverzeichnis	81
13.2	Statistik	83
14	Danksagung	95
15	Verzeichnis der akademischen Lehrer	96

1 Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Ziele

Entscheidend für den langfristigen Erfolg einer endodontischen Behandlung ist ein möglichst dichter koronaler Verschluss. Ziel der Untersuchung war es, verschiedene Sealer kombiniert mit verschiedenen Obturationstechniken auf Dichtigkeit im koronalen Anteil von ovalen Wurzelkanälen zu prüfen und dies anhand von Messungen der Penetrationstiefen darzustellen.

1.2 Material und Methode

84 in 0,5-prozentiger Chloramin-T-Lösung gelagerte menschliche Zähne (Frontzähne des Unterkiefers und Prämolaren des Ober- und Unterkiefers) wurden in 8 Gruppen (n=10) unterteilt, wobei als Fülltechniken die Non compaction-Technik, die Single-cone-Technik, die Lateralkompaktion und die *Thermafil*-Technik (Dentsply) mit den jeweiligen Sealern *GuttaFlow* (Roeko) und *Apexit Plus* (Ivoclar Vivadent) kombiniert wurden. Vier Zähne dienten als Positiv- und Negativkontrolle des Tests. Aufbereitet wurden die Zähne maschinell mittels des *FlexMaster*-Systems sowie Feilinstrumenten bis zur Größe .04 #45. Anschließend wurden die Eingänge der Wurzelkanäle mit schallbetriebenen *Sonicsys*-Endospitzen (Kavo) erweitert und die Kanäle manuell mit Hedströmfeilen der Größe .02 #35 oval erweitert. Nach der Aufbereitung wurde anschließend eine Wechselspülung mit 40-prozentiger Zitronensäure und 5-prozentigem Natriumhypochlorit durchgeführt (2ml), die Abschlusspülung erfolgte mit 70-prozentigem Alkohol (1ml). Die Wurzelkanäle wurden folgend mit Guttaperchaspitzen und mit jeweils einem der beiden genannten Sealern mithilfe einer der vier genannten Techniken obturiert. Anschließend wurden die Zähne zur Aushärtung der Wurzelfüllung für eine Woche bei 37°C und einer Luftfeuchtigkeit von 100% gelagert. Nun erfolgte die komplette Versiegelung der Zähne mit Nagellack. Die Farbstoffpenetration der 80 Zähne wurde mit 5-prozentigem Methyleneblau (3ml/ 3min) in einer Zentrifuge mit 400 U/min vorgenommen. Nach der Färbung wurden die Zähne gruppenweise in Epoxidharz

eingebettet und davon Serienschnitte hergestellt. Die Auswertung der Schnitte erfolgte mit einem Stereomikroskop durch drei unabhängige Untersucher. Für die statistische Analyse wurde das Programm *SPSSwin 11.0* (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) verwendet.

1.3 Ergebnisse

Bezüglich der verschiedenen Fülltechniken schnitt in dieser Untersuchung *Thermafil* in Kombination mit *Apexit Plus* verglichen mit den anderen drei Fülltechniken signifikant schlechter ab. Die Single-cone-, die Lateralkompaktions- und die Non-compaction-Technik wiesen keine entscheidenden Unterschiede auf. Bezüglich der Sealer schnitt *GuttaFlow* tendenziell besser ab als *Apexit Plus*. Das beste Anwendungsergebnis zeigte sich bei der Verwendung von *GuttaFlow* in Kombination mit der Single-cone-Technik. Bei *Apexit Plus* erbrachte die Lateralkompaktion die besten Ergebnisse.

1.4 Schlussfolgerungen

Der guttaperchahaltige Sealer *GuttaFlow* zeigte sich als sehr praktisch in der Anwendung (Dosierkapsel mit *Canal Tip* zur genauen Applikation) und wies im Vergleich mit dem calciumhydroxidhaltigen *Apexit Plus* bei drei von vier untersuchten Techniken die besseren Ergebnisse auf, allenfalls bei der Lateralkompaktion zeigte *Apexit Plus* nicht-signifikant bessere Werte. Das System *Thermafil* sollte laut dieser Untersuchung besser nur in Verbindung mit *GuttaFlow* angewendet werden. Unterschiede zwischen der leichter zu handhabenden Zentralstifttechnik (Single-cone) und den aufwendigeren Nebenstifttechniken (Lateralkompaktion und Non-compaction) existieren kaum, sodass die schnellere und einfachere Methode genauso empfehlenswert ist wie die komplizierteren Techniken.

2 English Summary

2.1 Background and Aims

Critical to the long-term success of endodontic treatment is a possible coronal tight seal. The aim of the study was to combine several different obturation techniques with different sealing materials to examine the tightness of the coronal portion at oval root canals and to constitute its measurements of the penetration depths.

2.2 Methods

80 in 0.5% aqueous chloramine-T solution stored human teeth (incisors of the lower jaw and molars of the maxilla and mandible) were placed in 8 groups (n = 10) divided. Every group was filled with another filling technique, named non compaction, single-cone, lateral condensation and *Thermafil* (Dentsply) and the two respective sealers *GuttaFlow* (Roeko) and *Apexit Plus* (Ivoclar Vivadent). The teeth were prepared mechanically using the *FlexMaster*-system and files up to size .04 #45. Subsequently, the entries of the root canals were expanded with sound-powered *SonicSys* points (Kavo) and after this the oval shape of the root canals was prepared manually with the help of Hedstroem-files up to size .02 #35. After the preparation was then an alternating irrigation with 40% citric acid and 5% sodium hypochlorite performed (2ml), the final irrigation was done with 70% alcohol (1ml). The root canals were obturated with guttapercha points and with one of these two sealers using one of the four mentioned techniques. The teeth were stored for curing the root canal filling for a week at 37 °C and a humidity of 100%. The complete sealing of the teeth with nail polish followed. The dye penetration of the 80 teeth was done (3ml/3min) with 5% methylene blue in a centrifuge at 400 r.p.m. After staining the groups of teeth were embedded in epoxy resin and serial sections were made of it. The evaluation of the sections was performed using a stereo microscope by three independent examiners. For statistical analysis, the program *SPSSwin 11.0* (SPSS Inc., Chicago, IL, USA) was used.

2.3 Results

Regarding the various filling techniques which were examined in this study the sealer *Apexit Plus* combined with the technique *Thermafil* resulted in significantly worse in comparison with the other three filling techniques. Single-cone, lateral condensation and non compaction showed no significant differences. Just regarding the sealers *GuttaFlow* tend to be better than *Apexit Plus*. The best application result was seen in the use of *GuttaFlow* in combination with the single-cone technique. *Apexit Plus* showed the best results in use with lateral condensation.

2.4 Practical conclusion

The gutta-percha containing sealer *GuttaFlow* proved to be very practical to use (cap with canal tip for precise application) and showed in comparison with the calcium hydroxide containing *Apexit Plus* in three out of four tested techniques to get a better result. Only the lateral condensation *Apexit Plus* showed a not significantly better value. According to this study the system *Thermafil* should better be used in conjunction with *GuttaFlow*. Differences between the easier-to-use masterpoint techniques (single-cone) and the more expensive side-point techniques (lateral condensation and non compaction) hardly exist, so the faster and easier methods are recommended as well as the more complicated techniques.

3 Einleitung

Eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung bestimmt maßgebend die Überlebenswahrscheinlichkeit eines Zahnes. So können 10 Jahre nach einer erfolgreichen Behandlung noch 93% der Zähne erhalten werden [32]. Abhängig von der Anatomie der Zähne kann sich der Erfolg leichter oder schwieriger einstellen. Ein bakteriendichter Verschluss stellt die Voraussetzung für einen langfristigen Behandlungserfolg dar. Um dieses Ziel zu erreichen ist es entscheidend gute Kenntnisse über Fülltechniken und Materialien zu besitzen. Als optimale Wurzelfüllung wird heutzutage die Kombination aus solidem (Stift) und semisolidem (Sealer) Anteil betrachtet. Wurzelfüllstifte aus Silber gelten als kontraindiziert, als weitverbreitetstes und am besten untersuchtes Stiftmaterial gilt Guttapercha [5]. Auf dem internationalen Markt existiert eine Vielzahl von Sealern, meist auf Basis von Epoxidharz, Zinkoxideugenol, Glasionomercement, Calciumhydroxid-Salicylaten oder Silikon. Es werden bestimmte Anforderungen an die Füllmaterialien gestellt, dazu zählen Biokompatibilität, leichte Anwendbarkeit und Dimensionsstabilität. Für das Einbringen der Wurzelfüllstifte und Sealer haben sich verschiedene Techniken entsprechend der Wurzelkanalanatomie bewährt [92]. Zu nennen sind Kalt- und Heißfülltechniken, wie z.B. Lateralkompaktion, Zentralstifttechnik und *Thermafil*.

In der vorliegenden Untersuchung sollte der Zusammenhang zwischen Sealer und Wurzelfülltechnik bei oval geformten Wurzelkanälen beleuchtet werden. Verwendet wurden der silikonbasierte Sealer *GuttaFlow* und der calciumhydroxidbasierte Sealer *Apexit Plus* in Kombination mit den vier genannten Techniken. Die zur Untersuchung ausgewählten Zähne wurden neben der maschinellen Aufbereitung zusätzlich manuell nachgefeilt, um das Vorhandensein ovaler Wurzelkanäle besonders zu betonen. Es sollte ermittelt werden, welche Methode in Kombination mit welchem Sealer die beste Wurzelkanalfüllung für ovale Wurzelkanäle darstellt.

4 Literaturübersicht

4.1 Wurzelkanalanatomie

Der Erfolg einer endodontischen Behandlung ist multifaktoriell bedingt, als wichtige Faktoren seien der Aufbau und Querschnitt der Wurzelkanäle zu nennen. Ovale Wurzelkanalquerschnitte finden sich typischerweise bei Inzisiven und Caninen des Unterkiefers, den zweiten Inzisiven und Caninen des Oberkiefers sowie bei einwurzeligen und einkanaligen ersten Oberkiefer- Prämolaren [44]. Die Schwierigkeit der ovalen Kanalanatomie besteht in der Kanalaufbereitung mit Instrumenten deren Querschnitt rund ist, vor allem aber in der Aufbereitung des apikalen Kanaldrittels. Verschiedene Aufbereitungssysteme wie *Anatomic Endodontic Technology* (Ultradent Products Inc., Utah, USA), rotierende Nickel-Titan-Systeme wie *EndoWave* (Morita, Osaka, Japan) und konventionelle Handinstrumente zeigen diesbezüglich keine signifikanten Unterschiede [120], also weder maschinelle noch manuelle Systeme erreichen völlig zufriedenstellende Ergebnisse. Häufig kommt es durch die Kanalanatomie zu unterinstrumentierten Stellen an der Kanalwand. Auch bei gängigen Kaltfüllmethoden, wie der Lateralkompaktion, kommt es an diesen, vom Aufbereitungsinstrument nicht bearbeiteten, Stellen zusätzlich noch zu Hohlräumen in der Wurzelkanalfüllung [137]. Da bei der endodontischen Behandlung die Notwendigkeit besteht, einen weitgehend gereinigten Wurzelkanal zu erhalten, muss dieser mechanisch und chemisch von Geweberesten, Mikroorganismen und Bakterientoxinen befreit werden. In mehr als 70% der Fälle sind im apikalen Bereich deltaförmige Aufgabelungen des Hauptwurzelkanals (apikale Ramifikationen, apikales Delta) vorhanden [44, 83]. Seitenkanäle, die im koronalen oder mittleren Wurzeldrittel den Hauptwurzelkanal verlassen, verlaufen als laterale oder sekundäre Kanäle meist horizontal. Sie kommen bei etwa 70% aller Zähne vor, wobei sie an Frontzähnen seltener als bei Molaren auftreten [44]. Somit liegt eine der großen Herausforderungen darin, das Wurzelkanalsystem bei der Wurzelkanalbehandlung vollständig zu desinfizieren [56].

4.2 Wurzelkanalaufbereitung

Die sorgsame Aufbereitung des Wurzelkanals stellt die Grundvoraussetzung für eine erfolgreiche endodontische Behandlung dar. Hauptziel ist die optische Beseitigung des bakteriell besiedelten Gewebes innerhalb des gesamten Wurzelkanals. Zum Erreichen dieses Ziels empfiehlt sich die chemo-mechanische Aufbereitung, eine Kombination aus instrumenteller, entweder mit manuellen oder maschinellen Instrumenten geführte Methode, und chemischer, hierbei genannt wirksame Spüllösungen, Aufbereitungsmethode [127]. Seit Mitte der fünfziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts sind die auf dem Markt erhältlichen Instrumente ISO-standardisiert [58]. In der ISO-Normierung 3630-1 sind die Maße und Abweichungstoleranzen für Räumern, Feilen, Exstirpationsnadeln etc. exakt festgelegt (International Organization for Standardization). Hierbei werden Feilen und Räumern über Durchschnitt und Länge standardisiert. Anhand des Durchmessers d_1 wird die ISO-Größe des Instrumentes festgelegt. Die Länge der Instrumente, von der Spitze bis zum Handgriff, beträgt 21, 25 oder 31 mm. Das Arbeitsteil misst 16 mm. K-Feilen und H-Feilen sind in den ISO Größen von 06 bis 140 verfügbar. Diese Größen geben den Durchmesser an der Spitze des Instrumentes an. Weiterhin gibt es Instrumente unterschiedlicher Konizität. Der sogenannte Taper gibt die Dickenzunahme pro Millimeter Längenzunahme des Arbeitsteiles, an. Es existieren Konizitäten von 2,4 und 6 Prozent, was einer Durchmesserzunahme von 0,02, 0,04 und 0,06 mm pro mm Arbeitsteil entspricht. Ebenfalls über die oben genannte ISO-Norm standardisiert werden Farbkodierung und Identifikationssymbole für die jeweiligen Instrumente [67].

4.2.1 Instrumentelle Aufbereitung

Nach Trepanation und Exstirpation der Pulpa eines endodontisch zu behandelnden Zahnes schließt sich dessen instrumentelle Aufbereitung an. Diese kann manuell als auch maschinell erfolgen. Beide Methoden dienen des vorrangigen Ziels infiziertes Gewebe zu entfernen und den Wurzelkanal für die vorgesehene Wurzelfüllung aufzubereiten.

4.2.2 Manuelle Aufbereitung

Die manuelle Aufbereitung stellt die konventionelle Methode zur Aufbereitung des Wurzelkanals dar. Die Aufbereitungsergebnisse hängen stark von der Routine und Vertrautheit des Zahnarztes mit dem jeweiligen Aufbereitungssystem ab, weniger von den eingesetzten Instrumenten oder Aufbereitungstechniken [25]. Zu den Standardinstrumenten der Handinstrumente gehören Exstirpationsnadeln („Nervnadeln“), K-Reamer, K-Feilen und Hedströmfeilen (Abbildung 1). Die sogenannten Nervnadeln sind mit kleinen Haken versehen und dienen der Exstirpation der Pulpa aus dem Wurzelkanal. K-Reamer und K-Feilen bestehen aus Stahl und werden durch Verdrillen oder Herausfräsen ihrer drei- oder viereckigen Rohlinge hergestellt. Die Unterscheidung von K-Reamer und K-Feile erfolgt über die Anzahl der Windungen pro Längeneinheit, sodass je nach Stärke des Instrumentes Reamer 8-16 und Feilen 24-36 Schneiden aufweisen. Der Schneidekantenwinkel beträgt für Reamer 10-30°, für Feilen 25-40°. Hedströmfeilen werden aus runden Rohlingen durch Herausfräsen hergestellt. Die Anzahl der Schneiden beträgt etwa 14-31, der Winkel der Schneidekante bewegt sich zwischen 60-65° [44].

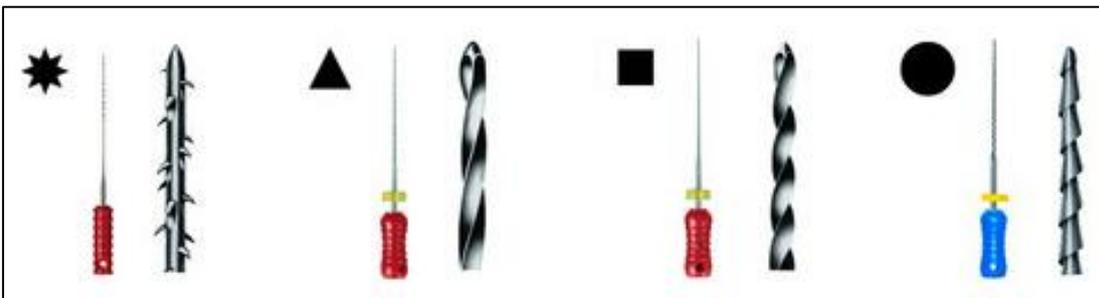


Abbildung 1: Grundformen des endodontischen Instrumentariums mit jeweiligem Identifikationssymbol (VDW) [80]

Aufgrund ihres unterschiedlichen Schneidekantenwinkels werden die Instrumente auch verschieden angewandt, d.h. je größer der Winkel, desto mehr wird von einer drehenden auf eine feilende oder ziehende Bewegung übergegangen, um einen möglichst effektiven Materialabtrag zu erzielen. Ebenso wie die Handinstrumente aus Stahl existieren auf dem Markt Reamer und Feilen aus einer Nickel-Titan Legierung („Nitinol“). Diese sind flexibler und deshalb für gekrümm-

te Kanäle besser geeignet, weisen aber eine geringere Schneideleistung auf [5].

4.2.3 Maschinelle Aufbereitung

Die Anforderungen und Ziele an eine maschinelle Aufbereitung stellen die gleichen, wie bei der manuellen Aufbereitung dar [31], so z.B. die Entfernung des nekrotischen Pulpagewebes und die Eliminierung der Mikroorganismen, Beibehalt des ursprünglichen Kanalverlaufs, sichere Anwendbarkeit der Instrumente etc. Die maschinelle Aufbereitung bietet dem Behandler den Vorteil der Zeiterparnis, da im Vergleich zur manuellen Aufbereitung mit wenigen Instrumenten schneller aufbereitet werden kann [24]. Es existieren die verschiedensten Systeme: maschinelle Systeme mit starrem oder modifiziertem Bewegungsablauf, Ultraschallsysteme, vollrotierende Systeme mit NiTi-Instrumenten sowie nicht-instrumentelle Systeme [26]. Neuere maschinelle Systeme bedienen sich Nickel-Titan-haltiger Instrumente die vollrotierend eingesetzt werden. Die 1962 mehr oder weniger zufällig beim U-Bootbau entdeckte Legierung besteht zu 55m% aus Nickel und zu 45m% aus Titan (55-Nitinol). Das Akronym NiTiNOL entstand aus den Buchstaben der Bestandteile Nickel und Titan (NiTi) sowie der des Herstellungsortes Naval Ordnance Laboratory (NOL) [90]. Die Besonderheit der Legierung ist ihr sogenanntes pseudoelastisches Verhalten: Ohne Temperaturveränderung ist das Metall unter Krafteinwirkung verformbar und kehrt nach Entlastung in seine Ausgangsform zurück. Grund dafür ist die Phasenumwandlung innerhalb des Metalls [119]. Aufgrund des geringen E-Moduls und der nach Belastung folgenden Rückstellung können Instrumente dieser Legierung vollrotierend eingesetzt werden. Zu beachten sind dabei der Antrieb durch Drehmoment gesteuerte Motoren, sowie der umsichtige Einsatz der Instrumente, um Transportation und übermäßige Dentinverjüngung im mittleren und oberen Drittel zu vermeiden [87].

4.2.4 Das *FlexMaster*-System

Das von der Firma VDW stammende System *FlexMaster* ist ein Nickel-Titan-System der aktuellen Generation. Der Querschnitt der Feilen ist dreieckig und

konvex, die Kanten sind schneidend (Abbildung 2). Erhältlich sind die ISO-Größen 15-70, sowie die Taper .02, .04 und .06. Angewandt werden die Feilen in bestimmten Sequenzen. Die Formgestaltung des Instrumentes soll die Schneideleistung der Feilen begünstigen, jedoch kann die Form im ungünstigen Fall zu einem „Hineinschrauben“ der Feile in den Kanal führen [41].

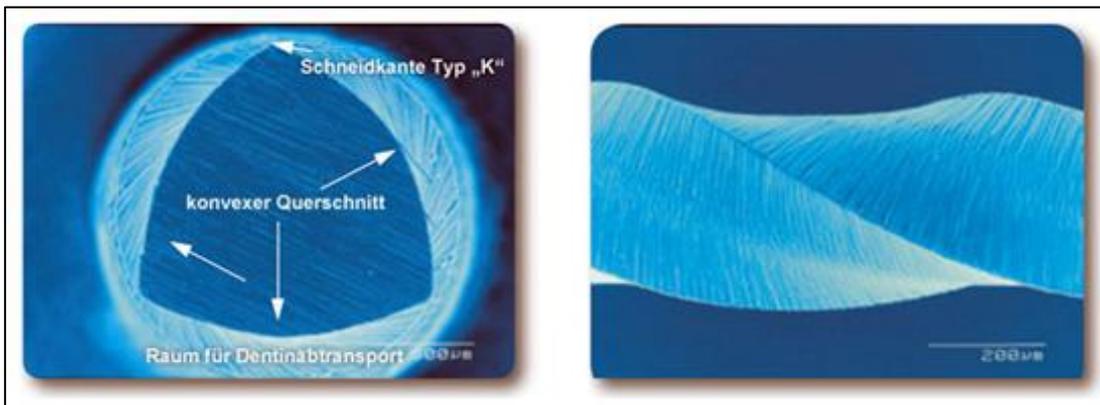


Abbildung 2: *FlexMaster*-Instrumente unter dem Mikroskop [54]

Die Aufbereitung der Wurzelkanäle erfolgt mit Hilfe der Crown-down-Technik. Bei dieser Technik arbeitet man sich von koronal nach apikal vor [80], dabei verwendet man zunächst größere Instrumente (größerer Taper und größere ISO-Größe) und bereitet den koronalen Kanalabschnitt auf. Anschließend führt man kleinere Instrumente (kleinerer Taper und kleinere ISO-Größe) bis zum apikalen Kanalabschnitt vor und bereitet diesen auf. Dem Behandler stehen je nach Wurzelkanalanatomie (eng, mittel, weit) unterschiedliche Aufbereitungssequenzen zur Verfügung. Die Instrumente sollten vorzugsweise mit Drehmoment-begrenzten Winkelstücken und einer Drehzahl zwischen 150 und 300 U/min benutzt werden. Drehmoment-begrenzte Winkelstücke stellen vor allem bei gekrümmten Kanälen eine sehr gute Alternative bezüglich sicherer Anwendung und Verfolgung der originären Krümmung im Vergleich zu konventionellen Winkelstücken dar [112].

4.3 Wurzelkanalspülungen

Eine weitere Maßnahme zur Erzielung des endodontischen Behandlungserfolges stellt während und nach der instrumentellen Aufbereitung des Wurzelkanals die Wurzelkanalspülung dar. Ziel ist die Entfernung von vitalen, oder nekrotischen und infizierten Geweberesten und von Mikroorganismen, sowie deren Stoffwechselprodukten aus dem Wurzelkanalsystem. Belegt werden konnte, dass dieses Ziel ausschließlich durch die mechanische Bearbeitung der Wurzelkanaloberflächen nicht erreicht werden kann [99]. Durch die mechanische Bearbeitung des Wurzelkanals bleibt an der tangierten Kanalwand eine etwa 1-5 µm dicke Schicht aus hauptsächlich anorganischen Bestandteilen wie etwa Dentinpartikeln, Prädentin, Debris, aber auch organischen Bestandteilen, wie Geweberesten, und im Fall eines infizierten Kanals Mikroorganismen, zurück. Diese Schicht wird Schmierschicht oder Smear layer genannt [70, 38]. Die Frage nach der Entfernung der Schmierschicht wird in der Literatur kontrovers diskutiert. Für manche Autoren stellt das Belassen der Schmierschicht einen Vorteil dar, da er als physikalische Barriere vor einer Bakterienanhaftung fungieren kann [98, 28]. Andererseits können Bakterien in Dentintubuli und Seitenkanälchen durch eine verbleibende Schmierschicht vor desinfizierenden Lösungen geschützt werden [96]. In anderen Studien wird die Entfernung der Schmierschicht als obligat empfunden, da sie nicht nur nekrotisches Material und Bakterien enthält, sondern auch die Sealerpenetration negativ beeinflussen oder eine verstärkte Bakterienpenetration hervorrufen kann. [71, 107]. Auch die Bakteriendichtigkeit verschiedener Sealer wird durch das Vorhandensein einer Schmierschicht beeinflusst [16]. Vorrangige Anforderungen an die Spülung des Wurzelkanalsystems sind somit folgendermaßen zusammenzufassen:

- Desinfektion des Endodonts durch antimikrobielle Wirkung, Auflösung von Biofilmen.
- Auflösen und Herausspülen des organischen und anorganischen Kanalinhalt, auch in Bereichen des Wurzelkanalsystems, welche der mechanischen Bearbeitung nicht zugänglich sind.
- Inaktivierung bakterieller Lipopolysaccharide.

- Auflösung der Schmierschicht (Smear layer).
- Herausspülen der im Rahmen der mechanischen Bearbeitung der Kanaloberflächen entstehenden Dentinspäne, Vermeiden von Verblockungen.
- Schmiermittel für die mechanische Aufbereitung [57]

Unter kombinierter Anwendung verschiedener Spüllösungen sollte es nicht zur Neutralisation der eingesetzten Substanzen kommen. Weiterhin dürfen keine zahnhartsubstanzverändernden Eigenschaften vorliegen und auch die postendodontische Restauration sollte nicht negativ beeinflusst werden. Besonders wichtig für regenerative endodontische Therapien sind eine geringe Zytotoxizität und eine hohe Biokompatibilität der Irrigationslösungen [105]. Es existiert keine Spüllösung zur Abdeckung aller Anforderungen, sodass die Wahl der Lösung situationsgebunden sein sollte und meist kombinierte Lösungen angewandt werden müssen.

4.3.1 Natriumhypochlorit

Als Standardlösung zur Irrigation des Wurzelkanals gilt Natriumhypochlorit (NaOCl). Natriumhypochlorit ist das Natriumsalz der hypochlorigen Säure. Die Lösung wird entweder durch das Einleiten von Chlor in verdünnte Natronlauge oder über den Weg der Elektrolyse aus Kochsalzlösung hergestellt. Die Wirksamkeit als Desinfiziens ist abhängig von Konzentration, pH-Wert, Zeit und Temperatur. Bei Verwendung der Lösung in der Endodontie gelten Konzentrationen von 0,5-5% als wirksam, um gegen die fakultativ anaerobe bzw. anaerobe endodontische Flora eine gute antimikrobielle Wirkung hervorzurufen [103]. Neuere Studien haben gezeigt, dass NaOCl die Fähigkeit gegen Endotoxine (Lipopolysaccharide) wirksam zu sein bei Konzentrationen von 2,5-5,25% nicht erbringen kann [79, 24, 39]. Als negativ zu bewerten ist ebenso die Tatsache, dass vitales Gewebe, z.B. im Falle einer Überpressung des Spülmittels NaOCl in periradikuläres Gewebe, durch eine gewisse Toxizität geschädigt wird und auch zu Nekrosen führen kann [37]. Allgemein gilt: Je höher die gewählte Konzentration, die Einwirkzeit und die Temperatur, desto besser ist die Penetration-

stiefe in die Dentintubuli und damit die Wirkung. Da die NaOCl-Lösung bei höheren Temperaturen rasch zerfällt, sollte eine Erwärmung erst unmittelbar vor oder während der Anwendung stattfinden [43]. Auch bei der Lagerung ist darauf zu achten, dass NaOCl dunkel und kühl aufbewahrt wird.

4.3.2 Zitronensäure

Die farblose, wasserlösliche Carbonsäure zählt zu den Fruchtsäuren. Der Einsatz von Zitronensäure kommt bei Konzentrationen von 5-50% in Frage. Die Bedeutung dieser Spüllösung ist die Entfernung des Smear layers. Studien zeigen, dass Zitronensäure wie auch andere saure Lösungen, im Gegensatz zur Verwendung von NaOCl, allein in der Lage ist die Schmierschicht nach der Kanalaufbereitung zu entfernen [97]. Bedeutsam für die Effektivität der Lösung ist der pH- Wert der Zitronensäure: Nicht gepufferte Varianten (pH 0,8-1,5) vermögen die Schmierschicht besser zu entfernen als gepufferte Zitronensäure-Lösungen (pH 6). Jedoch kommt es bei zu hohen Konzentrationen und einem niedrigen pH-Wert auch zu einer größeren Zerstörung des peritubulären Dentins, sodass bestenfalls ungepufferte Lösungen niedrigerer Konzentration angewandt werden sollten [42].

4.3.3 Ethanol

Während Natriumhypochlorit und Zitronensäure bereits während der Aufbereitung zur Befeuchtung des Kanals und damit zur Vermeidung von Instrumentenfrakturen genutzt werden, verwendet man Ethanol allenfalls zur letzten Spülung vor dem Trocknen. Die Verdunstung des Ethanols beschleunigt und verbessert die Trocknung, außerdem wirkt 70-prozentiger Alkohol desinfizierend. Eine Studie von Stevens et al. ergab eine Verbesserung der Sealerpenetration nach einer Abschlussspülung mit 95-prozentigem Ethanol [118].

4.4 Wurzelkanalfüllmaterialien

Die Hauptziele der Wurzelkanalbehandlung sind die Eliminierung der Bakterien und die Vermeidung der Reinfektion und somit die Erhaltung des pulpatoten

Zahnes. Um eine solche Reinfektion durch Bakterien zu vermeiden, muss der mechanisch aufbereitete, und chemisch gereinigte Kanal dauerhaft dicht verschlossen werden. Dies gilt sowohl für apikal als auch für koronal, da der Zugangsweg für Bakterien allseitig möglich ist. Es muss ein Abschluss gegenüber Bakterien, Flüssigkeiten und anderen Agenzien herrschen. Nach der sorgfältigen chemo-mechanischen Aufbereitung erfolgt anschließend die Obturation, wofür auf dem Markt große Mengen variationsreicher Materialien zur Verfügung stehen. Die Wurzelkanalfüllung sollte am besten aus einer Paste-Stift-Kombination bestehen, damit Wandundichtigkeiten weitgehend vermieden werden, wenn es bei großvolumigen Wurzelkanälen zu einer Kontraktion des Sealers kommt [133]. Kriterien, die der Sealer erfüllen sollte, sind folgende: Biokompatibilität, Volumenstabilität, Unlöslichkeit durch Körperflüssigkeiten, sowie anhaltende Dichtigkeit. Außerdem sollte der Sealer für den Behandler in der zahnärztlichen Praxis einfach anwendbar sein, also günstig zu dosieren und zu applizieren, und gegebenenfalls auch wieder entfernbar sein.

4.4.1 Anforderungen an Wurzelkanalfüllmaterialien

Für Sealer und Guttaperchastifte gelten gleichermaßen die folgenden Kriterien, die möglichst alle erfüllbar sein sollten [31]:

- Biokompatibilität
- Volumenbeständigkeit
- Wandständigkeit
- Röntgenopazität
- keine Porositäten
- keine Resorbierbarkeit
- Sterilisierbarkeit
- einfache Anmischbarkeit
- einfache Einbringbarkeit
- Revidierbarkeit
- keine Zahnverfärbung

4.4.2 Definitive Wurzelkanalfüllmaterialien

In der heutigen Zeit existieren sehr viele verschiedene Materialien mit den unterschiedlichsten chemischen Zusammensetzungen, mit denen aufbereitete Wurzelkanäle adäquat gefüllt werden können. Sie sollten den im vorherigen Abschnitt angesprochenen Anforderungen entsprechen. Man unterscheidet vorerst zwischen plastischen und festen Materialien. Zu den erstgenannten zählen Zemente auf Zinkoxid-Eugenol- und Calciumhydroxid-Basis, Kunstharz-Zemente, Glasionomer-Zemente, Zemente mit medikamentösen Zusätzen, Polycarboxylat-Zemente, Calciumphosphat-Zemente sowie Dentinadhäsive und Guttapercha in Pasten- bzw. gelöster Form. Als feste Materialien gelten Guttaperchastifte, Silberstifte, Titanstifte und Glasfaserstifte. Im Folgenden soll auf die wichtigsten der genannten Gruppen kurz eingegangen werden, wobei auf die in dieser Studie verwendeten Sealer besonderes Augenmerk gelegt werden soll.

4.4.2.1 Sealer

Zinkoxid-Eugenol-Zemente

Wurzelkanalsealer auf der Basis von Zinkoxid-Eugenol waren lange Zeit Standard in der Endodontie. Eine kombinierte Paste-Füllstift-Anwendung führte zu guten Ergebnissen. Die Schrumpfung ist relativ gering. Die guten Langzeitergebnisse trotz der recht hohen Löslichkeit dieses Sealertyps sind sicher auch den antibakteriellen Eigenschaften zu verdanken. In einer neueren Studie von Saha et al. (Lucknow, Indien) zeigte sich im Vergleich mit einem Epoxidharzbasierten Zement (*AH-26*) und einem Calciumhydroxid-basierten Zement (*Apexit Plus*) beim Zinkoxid-Eugenol Präparat die beste antimikrobielle Wirkung [106]. Problematisch sind allerdings die zytotoxischen und allergisierenden Eigenschaften (Kontakturtikaria), besonders beim Überpressen des Materials [11], bedingt durch das Eugenol, welches auch während seiner komplexen Bindung immer frei vorliegt [43]. Vertreter dieses Sealer-Typs sind *Grossman's Cement* (Standard Dental), *Wach's Paste* (Sargent's Drugs), *ProcoSol* (Star Dental), *Pulp Canal Sealer* (Sybron Endo) und *Tubli-Seal* (Kerr), *Roth 501* und

Roth 801 (Roth Drug Co.), *Hermetic* (Lege Artis), *Endomethasone* (Septodont). Die Sealer werden als Pulver-Flüssigkeits- oder Paste-Paste-System geliefert.

Calciumhydroxid-basierte Zemente

Ein Beispiel für einen Calciumhydroxid-basierten Sealer ist *Apexit Plus* der Firma Ivoclar Vivadent. Laut Hersteller setzt sich das Produkt folgendermaßen zusammen: Calciumsalze (Hydroxid, Oxid, Phosphat), Hydriertes Collophonium, Disalicylat, Bismutsalze (Oxyd, Carbonat), hochdisperses Siliciumdioxid (silanisiert) und Alkylester der Phosphorsäure [53]. Calciumhydroxid-basierte Sealer sind weniger toxisch als Zinkoxid-Eugenole, jedoch genau so leicht löslich, sodass undichte Hohlräume in der Wurzelkanalfüllung entstehen können. Positive Eigenschaften der calciumhydroxidhaltigen Sealer sind zum einen die Fähigkeit der Zementbildung am Apex via Zementogenese, sowie die Unterdrückung der Osteoklastenaktivität aufgrund seines basischen pH-Wertes [35].

In einer Studie aus dem Jahr 2009 von Salz et al. verglich man die beiden Sealer *Apexit Plus* und *AH Plus* auf ihre Bakteriendichtigkeit und Löslichkeit. Das Ergebnis zeigte bessere Werte beim calciumhydroxidhaltigen Sealer *Apexit Plus*, der bewährte epoxidharzbasierte Sealer *AH Plus* schnitt bei Bakteriendichtigkeit als auch bei der Löslichkeit (0,5% zu 0,3%) schlechter ab als *Apexit Plus* [108]. Die antimikrobielle Wirkung dieses Sealers ist während der ersten 24h nach Applikation am höchsten und nimmt dann signifikant ab [89]. Das für diese Studie verwandte *Apexit Plus* mit Automixspritze, in der die beiden Komponenten in gleichen Anteilen vermischt werden, ist sehr anwenderfreundlicher.

Inhaltstoffe <i>Apexit Plus</i>	
Paste	Aktivator
32% Calciumhydroxid	25% Trimethylhexandiol–Disalicylat
32% Hydriertes Collophonium	8% Butandioldisalicylat
18% Wismutsalze	
8% hochdisperses Siliciumdioxid (silanisiert)	
Alkylester der Phosphorsäure	

Tabelle 1: Zusammensetzung *Apexit Plus*

Kunstharz-Zemente

Der wohl bekannteste Sealer auf Epoxidharzbasis ist das von André Schroeder, ehemaliger Professor der Klinik für Zahnerhaltung der Universität Bern, in der Mitte des letzten Jahrhunderts entwickelte *AH 26* [43, 47], der Vorläufer des heutzutage bevorzugten *AH Plus*. Der Sealer besteht aus einer Pulver-Flüssigkeits-Kombination mit folgendem Inhalt: 60% Wismutoxid, 10% metallisches Silber, 25% Hexamethylentetramin und 4% Titanoxid, sowie seiner Flüssigkeit Phenoldiglycidäther. Bei der Reaktion der Paste mit dem Pulver treten geringe Mengen an Formaldehyd in den ersten 4 Tagen aus [104]. In einer anderen Studie zeigte sich sogar ein höherer Austritt an Formaldehyd als beim Sealer *N2*, welcher als Bestandteil Formaldehyd enthält, während es beim *AH 26* nur als ein Nebenprodukt entsteht [68].

Sowohl *AH 26* als auch *AH Plus* können *in vitro* als geno- wie auch zytotoxisch angesehen werden, was in einer Studie aus dem Jahr 2002 von Huang et al., Taiwan, untersucht wurde [55]. Der Inhaltsstoff Hexamethylentetramin wurde beim *AH Plus* weggelassen, sodass die ungewollte Formaldehydfreisetzung vermieden wird. *AH Plus* zeigt gewollte antimikrobielle Wirkungen [88].

Inhaltsstoffe <i>AH Plus</i>	
Epoxidpaste	Amin-Paste
Diepoxid	1-Aminoadamantan
Calciumwolframat	N,N'-Dibenzyl-5-Oxanonandiamin-1,9
Zirkoniumoxid	TCD-Diamin
Aerosil	Calciumwolframat
Pigmente	Zirkoniumoxid
Silikonöl	

Tabelle 2: Inhaltsstoffe *AH Plus*

Laut Herstellerangaben reagieren die Diepoxide und Mono/Diamine zu Epoxidaminen in einer Polyadditionsreaktion. Die entstandenen Diamine fördern eine hohe Dimensionsstabilität und Verwindungsstabilität. Weitere beworbene positive Eigenschaften sind die geringe Löslichkeit, eine hohe Röntgenopazität sowie die gute Gewebeverträglichkeit. [47]. Desweiteren hat der Epoxidharzsealer *AH Plus* den Vorteil einer langen Verarbeitungszeit (ca. 2 Stunden) und einer ebenso relativ langen Aushärtungszeit (24h), sodass notwendige Revisionen innerhalb eines Tages möglicherweise problemlos durchgeführt werden könnten. Durch seine Temperaturbeständigkeit bis zu 250°C können bei der Wurzelfüllung sowohl Kalt- auch als Heißfülltechniken verwandt werden. Während der Aushärtungsphase kommt es zu einer leichten Expansion von 0,4%, was sich vorteilhaft für die Kanalwandhaftung auswirkt [91].

Glasionomerzement-basierte Zemente

Ein Beispiel für einen nicht absorbierbaren, glasionomerbasierten Sealer ist *Ketac Endo*, (3M ESPE). Laut Hersteller versiegelt er Wurzelkanäle bakterien dicht durch seine chemische Haftung an der Zahnschmelze. Das Material wird als Einmalkapsel angeboten (*Ketac Endo Aplicap*) und zeigt eine hohe Röntgensichtbarkeit [36]. In einer Studie von Lertchirakarn et. al kristallisierte sich *Ketac Endo* als ein wurzelstärkendes Füllmaterial bei endodontisch behandel-

ten Zähnen heraus, woraus eine niedrigere vertikale Frakturempfindlichkeit resultiert [74]. Andere klinische Studien zeigten bei Dichtigkeitsuntersuchungen gleich gute Ergebnisse im Vergleich mit langbewährten Sealern, wie zum Beispiel Zinkoxid-Eugenol Präparaten oder Epoxidharzzementen [124, 84].

Sealer mit medikamentösen Zusätzen

Laut einer Stellungnahme der DGZMK aus dem Jahr 1999 sollten Füllpasten mit medikamentösen Zusätzen, wie Paraformaldehyd (Produkt: *Asphaline A*) oder Kortikosteroiden (Produkt: *Endomèthasone*) nicht als definitive Wurzelkanalfüllung verwendet werden. Durch die allergisierende, neurotoxische sowie zytotoxische Wirkung des, während und nach der Härtung der paraformaldehydhaltigen Wurzelfüllpaste abgeschiedenen, Formaldehydes, gilt eine solche Paste in der Anwendung als obsolet. Auch bei korrekter Anwendung und adäquat abgefüllter Wurzelkanäle ohne Überpressung des Kanals konnten Parästhesien, chronisch-entzündliche Reaktionen sowie Nekrosen im apikalen Bereich nachgewiesen werden. Ähnliche Zurückhaltung gilt bei kortikoidhaltigen Wurzelfüllpasten: Die durch eine Immunsuppression hervorgerufene Vermehrung von Mikroorganismen führt vermehrt zu einer Verschlimmerung der Entzündung im periapikalen Gewebe [27]. Somit gelten Wurzelfüllpasten mit medikamentösen Zusätzen zur definitiven Wurzelfüllung als überholt und sollten nicht angewendet werden.

Komposite

Die erste Generation der methacrylatbasierten Sealer kam Mitte der Siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts auf den Markt. Aufgrund der suboptimalen physikalischen und biologischen Eigenschaften wurde davon abgesehen und erst zu Beginn des 21. Jahrhunderts, aufgrund von Fortschritten in der Self-Etch-Adhäsivtechnik, wieder eingeführt [66]. Als Beispiele für heutige methacrylatbasierte Sealer lassen sich *EndoREZ* (Ultradent), *Ephiphany* (Sybron/Endo) und auch *Rely X* (3M ESPE) nennen. Als ausgewähltes Beispiel soll das Material *EndoREZ* näher betrachtet werden: *EndoREZ* ist ein UDMA-basiertes Komposit, ein Wurzelkanal-Sealer mit hydrophilen Eigenschaften für

den laut Hersteller Ultradent deutlich besseren Kanalverschluss. In einer retrospektiven Studie der Universität Buenos Aires wurde das Produkt über 8 Jahre evaluiert. Der ursprüngliche Patientenpool umfasste 180 Probanden, wovon 145 nach 14-18 Monaten, 120 nach 5 Jahren und 112 nach 8 Jahren für die Auswertung zur Verfügung standen. Die Wurzelkanalbehandlung erfolgte als Single-Visit-Treatment, abgefüllt wurden die Kanäle mit Guttaperchastiften und Sealer (*EndoREZ*). Der Erfolg der endodontischen Behandlung wurde gemessen an klinischer Symptomlosigkeit und der radiologischen Beurteilung des Parodontalspalts (normal oder leicht erweitert) und pre-endodontischer apikaler Radioluszenzen (verschwunden oder verkleinert). Als Ergebnis stellte sich nach 8-jähriger Evaluation eine Erfolgsrate von 86,5% ein, die Patienten zeigten sich symptomlos und ohne radiologische Auffälligkeiten. Die Studiendurchführer sehen in diesem Ergebnis einen Beweis dafür, dass sich methacrylatbasierte Sealer (*EndoREZ*) mit konventionellen Sealern vergleichen und anwenden lassen [139]. In einer Studie von Al-Hiyasat et al. wurde die Zytotoxizität von *EndoREZ* untersucht. Im Vergleich mit dem bewährten *AH Plus*, welches am besten abschnitt und somit am biokompatibelsten war, schnitt *EndoREZ* moderat ab und ließ noch andere metacrylatbasierte Sealer, wie *Epiphany* und *Metaseal* hinter sich.

Guttapercha

Eine der in dieser Studie untersuchten Wurzelfüllpasten ist *GuttaFlow* (Coltène-Whaledent, Langenau, Deutschland). *GuttaFlow* ist ein Kaltfüllsystem, das Sealer und Guttapercha in einem Füllungsmaterial verbindet. Die Basis des Materials ist eine Polydimethylsiloxanmatrix, welche mit feinsten Guttaperchapartikeln (30 µm) gefüllt ist. Das Material wird in Kapseln angeboten, welche zwei Komponenten enthalten, die vor der Applikation 30 Sekunden lang auf einem Triturator gemischt werden müssen. Danach wird die cremige Paste per *Canal Tip* (kanaldicke Applikationsspitze) und mit Hilfe des Dispenser in den Kanal eingebracht. Laut Hersteller hat die Füllpaste folgende Eigenschaften: hohe Fließfähigkeit zur optimalen Verteilung im Wurzelkanal, Thixotropie, d.h. unter Druck erfolgt eine Viskositätsabnahme, sodass Seitenkanälchen etc. gut ausgefüllt

werden können, nahezu keine Löslichkeit und damit eine hohe Dimensionsstabilität, gute Biokompatibilität, Beigefügung von Nano-Silber zum Schutz vor einer Reinfektion des Wurzelkanals, keine Schrumpfung, sondern geringe Expansion sowie eine gute Röntgensichtbarkeit [51].

Studien zufolge schneidet *GuttaFlow* im Allgemeinen sehr gut ab: ein Vergleich mit *AH Plus* bezüglich der koronalen sowie apikalen Langzeitdichtigkeit und Messungen nach 3, 30 und 120 Tagen ergab bessere Werte für den Guttapercha-gefüllten Sealer, jedoch nur in Kombination mit einem Guttaperchastift (Single-cone oder Lateralkompaktion) [110]. Als alleiniges Wurzelfüllmaterial ohne zusätzlichen Masterpoint sollte man *GuttaFlow* nicht anwenden [126].

Inhaltsstoffe <i>GuttaFlow</i>	
Guttaperchapulver	Platinkatalysator
Polydimethylsiloxan	Zirkondioxid
Silikonöl	Nano-Silber
Paraffinöl	Farbstoff

Tabelle 3: Zusammensetzung *GuttaFlow*



Abbildung 3: *GuttaFlow* Verkaufsset mit Dispenser, Applikationsspitzen, *GuttaFlow*-Kapseln und Guttaperchastiften [50]

4.4.2.2 Wurzelkanalfüllstifte

Nach Applikation des Sealers in den aufbereiteten Wurzelkanal folgen als Bestandteil der Füllung ein bzw. mehrere Wurzelfüllstifte. Der Stift dient u.a. zur Kondensation des Sealermaterials [27]. Auf dem Markt erhältlich sind Wurzelfüllstifte aus Silber, Titan und Kunststoff; die genannten Stifte sind fester Natur, als weiches Stiftmaterial lässt sich das meistverwendete nennen: Guttapercha. Silberstifte sollten heutzutage allenfalls zum Zwecke der Röntgenmessaufnahme benutzt werden, da sie in Kontakt mit Gewebeflüssigkeit korrodieren und somit als definitive Wurzelfüllung obsolet sind [27]. Titanstifte sind äußerst biokompatibel, daher besonders geeignet für chirurgische Wurzelfüllungen, d.h. orthograde Wurzelfüllung nach Wurzelspitzenresektion. Der Titanstift muss an der resezierten Wurzel nicht zwingend gekürzt werden, da eine Knochenanlagerung an den Titanstift zur Verlängerung der Wurzel gewollt ist [113]. Gutta-percha ist das meist verbreitete Stiftmaterial. Der Name „Getah pertja“ kommt aus dem malaiischen und bedeutet „Faden aus klebrigem Pflanzensaft“ [9]. Der

Guttaperchbaum (*Palaquium gutta*) produziert einen dem Kautschuk ähnlichen Saft, chemisch ausgedrückt ein trans-1,4-verknüpftes Polyisopren. Bei Temperaturen über 50° C ist die Guttapercha weich und plastisch verformbar, bei Raumtemperatur ist sie hart und wenig elastisch [53]. Das Material kann in zwei kristallinen Phasen (α und β) und einer amorphen Phase vorliegen. Konventionelle Guttaperchastifte liegen in der β -Phase vor. Beim Erhitzen auf 42-49°C wird die α -Phase erreicht. Diese Phase wird zum Beispiel bei der *Thermafil*-Technik genutzt. Erwärmung und Abkühlung sind mit einer Volumenveränderung verbunden, d.h. je höher die Temperatur, desto größer ist die Schrumpfung bei der Abkühlung [45]. Die auf dem Markt erhältlichen Guttaperchastifte bestehen größtenteils aus Zinkoxid, Guttapercha, Röntgenkontrastmittel und Weichmachern.

Inhalt	Prozentualer Anteil
Zinkoxid	33 - 61,5%
Guttapercha	19 - 45%
Schwermetalle ($\text{Ba}(\text{SO})_4$)	1,5 - 31,2%
Wachse	1 - 4,1%
Farbstoffe	1,5 - 3,4%
Spurenelemente	

Tabelle 4: Prozentuale Zusammensetzung Guttapercha-Wurzelkanalfüllstifte [43]

Auf dem Dentalmarkt erhältliche Guttaperchastifte sind isokodiert und dementsprechend farbmarkiert. Erfahrungsgemäß ergeben sich bei der Anwendung, d.h. bereits beim Einpassen des Stiftes in den aufbereiteten, getrockneten Wurzelkanal, Größendifferenzen zwischen Aufbereitungs- und Stiftgröße. In einer Studie aus Budapest von Iványi et al. ergaben sich beim Vergleich verschiedenster Guttaperchahersteller, z.B. Dentsply, Roeko und Anteos, innerhalb einer Isogröße größere Abweichungen. Die größten Abweichungen fanden sich u.a. bei Guttaperchaspitzen von Dentsply. Eine mit ISO 25 kodierte Spitze er-

reichte in der Studie eine Größe bis zu ISO 30 [59]. Diese Tatsache sollte bei der Wurzelfüllung bedacht werden um Fehler zu vermeiden.

4.5 Obturationstechniken

Die dentale Historie brachte die verschiedensten Möglichkeiten der Wurzelkanalfülltechniken hervor. Grundsätzlich lassen sich Heiß- und Kaltfülltechniken unterscheiden. Zu den wichtigsten Kaltfülltechniken gehören: Einstifttechnik (Single-cone-Technik), Lateralkompaktion und Non-compaction-Technik. Vertikale Kondensation, thermische Einstifttechnik (*Thermafil*) und thermoplastische Injektion gehören zu den Warmfüllmethoden. Im Folgenden soll auf die genannten Techniken näher eingegangen werden.

4.5.1 Kaltfülltechniken

4.5.1.1 Einstifttechnik

Die für den Behandler sehr einfach durchzuführende Füllmethode ist die Einstift- oder Zentralstifttechnik (Single-cone-Technik). Dabei wird ein Gutta-perchastift der Iso-Größe des letzten verwendeten Instrumentes auf Arbeitslänge gekürzt und nach der Sealerapplikation in den Kanal eingebracht. Diese Technik eignet sich für runde und eher kleinere Wurzelkanäle, ist zeitsparend und kostengünstig. In einer Studie von Taşdemir et al. aus dem Jahr 2009 ergaben sich bei einem Vergleich von Zentralstifttechnik und Lateralkompaktion in Kombination mit maschineller Aufbereitung keine signifikanten Unterschiede [122], in anderen Studien zeigen sich oftmals schlechtere Ergebnisse für die Einstifttechnik im Vergleich mit Lateralkompaktion oder Non-compaction-Technik [2]. Die Gründe mögen sehr unterschiedlich sein; seien es die Kanal-anatomie, die Kanalkrümmung oder die Durchführung durch den jeweiligen Behandler. Klar nachzuweisen ist jedoch der erhöhte Sealeranteil im Kanal im Vergleich zur Lateralkompaktion, da außer dem Masterpoint keine weitere Gutta-percha in den Kanal eingebracht wird. Die dadurch entstehenden Porositäten aufgrund der Schrumpfung des Sealermaterials können zu Undichtigkeiten führen [134].

4.5.1.2 Lateralkompaktion

Die heutzutage standardisiert angewandte Fülltechnik stellt die Lateralkompaktion dar. Bei dieser Technik wird als erster Schritt ein mit Sealer beschickter Masterpoint in den Kanal eingebracht. Dieser wird mit sogenannten Fingerspreadern lateral kondensiert, sodass noch weitere, der Spreadergröße entsprechende, Guttaperchastifte in den Kanal hineinpassen. Auf diese Weise wird weiter verfahren, bis immer kleiner werdende Spreader und die größentech-nisch dazugehörigen Guttaperchastifte für wenige Millimeter in den Kanal ein-gebracht werden können. Somit ist das Verhältnis von Sealer und Guttapercha auf Seite der Guttapercha. Die Lateralkompaktion gilt als homogene und rand-ständige Füllmethode [130]. Durch den Einsatz der Spreader kommt es jedoch zu einer Druckeinwirkung auf die Wurzel. Im Zusammenhang damit stehen ver-tikale Wurzelfrakturen. Laut Lertchirakarn et al. gibt es beim Einsatz von Fin-gerspreadern ein geringeres Frakturrisiko als bei der Anwendung von Hand-spreadern (D11 Spreader) [73].

4.5.1.3 Non-compaction-Technik

Diese Technik stellt eine Mischform aus Einstifttechnik und Lateralkompaktion dar: dabei werden ein Masterpoint und auch akzessorische Guttaperchastifte verwandt, ohne jedoch den Einsatz von Spreadern. Dies bedingt eine hohe Dichte an Guttapercha im Wurzelkanal, eine einfachere Durchführung und ein minimiertes Risiko bezüglich der Wurzelfrakturen. In einer Studie von Herbert et al. stellten sich moderate Ergebnisse der Non-compaction-Technik in Kombina-tion mit drei namenhaften Sealern bezüglich der Dichtigkeit dar, was dafür spricht, dass auch diese Technik im Vergleich mit anderen Kaltfülltechniken in der Praxis angewendet werden kann [46].

4.5.2 Warmfülltechniken

Bei den sogenannten Warmfülltechniken handelt es sich im eigentlichen Sinne um die Erwärmung und thermoplastische Verformung der Guttapercha. Der Sinn dieser Verformung ist die Erniedrigung der Viskosität und somit besseren

Fließfähigkeit in alle Teile des Wurzelkanals. Problematisch zu betrachten ist die auftretende Schrumpfung der Guttapercha nach dem Erhitzen und der nachfolgenden Abkühlung [82]. Dieser Tatbestand könnte wiederum zu einer undichten Wurzelfüllung beitragen. Mit Hilfe von Verdichtungsinstrumenten, den sogenannten Pluggern, wird diesem Problem jedoch vorgebeugt. Ein weiterer zu beachtender Punkt ist die mit der Erhitzung der Guttapercha einhergehende Wärmeentwicklung. Eine Studie von Barkhordar et al. ergab jedoch zu vernachlässigende Wärmeentwicklung auf der Wurzeloberfläche, sodass eine Schädigung des periradikulären Gewebes ausgeschlossen werden kann [6]. Die Verwendung der erhitzten Guttapercha ohne Sealer ergab jedoch höhere Temperaturanstiege. Die Guttaperchaanwendung in Kombination mit Sealern, die hierbei der Temperatursenkung dienen, stellt somit eine wichtige Methode bei der Anwendung von Warmfülltechniken dar [78]. Durch zu hohe Temperaturen entstehen Schäden, die zur Proteinkoagulation, Ankylosierung oder Resorption führen können [109]. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit der Sealeranwendung bei allen Warmfülltechniken, seien es die niedrig und die hoch erwärmte Guttapercha, die erwärmte vertikale Kondensation, die thermoplastische mit einem Träger applizierte Guttapercha, sowie die laterale Kompaktion im erwärmtem Zustand.

4.5.2.1 Vertikale Kompaktion

Die vertikale Kompaktion ist eine von Schilder in den 60er Jahren des vergangenen Jahrhunderts eingeführte Füllmethode. Man bezeichnet sie auch als 3-D-Obturation [43]. Die Anwendung kann zu sehr passablen Ergebnissen führen, vor allem bei der Wurzelfüllung von weitulmigen Kanälen. Der Nachteil ist die schwierige Durchführung, welche viel Übung erfordert. Die Warmfülltechnik funktioniert folgendermaßen: ein Guttaperchastift wird apikal gekürzt, sodass er bei der Einführung in den Kanal im apikalen Bereich etwas klemmt („tug back“). Danach wird der Hauptstift zementiert. Innerhalb der Technik kommen Plugger verschiedener Größen zum Einsatz, jeweils für alle Abschnitte des Wurzelkanals passend, aber nur ein Plugger, welcher sich passiv bis etwa 5mm vor Arbeitslänge einführen lässt. Der zementierte Hauptstift wird nun mit erhitzten

Spezialinstrumenten von koronal her abgetrennt, erwärmt und vertikal kondensiert, bis nur noch der apikale Anteil gefüllt ist („down-packing“). Es folgt eine Röntgenkontrolle der vorerst apikalen, aber gut verdichteten Wurzelfüllung. Anschließend werden nur noch 3-4mm lange Guttaperchastücke verwandt und auf die gleiche Weise abgetrennt, erwärmt und kondensiert, bis die Wurzelfüllung komplettiert ist („back-packing“) [129].

Andere Warmfüllmethoden unterscheiden sich durch Art und Grad der Erwärmung der Guttapercha, der Einbringtechnik in den Wurzelkanal und die zusätzliche Verwendung von Guttaperchaträgern anderen Materials. In dieser Studie wurde *Thermafil* als einzige Warmfülltechnik unter drei Kaltfülltechniken untersucht. Die Grundlagen für Warmfüllsysteme wie *Thermafil* oder *Densfill* legte Johnson 1978: das Trägermaterial bestand damals aus Stahl, welcher mit Guttapercha ummantelt wurde. Die somit verringerte Menge an Guttapercha sollte zu einer geringeren Schrumpfung der Wurzelfüllung führen [60].

4.5.2.2 *Thermafil*

Die Vorreiter von *Thermafil* wurden wie oben bereits erwähnt von Ben Johnson in den 70er Jahren entwickelt. Das Trägermaterial für die erhitzbare α -Guttapercha stellt bei diesem System (*Thermafil Plus*) jedoch nicht mehr Stahl, sondern Kunststoff dar. Ein spezieller Ofen erwärmt den beschickten Träger für eine bestimmte Zeit und kann anschließend in den mit Sealer gefüllten Wurzelkanal eingeführt werden. Mit Hilfe eines erwärmten bzw. rotierenden Instrumentes wird der Träger folgend abgetrennt. Vorteile eines „weichen“ Kerns ergeben sich vor allem bei der Revision der mit *Thermafil* obturierten Wurzelkanäle, etwa bei einem erforderlichen Stiftaufbau. Die Entwicklung von *Thermafil Plus* hat in vielen Studien gute Ergebnisse geliefert und sich damit als praktikable und anwenderfreundliche thermoplastische Füllmethode etabliert [8].

Es existieren noch einige andere Warmfüllmethoden, hier zu nennen wären:

- Einbringen von Guttapercha mit rotierenden Instrumenten: McSpadden Technik, *Quickfil*, *Microseal*

- Kombinationssysteme: *Trifecta, Inject-R-File*
- Verflüssigung von Guttapercha: *Success Fil*
- Injektion von Guttapercha: *Obtura I und II, Ultrafil, BeeFill*
- Kombinierte laterale Kompaktion mit erhitzter Guttapercha: *Endotec, Touch`n-Heat, System B, Obturation Unit, E&Q Plus*

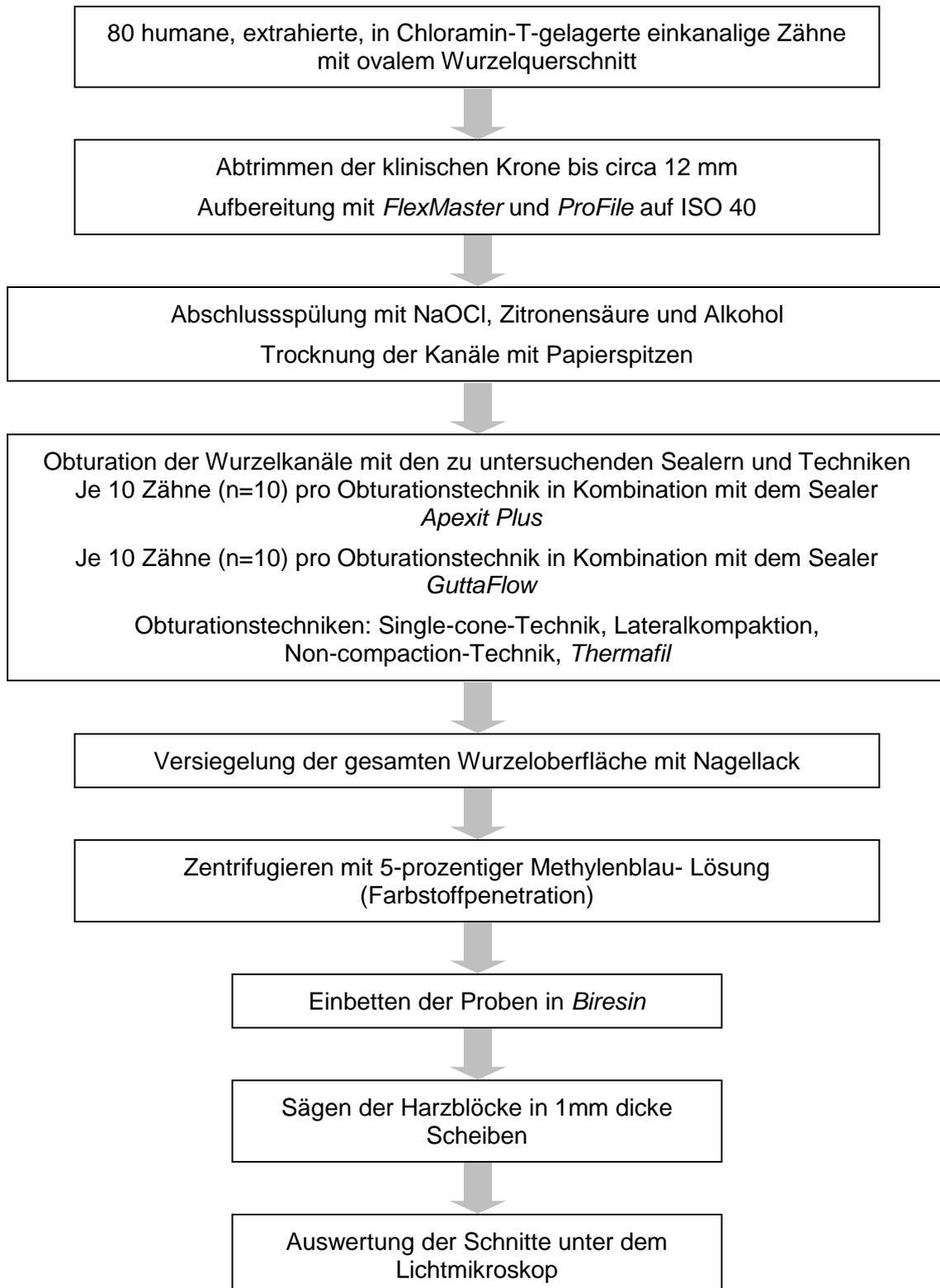
Auf diese Techniken soll hier nicht näher eingegangen werden, es folgt der Verweis auf themenbasierte Sekundärliteratur [5].

5 Ziele der Studie

Diese In-vitro-Studie befasst sich mit dem Thema koronale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen in ovalen Wurzelkanälen. Dabei gilt es zu untersuchen, ob verschiedene Obturationstechniken in Kombination mit unterschiedlichen Sealern zu differenten oder identischen Dichtigkeitsergebnissen führen. Die zu prüfenden Materialien *Apexit Plus* und *GuttaFlow* wurden in Verbindung mit vier verschiedenen Fülltechniken eingesetzt. Die koronale Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllungen wurde mit Hilfe eines Farbstoffpenetrationstests ermittelt. Anhand der Ergebnisse der Farbstoffpenetration kann das Abdichtungsverhalten der beiden verwendeten Sealer und den vier verwendeten Obturationstechniken verglichen und bewertet werden.

6 Material und Methode

6.1 Übersicht der Arbeitsschritte



6.2 Einteilung der Proben

Diese In-vitro-Studie wurde mit Hilfe von 80 humanen Zähnen, genauer Frontzähnen des Unterkiefers und Prämolaren des Ober- und Unterkiefers durchgeführt. Die Zähne wurden aus diversen Gründen, z.B. chirurgischen, parodontologischen und kieferorthopädischen Gründen, extrahiert. Nach der Extraktion wurden die Zähne in 0,5-prozentiger Chloramin-T-Lösung gelagert. Alle Zähne wurden zur Beurteilung der Anzahl und Gängigkeit der Wurzelkanäle vor deren Aufbereitung geröntgt; Zähne, deren Wurzeln mehr als einen Kanal aufwiesen, wurden vorab aussortiert. Anschließend folgten die koronale Trepanation, sowie das Abtrimmen der klinischen Krone der 80 einkanaligen Zähne. Die Aufbereitung erfolgte bis zur ISO Größe .04 #45, anschließend wurden alle Zähne mit diamantierten schall-aktivierten Endspitzen und Hedströmfeilen erweitert, um die Ovalität der Kanäle zu betonen. Die Zähne wurden nun in vier mal zwei Gruppen unterteilt, wobei die zwei zu untersuchenden Sealer *GuttaFlow* und *Apexit Plus* mit den Obturationstechniken Single-cone-Technik, Lateralkompaktion, Non-compaction-Technik und *Thermafil* kombiniert wurden. Somit ergaben sich acht Untergruppen, die miteinander verglichen werden konnten.

Gruppe 1	Sealer	Technik	Anzahl
a	<i>Apexit Plus</i>	Single-cone-Technik	10
b	<i>Apexit Plus</i>	Lateralkompaktion	10
c	<i>Apexit Plus</i>	Non-compaction-Technik	10
d	<i>Apexit Plus</i>	<i>Thermafil</i>	10

Tabelle 5: Übersicht über die experimentellen Gruppen (1)

Gruppe 2	Sealer	Technik	Anzahl
a	GuttaFlow	Single-cone-Technik	10
b	GuttaFlow	Lateralkompaktion	10
c	GuttaFlow	Non-compaction-Technik	10
d	GuttaFlow	Thermafil	10

Tabelle 6: Übersicht über die experimentellen Gruppen (2)

6.3 Aufbereitung und Spülprotokoll

Als erster Schritt der Kanalaufbereitung wurde eine C-Feile der Größe #8 oder eine K-Feile der Größe #10 in jeden Wurzelkanal eingeführt, um die Gängigkeit des jeweiligen Wurzelkanals zu überprüfen. Die Feile wurde bis zum Apex geschoben und sobald sie ersichtlich war einen Millimeter zurückgezogen. Anhand dieser Länge wurde somit die Arbeitslänge festgelegt. Die anschließende Aufbereitung erfolgte mit dem *FlexMaster*-System, wobei die Reihenfolge und Systematik der verwendeten Instrumente bei jedem Zahn gleichermaßen eingehalten wurden. Außerdem wurde darauf geachtet, dass die Kanäle während der Instrumentierung stets feucht gehalten wurden und konstante Drehzahlen sowie ein sanftes Auf-und Abgleiten (wiping motion) ohne Forcieren des Instrumentes eingehalten wurden.

Als Irrigationlösungen wurden in Wechselfspülung 40-prozentige Zitronensäure, 5-prozentiges Natriumhypochlorit und als Abschlusspülung zur Trocknung des Kanals, zusätzlich zu den beiden erstgenannten, 70-prozentiger Alkohol verwendet. Um eine gute Spülbarkeit der Kanäle zu gewährleisten, wurden die Zähne bis zur ISO-Größe .04 #45 aufbereitet. Da das *FlexMaster*-System keine Feilen größer #30 in der Konizität .04 beinhaltet, wurde die fehlende Feile durch die des *ProFile*-Systems ersetzt (.04 #40). Alle verwendeten Feilen wurden nach zehnmaligem Gebrauch durch neue ersetzt um Instrumentenfrakturen entgegenzuwirken und um eine gleichbleibende Schärfe der Feilen zu gewährleisten. Die Zähne wurden nach der Aufbereitung und Spülung in einer 0,5-

prozentigen NaCl-Lösung gelagert, um eine Austrocknung zu vermeiden, bevor sich Wurzelkanalfüllung und alle weiteren Schritte anschlossen.

6.4 Wurzelkanalfüllung

Die Wurzelkanalfüllung stellt sicherlich den wichtigsten Teil der Untersuchung dar, einerseits aufgrund der angewendeten Fülltechnik, andererseits wegen des verwendeten Sealers. Es wurden vier verschiedene Fülltechniken angewandt: Single-cone-Technik, Lateralkompaktion, Non-compaction-Technik und *Thermafil*. Kombiniert dazu wurden die beiden Sealer *Apexit Plus* und *GuttaFlow* jeweils mit einem Guttaperchastift der ISO-Größe 45 (außer bei der Warmfülltechnik *Thermafil*, da bei dieser Füllvariante die Guttapercha bereits im Carrier enthalten ist; siehe Punkt 4.5).

Bei *Apexit Plus* handelt es sich um eine calciumhydroxidhaltige Zweikomponentenpaste, *GuttaFlow* besteht aus einer Polydimethylsiloxanmatrix, welche hochgefüllt ist mit feinst gemahlener Guttapercha. Bei der Single-cone- oder Einstifttechnik wird ein dem aufbereiteten Wurzelkanal entsprechender Guttaperchastift verwendet, bestenfalls sollten die Form des Kanals und des Stiftes annähernd gleich sein. Erreicht der Stift im apikalen Bereich wie auch Richtung koronal eine gewisse Friktion, so wird er mit dem Sealer zementiert. Zusätzlich zum zentralen Guttaperchastift werden bei der Non-compaction- Technik Guttaperchastifte kleinerer Größe (ISO 20, ISO 25) in den aufbereiteten Wurzelkanal eingefügt und zementiert. Die Lateralkompaktion kann als Weiterentwicklung der vorher genannten Technik gedeutet werden, da hierbei zusätzlich Platz für die sekundären Stifte geschaffen wird, in dem mit speziellen Spreizinstrumenten („Speadern“) der Zentralstift an die Kanalwand gepresst wird und somit geringere Sealerschichten resultieren. Für die hiesige Studie wurden Guttaperchastifte der ISO-Größe 40 verwendet, sowie laterale Stifte der ISO-Größen 20 und 25. Die Warmfülltechnik *Thermafil* ist die einzige Technik in dieser Untersuchung, bei der ein mit Guttapercha konditionierter, isonormierter Kunststoffstift erwärmt und in den mit dem jeweiligen Sealer auskleideten Kanal eingebracht wird. Bei allen vier genannten Techniken wurde der jeweilige Sealer vor dem Einbringen des Guttaperchastiftes unter Zuhilfenahme isokodierter Pa-

pierspitzen in den Wurzelkanal eingebracht. Dabei wurden pumpende Bewegungen ausgeführt, um die gleichmäßige Verteilung sowie eine ausreichende Kanalwandbenetzung zu gewährleisten. Ebenso wurde bei allen angewendeten Methoden nach der Füllung mit Sealer und Guttapercha der jeweilige Stift (oder auch mehrere Stifte) mit einem heißen Instrument abgetrennt und die Füllung im Ganzen vertikal kompaktiert. Anschließend wurden alle Zähne zu deren Versiegelung mit einer Doppelschicht Nagellack überzogen (Abbildung 4), und zwar überall bis auf die koronale Kanalöffnung, um die Penetration des Farbstoffs beim Penetrationstest zu gewährleisten.



Abbildung 4: Beispiel für nagellacküberzogene Zähne

Alle Zähne wurden nun den Gruppen entsprechend mindestens eine Woche lang bei 37°Celsius und einer Luftfeuchtigkeit von 100% im Wärmeschrank gelagert, damit die jeweiligen Füllungen genug Zeit zum Aushärten hatten. Außerdem mimt diese Art von Lagerung das orale Milieu annähernd nach, was bei dieser Untersuchung keine unwesentliche Rolle spielt.

6.5 Farbstoffpenetration

Der nächste Schritt der Untersuchung bestand darin, die Zähne in Zentrifugengläser, die mit jeweils etwa 3ml 5-prozentiger Methylenblau-Lösung gefüllt waren, hineinzugeben. Dies diente der Vorbereitung zum Farbstoffpenetrationstest, mit dessen Hilfe die Dichtigkeit der Sealer untersucht werden sollte. Die Zentrifuge wurde mit einer Geschwindigkeit von 400 U/min in Gang gesetzt und die Proben für fünf Minuten beschleunigt (Abbildung 5). Danach wurden die Zähne wieder entsprechend ihrer Gruppe sortiert und mit Krepppapier getrocknet.



Abbildung 5: Zentrifuge

6.6 Herstellung der Polyurethansägeblöcke (PUR-Blöcke)

Nach der Farbstoffpenetration galt es die Zähne in schneidbare Blöcke zu betten, um eine Auswertung der Farbstoffpenetrationstiefe zu ermöglichen. Dafür wurde das Polyurethanharz (PUR-Harz) *Biresin G 27* verwendet. Die Zähne einer Gruppe ($n=10$) wurden zuerst auf einer circa 5x5cm großen Pappe mittels Bastelkleber befestigt und dann vorsichtig in die ebenso große vorgefertigte

Silikonform eingelassen. Die Form wurde anschließend mit PUR-Harz aufgefüllt, wobei Blöcke der ungefähren Größe von 5x5x5cm entstanden. Die nun ausgehärteten Blöcke wurden beschriftet und mittels der ebenso in die Blöcke eingelassenen Schrauben an der Präzisionssäge befestigt. Nun waren die Platten bereit für die Anfertigung der Serienschritte, die im Abstand von einem Millimeter erfolgten. Diese Schritte wurden mit einer Präzisionssäge durchgeführt. Die Dicke des Blattes betrug 150 µm, wodurch ein gewisser Verschnitt entstand, sodass der Abstand der Ebenen nicht genau einen Millimeter betrug, sondern etwas mehr. Diese Tatsache ist jedoch vernachlässigbar und soll nicht weiter thematisiert werden.

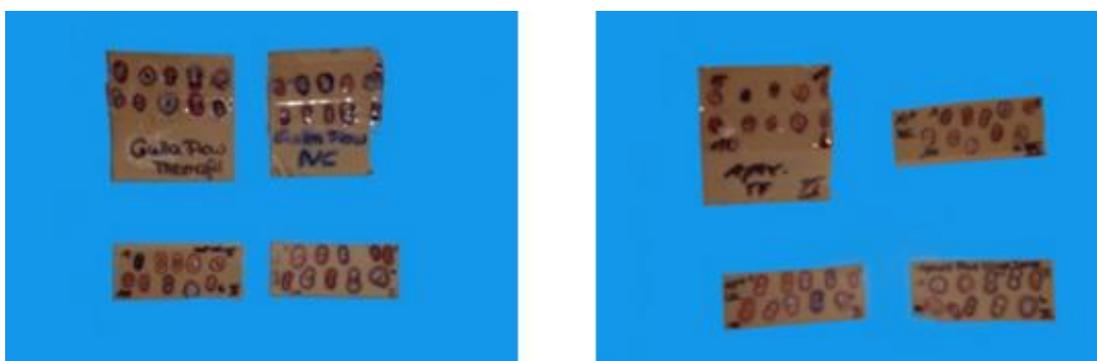


Abbildung 6: Serienschritte

6.7 Dichtigkeitsbewertung

Die entstandenen Serienschritte (Abbildung 6) wurden nun mit Hilfe eines Lichtmikroskops in achtfacher Vergrößerung ausgewertet. Pro PUR-Block resultierten zehn auswertbare Flächen, d.h. die Messung der Penetration erfolgte im Ein-Millimeter-Abstand (zu addieren ist die Dicke des Sägeblattes). Ermittelt wurde die lineare Penetrationstiefe durch drei unabhängige Untersucher. Ausgewertet wurde nach einer Ja-Nein-Entscheidung. Lag eine Blaufärbung der Wurzelkanalfüllung vor, so wurde in einem Auswertungsbogen ein „Ja“, bei fehlender Blaufärbung ein „Nein“ eingetragen. Diese Ergebnisse wurden in einer Statistik zusammengefasst und ausgewertet.

6.8 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm *SPSS 11.0* für Windows Version 14.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Die koronalen Undichtigkeiten wurden mit Hilfe der folgenden statistischen Tests ausgewertet:

- Univariate Varianzanalyse
- Kolmogrov-Smirnov-Test
- Kruskal-Wallis-Test
- Mann-Whitney-Test
- T-Test
- Multivariate Varianzanalyse

Das Signifikanzniveau wurde bei $p < 0,05$ festgelegt, wenn die Irrtumswahrscheinlichkeit kleiner oder gleich dem Signifikanzniveau ist.

7 Ergebnisse

Zur Bestimmung der Undichtigkeiten der Wurzelfüllmaterialien in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Fülltechniken wurden die Serienschnitte mikroskopisch untersucht. Die lineare Penetrationstiefe wurde von drei unabhängigen Untersuchern mit Hilfe eines Stereomikroskops ermittelt und, je nachdem ob Farbstoff zu erkennen war, mittels einer Ja-Nein-Entscheidung festgelegt. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit dem Statistikprogramm *SPSS 11.0*. Zur graphischen Darstellung dienen Säulen- und Boxplotdiagramme.

Das Säulendiagramm bildet die Farbstoffpenetration und folglich die damit verbundene Undichtigkeit höhenproportional ab, im Boxplot-Diagramm werden hingegen die Streuungs- und Lagemaße der Messwerte graphisch dargestellt. Der Boxplott unterteilt sich in verschiedene Bereiche: 50% der Daten liegen innerhalb der Box, welche durch den Median und die beiden Quartilen begrenzt wird. Die Whisker geben das Maximum beziehungsweise das Minimum einer Verteilung an. Datenpunkte, die außerhalb dieses Ranges liegen, werden als Ausreißer gewertet und als einzelne Punkte dargestellt. Im Boxplottdiagramm kann man also deutlicher erkennen, in welchem Bereich die Messwerte liegen und wie sie sich über diesen Bereichen verteilen.

Im Folgenden sind die Ergebnisse der linearen Penetrationstiefen (LPT) und die Standardabweichung (SD), sowie die Mittelwerte (MW), abhängig vom verwendeten Sealer, aufgelistet:

Sealer		Lineare Penetrationstiefe (LPT) in mm
<i>Apexit Plus</i>	Mittelwert (MW)	5,010
	Standardabweichung (SD)	2,632
<i>GuttaFlow</i>	Mittelwert (MW)	3,470
	Standardabweichung (SD)	2,293

Tabelle 7: Darstellung lineare Penetrationstiefe ohne Unterscheidung der Obturationstechnik

Die nächstfolgende Tabelle zeigt die durch drei unabhängige Untersucher erfassten Mittelwerte der linearen Penetrationstiefe in Abhängigkeit von der Obturationstechnik:

Sealer	Obturationstechnik	Lineare Penetrationstiefe in mm
<i>Apexit Plus</i>		
	SCT	4,48
	NCT	4,62
	LCT	4,03
	TF	6,91
<i>GuttaFlow</i>		
	SCT	2,67
	NCT	3,25
	LCT	4,39
	TF	3,57

Tabelle 8: Darstellung lineare Penetrationstiefe in Abhängigkeit von der Obturationstechnik

Das nachfolgende Säulendiagramm veranschaulicht die Ergebnisse der Mittelwerte. Hierbei zeigt die x-Achse die Säulen der verwendeten Sealer und Obturationstechniken, welche farblich markiert sind und durch die nebenstehende Le-

gende unterschieden werden können. An der y-Achse lässt sich über die Höhe der Säulen die jeweilige Penetrationstiefe in Millimetern ablesen.

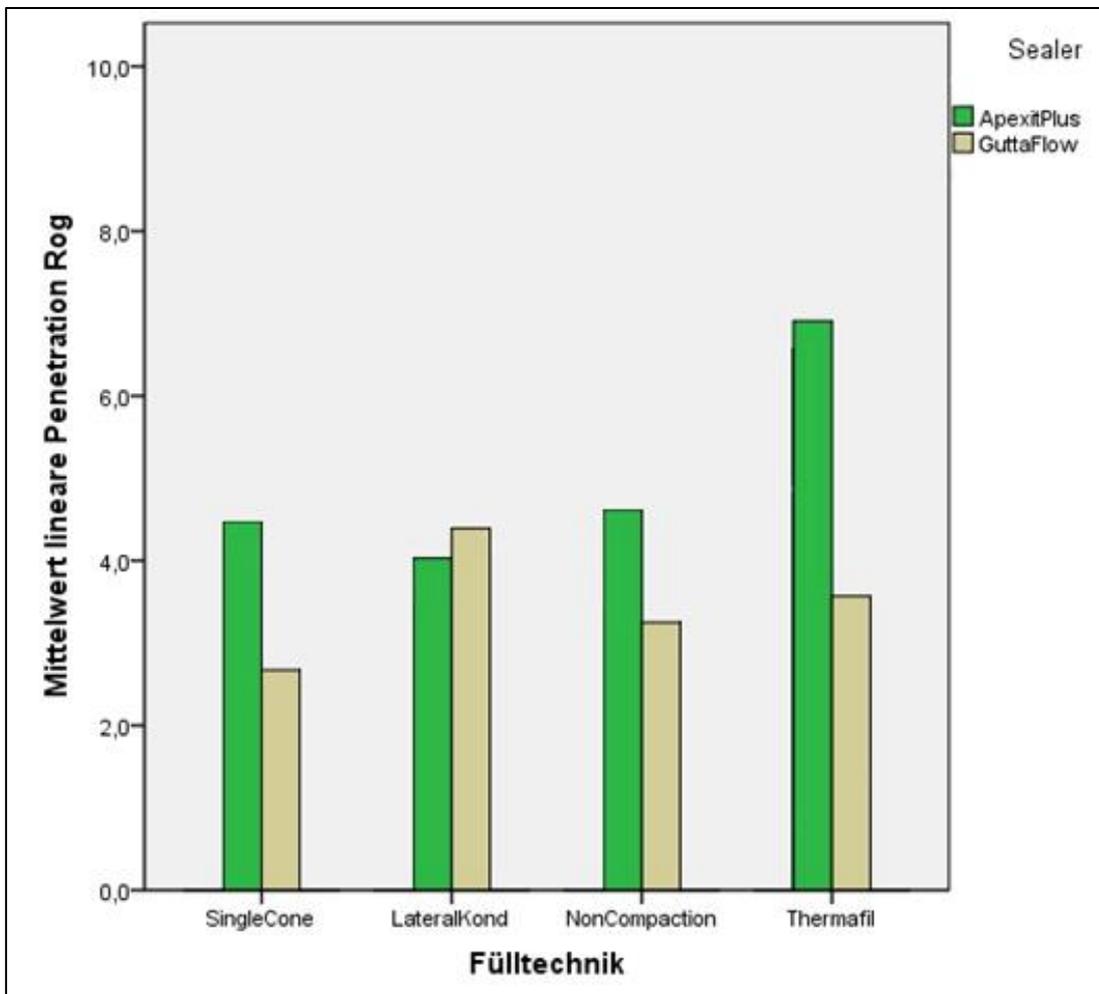


Abbildung 7: Ermittelte Penetrationstiefen (mm) der beiden Sealer in den vier experimentellen Gruppen

Anhand der Säulen ist zu erkennen, dass die Gruppe 2a, also *GuttaFlow* kombiniert mit der Single-cone-Technik durchschnittlich am besten abschneidet. Dicht folgt jedoch auch die Gruppe 2c, *GuttaFlow* in Verbindung mit der Non-compaction-Technik. Die schlechtesten Ergebnisse für den Sealer *GuttaFlow* lieferte die Lateralkompaktion (Gruppe 2b). Der Sealer *Apexit Plus* zeigt hingegen die geringsten Farbstoff-Eindringtiefen mit der Obturationstechnik Lateralkompaktion (Gruppe 1b). Bei den beiden Gruppen, welche mit der *Thermafil*-Technik gefüllt wurden, lässt sich erkennen, dass diese durchschnittlich

schlechter abschneiden. Betrachtet man die beiden verwendeten Sealer getrennt voneinander, lassen sich geringere Penetrationstiefen beim Sealer *GuttaFlow* feststellen.

Die beiden nachfolgenden Boxplot-Diagramme (Abbildung 8 und Abbildung 9) zeigen die Verteilung der einzelnen Dichtigkeitswerte innerhalb der einzelnen Gruppen. In Gruppe 1c (*Apexit Plus*, Non-compaction-Technik) traten die stärksten Schwankungen der Eindringtiefe der Farbstoffpenetration auf, wobei in der gesamten Gruppe 1a-1d (Sealer *Apexit Plus*) die Messwerte stark gestreut sind.

In Gruppe 2 (Sealer *GuttaFlow*) hingegen sind die Eindringtiefen zumindest bei a, c und d viel weniger groß und ebenso geringer gestreut, nur 2b (Lateralkompaktion) schneidet hier wesentlich schlechter ab. Am besten schneidet die Kombination *GuttaFlow* mit der Single-cone-Technik ab.

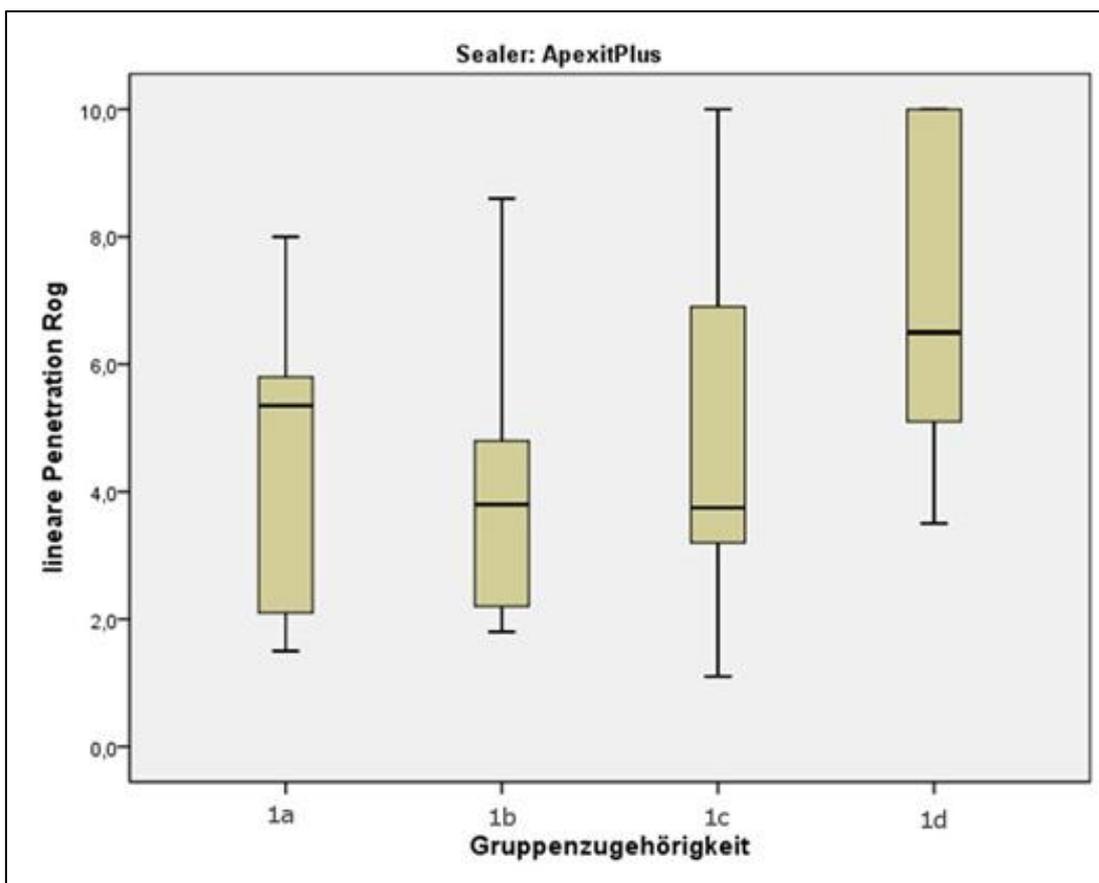


Abbildung 8: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der ermittelten linearen Penetrationstiefen bezüglich der Gruppenzugehörigkeit beim Sealer *ApexitPlus*

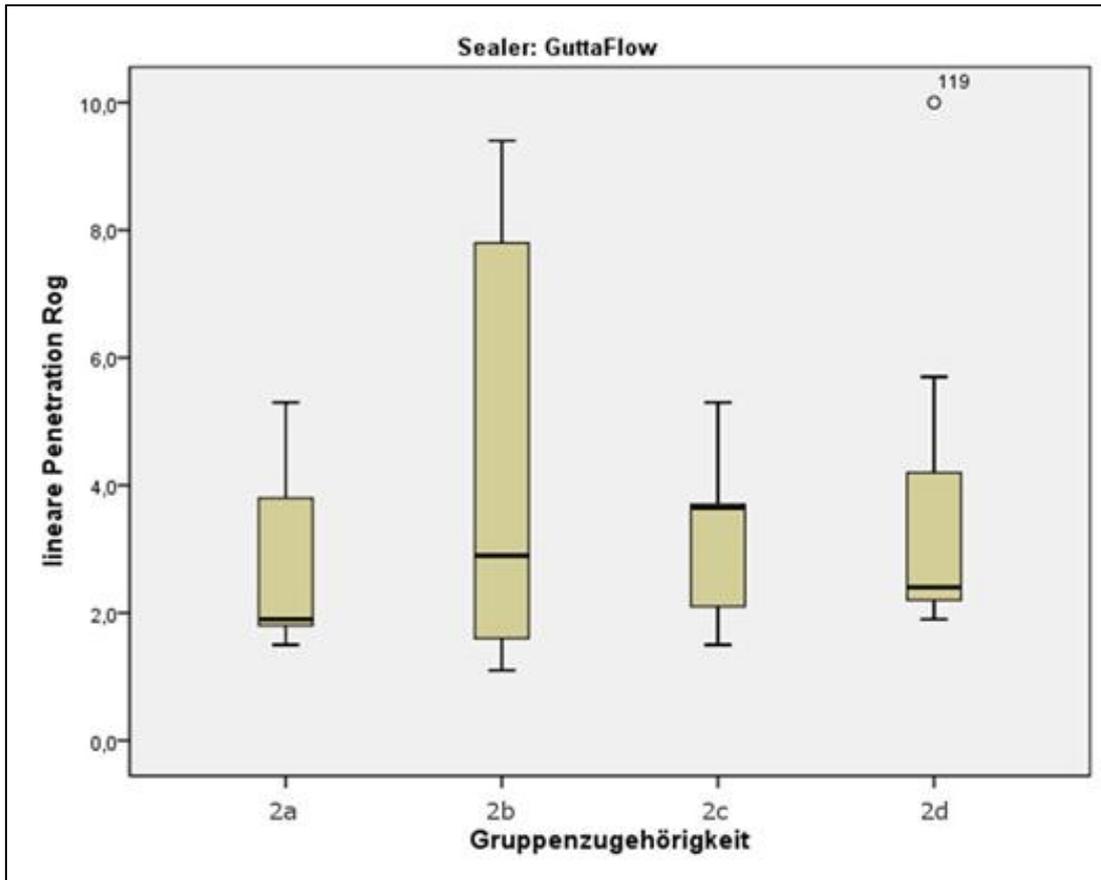


Abbildung 9: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der ermittelten linearen Penetrationstiefen bezüglich der Gruppenzugehörigkeit beim Sealer *GuttaFlow*

Der Kolmogorov-Smirnov-Test zeigt in fast allen Gruppen eine Normalverteilung der Ergebnisse an. Die Univariate ANOVA zeigt signifikante Unterschiede der Ergebnisse zwischen den Gruppen in Abhängigkeit der Faktoren Sealer und der Kombination Sealer/Obturationstechnik (alle drei $p=0,000$). Keine Signifikanz ergab sich beim Faktor Fülltechnik ($p=0,402$).

8 Diskussion

8.1 Diskussion von Material und Methodik

Der Inhalt dieser Studie ist die Untersuchung der koronalen Dichtigkeit von ovalen Wurzelkanälen bei Verwendung der Sealer *Apexit Plus* und *GuttaFlow* in Kombination mit vier verschiedenen Obturationstechniken. Somit wird eine Bewertung der Sealer wie auch der verschiedenen Fülltechniken ermöglicht.

8.1.1 Standardisierung

Um möglichst genaue und aussagekräftige Ergebnisse in einer In-vitro-Studie zu erlangen, ist es notwendig, einheitliche Voraussetzungen bei der Auswahl der verwendeten Materialien, Untersuchungsmethoden zu schaffen. Somit ist es möglich, die Ergebnisse dieser Studie mit Ergebnissen anderer Untersuchungen zu vergleichen.

Wie bereits zuvor erwähnt wurden nur Zähne mit einem einzigen Wurzelkanal gewählt, die Kanalöffnung nach Abtrimmen der Krone lag zwischen 2,11-2,88 mm. Alle Wurzelkanäle wurden, falls erforderlich, mit C-Feilen (ISO 8) gängig gemacht, die Arbeitslängen wurden bestimmt und bei allen Zähnen erfolgte die Aufbereitung mit der gleichen Instrumenten-Sequenz des *FlexMaster*-Systems. Auch die anschließende Spülung erfolgte auf dieselbe Weise bei allen Zähnen. Bei der jeweiligen Fülltechnik ist die Standardisierung unterschiedlich zu bewerten. Die Single-cone-Technik und *Thermafil*-Technik lassen eine Standardisierung zu, wobei die beiden anderen Techniken, welche Mehrstifttechniken darstellen, behandlerabhängiger und auch techniksensitiver sind. Die verwendeten Stift- und Sealermengen können variieren. Für die gefüllten und eine Woche bei 37°C gelagerten Zähne erfolgte abschließend die Farbstoffpenetration, die Einbettung in PUR-Harz sowie die Schnittherstellung und Bewertung.

Die Qualität einer Wurzelkanalfüllung ist außerdem in einem großen Maße von der Kompetenz, Erfahrung und angelernten Routine des Zahnarztes abhängig. Alle angewandten Techniken, die Aufbereitungs-, Spül- und Füllmethoden, wur-

den vorher erprobt, um Fehler durch ungeübte und falsche Ausführungen einzudämmen. Auch erfolgte die Reihenfolge der auszuführenden Schritte randomisiert, sodass sich durch Desinteresse und Gleichgültigkeit aufkommende Ermüdung in der Durchführung vermeiden lassen sollte. Routine führt häufig zu gleichen Ergebnissen, aber auch des Öfteren zu gleichen Fehlern.

Für die Genauigkeit der Ergebnisse spielt die Standardisierung der Parameter eine sehr wichtige Rolle: Ist die Streuung gering, so können die Thesen besser belegt werden. Damit ist ebenso ein Vergleich mit den Ergebnissen ähnlicher Untersuchungen umso besser möglich. Die Ergebnisse der Farbstoffpenetration zeigen, dass die Werte zwar eine gewisse Streuung aufweisen, jedoch der Interquartilsabstand eine verlässliche Aussage zulässt.

8.1.2 Auswahl der Zähne

Bei der Auswahl der für die Studie verwendeten Zähne wurde darauf geachtet, dass diese einwurzelig sind und ebenso nur einen Wurzelkanal aufweisen. Verwendet wurden nur Zähne der Unterkieferfront sowie Prämolaren des Ober- und Unterkiefers. Alle Zähne wurden vor deren Aufbereitung geröntgt, mehrwurzelige Zähne wurden bereits vorab aussortiert. Die Lagerung der extrahierten Zähne erfolgte in 0,5-prozentiger Chloramin-T-Lösung. Diese Maßnahme soll die Austrocknung des Dentins verhindern. Ob die Desinfizienz bei einer bestimmten Lagerungszeit zu Undichtigkeiten der Wurzelfüllung führen kann ist fraglich. Eine Studie bezüglich der Lagerung von extrahierten Zähnen in einer 0,5-prozentigen Chloramin-T-Lösung bei 4°C und deren Auswirkung auf Undichtigkeiten des Dentinbondings wurde von Camps et al. durchgeführt. Es ergaben sich bei einer Lagerung ab 48 Tagen zunehmende Undichtigkeiten innerhalb des Dentin-Bonding-Interface [14]. Auch in Chloramin-T (5%) aufbewahrte Guttaperchastifte verändern sich in Festigkeit und Länge [85].

Die Lagerung der extrahierten humanen Zähne in Chloramin-T-Lösung könnte unter Umständen zu einer Veränderung des Wurzelentins führen. Ist dies der Fall, könnte somit auch die Dichtigkeit der Wurzelfüllung beeinflusst bzw. betroffen sein.

8.1.3 Wurzelkanalquerschnitt

Die Verwendung von Zähnen, die bereits oval-geformte Wurzelkanäle aufweisen, war die Voraussetzung für diese Untersuchung. Um die ovale Form der Wurzelkanäle jedoch noch deutlicher zu simulieren, wurden Schallspitzen verwendet, um den Wurzelkanaleingang zu erweitern und nachträglich mit ISO-kodierten Hedströmfeilen der gesamte Kanal in seiner ovalen Grundform nachgefeilt. Somit sollte die ovale Form der untersuchten Wurzelkanäle weitgehend standardisiert werden.

Es existieren bereits Untersuchungen an ovalen Wurzelkanälen bezüglich Aufbereitung, Desinfektion etc.: Zmener et al. untersuchte die Reinigungswirkung der Aufbereitungssysteme *AET* (*Anatomic Endodontic Technology-System*, Ultradent) und *ProFile* in oval-geformten Wurzelkanälen. Er fand dabei heraus, dass das erstgenannte, zur Instrumentierung ovaler oder schlitzförmiger Wurzelkanäle entwickelte, System mit Feilen aus Stahl eine bessere Reinigungswirkung hat als das Nickel-Titan-Feilen-System *Profile*. Das Grundprinzip des *AET*-Systems ist die 30° rechts/links alternierende Bewegung der Stahlfeilen, zusätzlich können manuelle Auf- und Abwärtsbewegungen ausgeführt und an allen Kanalabschnitten entlang geführt werden. NiTi-Instrumente hingegen können nicht in die schmalen, seitlichen Kanalabschnitte geführt werden, was einen geringeren Dentinabtrag zur Folge hat [138]. Taha et al. fanden in einer ähnlichen Untersuchung jedoch keine Unterschiede in der Verwendung von *AET* und NiTi-Instrumenten bezüglich der Qualität der Aufbereitung, sogar die Aufbereitung mit Handinstrumenten führte zu keinen signifikanten Unterschieden [120].

In der in dieser Arbeit untersuchten Studie wurde ein NiTi-System (*Flexmaster*, VDW) zur Aufbereitung verwendet. Die ungenügende Aufbereitung der seitlichen Kanalabschnitte kann im zahnärztlichen Alltag zum Misserfolg einer Wurzelbehandlung führen. Einen Vorteil stellt laut Paqué et al. die Sichtweise der „zwei Einheiten“ dar: während der Aufbereitung sollte der ovale Kanal so behandelt werden, als wäre zwei Kanäle vorhanden. So scheint der Anteil der gereinigten Oberfläche vergrößert werden zu können [93].

8.1.4 Wurzelkanalaufbereitung

Alle Zähne wurden mit dem maschinellen NiTi-System *FlexMaster* bis Größe .04 #40 und anschließend mit einer Feile des *ProFile*-Systems bis Größe .04 #45 bis 1mm vor Apex aufbereitet. Die Systeme unterscheiden sich vor allem im Querschnitt der Nickel-Titan-Feilen: das *FlexMaster*-System besitzt einen dreieckigen konvexen Querschnitt mit schneidenden Kanten (siehe Punkt 3.3.3); das *ProFile*-System hat einen U-förmigen Querschnitt mit radialen Abrundungen. Beiden Systemen gemeinsam ist die nicht-schneidende Spitze. Eine neuere Studie aus dem Jahr 2010 zeigte bei einem Vergleich mehrerer Aufbereitungssysteme die beste Reinigungswirkung und geringste Mengen an Smear layer beim *ProFile*-System, am schlechtesten bezüglich dieser Punkte schnitt das *FlexMaster*-System ab [12]. In anderen Studien jedoch ergaben sich annähernd gleiche Reinigungswerte für die beiden Aufbereitungssysteme [115,136]. Im Gegensatz zur manuellen bietet die maschinelle Aufbereitung eine eher standardisierte Methode zur Wurzelkanalaufbereitung. Alle Kanäle sind gleichgroß bis Größe .04 #45 aufbereitet. Jede verwendete Feile wurde nach fünfmaligem Gebrauch verworfen und durch eine neue ersetzt, sodass Frakturen durch Materialverschleiß ausgeschlossen werden konnten. Ein Drehmoment-gesteuerter Motor verhinderte Frakturen durch forcierte Kraftanwendung.

8.1.5 Wurzelkanalspülung und Trocknung

Bereits während der Aufbereitung wurden die Wurzelkanäle zur Befeuchtung und damit besserem Gleiten der Aufbereitungsfeile regelmäßig gespült. Die Spülung erfolgte nach jedem Feilenwechsel innerhalb der Sequenz des *FlexMaster*-Systems. Verwendet wurden 5-prozentiges Natriumhypochlorit und 40-prozentige Zitronensäure. Als wichtigste Aufgabe obliegt es Natriumhypochlorit nekrotisches wie auch vitales Pulpengewebe aufzulösen [4]. Desweiteren zeigt es eine adäquate antibakterielle Wirkung, vor allem gegen *Enterococcus faecalis* [63]. Bedingt durch seine Eigenschaften gilt Natriumhypochlorit laut DGZMK-Stellungnahme in einer Konzentration zwischen 0,5% und 5% als Spüllösung der ersten Wahl [7]. Die Zitronensäure dient zur Auflösung der Schmier-schicht [34]. Heutzutage geht man davon aus, dass die Entfernung der durch

die Aufbereitung entstandenen Schicht, welche organische, anorganische und nekrotische Substanzen enthält, vorteilhaft ist, um die Mikroflora und die damit assoziierten Endotoxine im Kanal zu reduzieren und das erneute Bakterienwachstum einzudämmen. Zusätzlich hofft man auf bessere Dichtigkeitswerte der Wurzelkanalfüllung [29].

Die abschließende Spülung aller Zähne erfolgte mit jeweils 2ml Natriumhypochlorit, Zitronensäure und 1ml Alkohol. Der 70-prozentige Ethanol dient vorrangig der Trocknung des Wurzelkanals. In einer Studie von Stevens et al. ergaben sich bei der Verwendung von 95-prozentigem Ethyl-Alkohol als abschließende Spülung eine bessere Sealerpenetration sowie geringere Undichtigkeiten [118]. Zusätzlich wurden zur Trocknung der Kanäle ISO-kodierte Papierspitzen verwendet, um Feuchtigkeit als Fehlerquelle bei der Wurzelkanalfüllung annähernd auszuschließen.

8.1.6 Wurzelkanalfüllung

Nach der einheitlichen Aufbereitung, Spülung und Trocknung der Wurzelkanäle wurden die 80 verwendeten Proben mit den zu untersuchenden Sealern, *GuttaFlow* und *Apexit Plus*, beschickt und je nach angewandter Technik gefüllt. Bei den vier verschiedenen Wurzelfülltechniken handelt es sich um drei Kaltfülltechniken, nämlich die Single-cone-Technik, die Lateralkompaktion und die Non-compaction-Technik, und eine Warmfülltechnik, nämlich die *Thermafil*-Technik. Somit ergaben sich pro untersuchten Sealer in Kombination mit einer der vier Techniken acht Gruppen mit jeweils zehn Zähnen.

8.1.6.1 Sealerapplikation

Die Sealer *Apexit Plus* und *GuttaFlow* sind bereits in ihrer Applikation unterschiedlich. Der calciumsalicylatbasierte Sealer *Apexit Plus* wird vom Hersteller in einer Anmischkartusche geliefert, in der sich die zwei Komponenten befinden. Somit wird eine gleichmäßige Vermischung der Komponenten garantiert. Es ist entweder möglich den Sealer per Kunststoffspitze direkt aus der Kartu-

sche in den Kanal zu applizieren oder eine isokodierte Papierspitze mit Sealer zu beschicken und anschließend in den Kanal einzuführen.

Der Sealer *GuttaFlow* wurde mit Hilfe des mitgelieferten Dispensers direkt in den Kanal eingebracht. Es existieren verschiedene Möglichkeiten Wurzelfüllpasten in aufbereitete Wurzelkanäle einzubringen. In einer Studie aus dem Jahr 1997 untersuchten Kahn et al. unterschiedliche Methoden zur Sealerapplikation im Wurzelkanal. Sie verglichen sechs Methoden miteinander, u.a. Papierspitzen, Lentulos und *Max-i-Probe* (Dentsply). Letzteres stellt eine Art Kanüle mit seitlicher Öffnung knapp oberhalb der Spitze dar, die Spitze ist dagegen abgerundet und geschlossen. Damit soll eine Überpressung des Sealers und die Verletzung des Apex eingedämmt werden. Untersucht wurden mit Sealer gefüllte, artifiziell in durchsichtigen Kunststoffblöcken erschaffene, Wurzelkanäle. Schnitte der Kanäle wurden per Stereomikroskop auf ihre Sealerbenetzung hin geprüft. Das Ergebnis der Studie stellte den Lentulo- ein rotierendes, spiralförmiges Wurzelkanalinstrument- als beste Möglichkeit zur Sealerapplikation heraus, anschließend folgte das *Max-i-Probe*-System. Die Papierspitze als Applikator hingegen schnitt zusammen mit der Kerr-Feile am schlechtesten ab [62].

In dieser Studie wurde der Sealer *Apexit Plus* mit einer isokodierten Papierspitze in den Kanal eingebracht. Die Menge wurde folgendermaßen bestimmt: Eine Auf- und Abbewegung wurde solange ausgeführt, bis ein „schmatzendes“ Geräusch zu hören war und damit angenommen wurde, die Kanalwände ausreichend mit Sealer benetzt zu haben. Zusätzlich wurde der jeweilig verwendete Mastercone (Guttaperchastift) beim Sealer *Apexit Plus*, ausgenommen die der *Thermafil*-Methode, mit Sealer beschickt und anschließend in den Kanal eingebracht.

In einer anderen Untersuchung aus den USA wurden ebenfalls mehrere Möglichkeiten der Sealerapplikation untersucht, darunter Feilen, Lentulos und der Mastercone selbst. Es ergaben sich keine signifikanten Unterschiede, lediglich die Erkenntnis, dass die größten Variationen der Sealermenge im apikalen Bereich der Wurzelfüllung auftraten, wurde getroffen [131].

8.1.6.2 Single-cone-Technik

Bei der Single-cone- oder auch Zentralstifttechnik wird, wie bereits im Namen zu lesen, nur ein einziger Guttaperchastift in Kombination mit einem Sealer als Füllmaterial verwendet. Diese Tatsache führt zur Annahme, dass die Technik nicht nur einfacher, sondern auch schneller durchzuführen ist als andere Techniken. In einer interessanten In-vitro-Studie von Gound et al. wurden fünf Zahnmedizinstudenten aufgefordert 36 zuvor aufbereitete einkanälige Zähne mit jeweils drei Zentralstift- und Mehrstifttechniken zu obturieren. Die Studenten hatte zuvor außer Demonstrationen keinerlei Erfahrung mit Einstifttechniken. Die Proben wurden geröntgt und klinisch beurteilt. Zusätzlich wurde die Zeit gemessen, die für die Füllung benötigt wurde. Auch wurden die ersten drei fertig gefüllten Zähne mit den letzten drei gefüllten Zähnen aller gefüllten Proben verglichen. Die Ergebnisse bestätigten die oben aufgeführte Annahme, dass die Single-cone-Technik weniger Zeit in Anspruch nehmen als Mehrstifttechniken. Durchschnittlich sparten die Studenten 2 Minuten Zeit (Gesamtzeit: circa 7 Minuten). Die Qualität der Wurzelfüllung bezüglich Dichtigkeit und Länge zeigte bessere Werte bei den Mehrstifttechniken. Jedoch stellte sich kein Übungseffekt ein, d.h. auch mit zunehmender Erfahrung gab es keine Verbesserung der Qualität der Wurzelkanalfüllungen. Allenfalls die benötigte Zeit verkürzte sich wiederum [40]. Bei diesem interessanten Versuch lässt sich somit feststellen, dass die Qualität der Wurzelfüllung bei Anwendung der Zentralstifttechnik wesentlich vom Behandler abhängig ist und offensichtlich einige Übung erfordert, um adäquate Ergebnisse zu erlangen. Eine Zeiteinsparung erfolgte bei allen Techniken nach routinierter, mehrfach wiederholter Durchführung. Diese Erkenntnis könnte ein Minus für die Einstifttechnik bedeuten.

Einen weiteren Nachteil der Einstifttechnik könnte der höhere Sealeranteil im Kanal für die Wurzelfüllung im Vergleich zu Mehrstifttechniken darstellen. Der Sealer im Kanal sollte dazu dienen, den Raum zwischen Kanalwand und Gutta-perchastift zu füllen und damit der Bakterienpenetration entgegenwirken [33]. Die Problematik eines höheren Sealeranteils besteht darin, dass es zu Dimensionsveränderungen kommen kann, sowohl als Schrumpfung wie auch als Ex-

pansion [65, 91]. Eine höhere Schrumpfung führt zu Porositäten und Undichtigkeiten, eine Expansion andererseits kann zu Frakturen der Wurzel führen. Der Sealer sollte bei der Einstifttechnik also weitgehend dimensionsstabil sein, damit eine adäquate Wurzelfüllung erreicht werden kann.

8.1.6.3 Non-compaction-Technik

Anders als bei der Einstifttechnik werden bei dieser Methode zusätzliche, kleine Guttaperchastifte neben dem Zentralstift eingeführt und zementiert. Anzahl und Einführtiefe der Seitenstifte können dabei variieren. Bereits diese „einfache“ Mehrstifttechnik ist techniksensitiver und aufwändiger als Einstifttechniken, sie stellt eine Abwandlung der Lateralkompaktion dar. Der Vorteil gegenüber der Lateralkompaktion ist die verringerte Frakturgefahr, weil keine Spreader eingesetzt werden. Ebenfalls verringert sich die Möglichkeit bereits eingebrachte Guttaperchastifte versehentlich aus dem Kanal herauszuziehen. Gute apikale Dichtigkeitswerte wurden von Herbert et al. in einer Studie aus dem Jahr 2009 nachgewiesen [46].

8.1.6.4 Lateralkompaktion

Bei der bereits genannten Lateralkompaktion werden nach dem Einbringen des Sealers und des Mastercones zusätzliche kleine Guttaperchastifte verwandt, jedoch erst nach dem Einsatz von sogenannten Spreadern. Diese dünnen, spitzen und oberflächlich glatten Instrumente sind ebenfalls isokodiert und kompaktieren die bereits eingebrachten Anteile der Wurzelfüllung und schaffen Platz für mehrere kleine, der Größe des Spreaders entsprechende, Guttaperchastifte. Diese Technik gilt wegen ihrer langen Erprobung und erfolgreicher Ergebnisse als bevorzugte Obturationstechnik und damit als Goldstandard und wird auch international verwandt und an Universitäten gelehrt [95, 40, 125]. Es existieren die verschiedensten Studien, Untersuchungen und Vergleiche über die laterale Kompaktion, in welchen belegt wird, dass diese Technik vorwiegend erfolgsversprechende Ergebnisse hervorbringt [100, 72, 68]. Ein Manko ist, wie bereits oben erwähnt, die mögliche Gefahr der Wurzelfraktur bei forcierter Anwendung der Spreader. Das Risiko der Fakturierung wurde jedoch in einigen Studien als

gering bewertet, allenfalls Unterschiede ergaben sich bei der Auswahl des Instrumentes: Der D11-Spreader verursachte tendenziell mehr Frakturen als der Finger-Plugger, wenn auch nur sehr selten [17, 86, 132].

8.1.6.5 Thermafil-Technik

Neben den drei Kaltfülltechniken wurde als vierte Obturationsmethode die *Thermafil*-Technik in dieser Studie untersucht. Sie gehört zu den Warmfülltechniken und wurde nach Herstellerangaben angewandt. Die auf einem Kunststoffträger aufgebrachten Guttaperchastifte werden im sogenannten *ThermaPrep-Plus*-Ofen gemäß den Herstellerangaben erwärmt und in den mit Sealer beschickten Kanal eingebracht. Anschließend sollte der Stift circa 30 Sekunden unter Druck gehalten werden, bevor der Kunststoffträger mit einem erhitzten Instrument abgetrennt wird. Eine zusätzliche vertikale Kondensation ist bei dieser Technik nicht möglich.

Über die *Thermafil*-Technik existieren sehr viele Untersuchungen, mit ebenso vielen unterschiedlichen Ergebnissen [117, 123, 19]. Prinzipiell ist diese Wurzelkanalfüllmethode nach ausreichender Aneignung der Technik weniger techniksensitiv und zeitsparender als die Lateralkompaktion, da wiederum nur ein Guttaperchastift zur Obturation verwandt wird und die Sealerapplikation nur einmalig vor Einbringen des Stiftes erfolgt. Zusätzlich soll *Thermafil* bezüglich des Frakturrisikos gegenüber der Lateralkompaktion im Vorteil sein [111]. Einen Nachteil stellt hingegen das erhöhte Risiko des Überpressen des Sealermaterials bei der Warmfülltechnik dar [20]. Häufig findet sich auch im Apexbereich, statt Sealer und Guttapercha, nur noch der Kunststoffträger des *Thermafil*-Füllstiftes [61].

Bezüglich der Verwendung der *Thermafil*-Technik bei ovalen Kanälen existieren ebenso einige Studien: Ozawa et al. verglichen drei Obturationstechniken, nämlich, ähnlich dieser Studie, die Single-cone-Technik, die Lateralkompaktion und die *Thermafil*-Methode bezüglich ihrer Obturations-Effektivität. Die gefüllten Proben wurden geschnitten und im oberen, mittleren und unteren Drittel nach der prozentualen Sealerbeschichtung beurteilt. Signifikante Unterschiede

existierten zwischen der *Thermafil*-Technik und den beiden anderen Techniken nur im mittleren Drittel; dort war der prozentuale Zementanteil geringer [92]. Eine konkrete Schlussfolgerung lässt sich aus dieser Untersuchung leider nicht ableiten. Ähnliche Untersuchungen führten auch De-Deus et al. durch: sie verglichen drei thermoplastische Füllmethoden, inklusive *Thermafil*, und untersuchten nachher die Guttapercha-bedeckte Zone im Querschnitt (PGFA- percentage of gutta-percha-filled-area). Es ergaben sich signifikant höhere PGFA-Werte für die thermoplastischen Füllmethoden gegenüber der Lateralkompaktion. Zwischen den verschiedenen Heißfülltechniken ergaben sich keine signifikanten Unterschiede [22]. Auch die Bakteriendurchlässigkeit von *Thermafil* ergab in verschiedenen brasilianischen Studien im Vergleich mit Lateralkompaktion und anderen gängigen Warm- und Kaltfülltechniken keine signifikanten Unterschiede [21, 20]. Die Verwendung der *Thermafil*-Technik ist also durchaus zur Obturation ovaler Wurzelkanäle geeignet, es existieren jedoch wenige Untersuchungen über Vorteile in der Anwendung gegenüber anderen Techniken.

8.1.7 Dichtigkeitsuntersuchung

Zum eigentlichen Ziel der Studie gelangt man über die Penetration der Wurzelfüllungen mit einem Farbstoff. Es existieren ebenso andere Methoden zur Beurteilung der Dichte der Wurzelfüllung. Als „dicht“ bezeichnet man eine Füllung, welche keine Flüssigkeiten, Bakterien oder Luft durchlässt. Somit existieren verschiedene Möglichkeiten die Dichtigkeit zu untersuchen. Als Beispiel zu nennen wären der Glucosepenetrationstest, Bakterienpenetrationstests und diverse Farbstoffpenetrationstests. Als Farbstoffe kommen in Frage: Fuchsinrot, Eosin-rot, schwarze und blaue Tusche und Methylenblau. In dieser Untersuchung wurde Methylenblau verwandt, da es ein geringes Molekulargewicht besitzt und somit der Größe pathogener Bakterien stärker ähnelt als beispielsweise schwarzer Tusche [1]. Mente et al. untersuchten im Jahr 2010 verschiedene Färbemethoden speziell für endodontische Dichtigkeitsuntersuchungen. Neben Methylenblau in zwei verschiedenen Konzentrationen und schwarzer Tusche wurde auch Schreibtusche als möglicher Farbstoff untersucht. Schreibtusche drang weit weniger ins Dentin ein, als alle anderen untersuchten Farbstoffe.

Seine Molekülgröße ähnelt der Größer der wichtigsten pathogenen Spezies im endodontischen System am besten. Monte et al. schlussfolgerten, dass Schreibtusche die beste Methode zur Farbstoffpenetration darstellen könnte [81]. Bei einer positiven Penetration, d.h. bei Eindringen des Farbstoffes in die Wurzelfüllung, konnte durch die blaue Farbe eine klare Aussage getroffen werden, da es sich von Guttapercha und Sealer (beige bis rosafarben) optisch ohne Einwände abhebt. Neben der konventionellen Farbstoffpenetration existieren auch neuere Methoden, die genauere Ergebnisse liefern können: bei einer dieser von Camps et al. untersuchten Methode löst man die obturierten, farbstoffpenetrierten Wurzeln in 65-prozentiger Salpetersäure, um das Methylenblau zu extrahieren. Anschließend kann man die Absorption der Lösung ablesen und damit die Dichtigkeit der jeweiligen Wurzelfüllung beurteilen. Diese Methode zeigte im direkten Vergleich mit der konventionellen Farbstoffpenetration signifikant bessere Ergebnisse [15]. Bereits Anfang der Neunziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts wurden konventionelle Farbstoffpenetrationstests kritisiert und deren Ergebnisse in Bezug auf Dichtigkeitsuntersuchungen von Obturationstechniken und Sealern als wenig relevant beurteilt [135]. Leider ist auch heutzutage nicht geklärt, ob die positive Farbstoffpenetration und damit die Undichtigkeit der Wurzelfüllung in einer In-vitro-Studie mit dem klinischen Misserfolg der Wurzelkanalbehandlung gleichzusetzen wäre. Viele Faktoren werden bei dieser Methode ausgeklammert, seien es der Verschluss des Zahnes nach der Wurzelfüllung, die anwesenden Bakterien im Mundmilieu oder die Beschaffenheit der Zahnhartsubstanz vor der Extraktion und Lagerung. Die Ergebnisse der Studie sollten bestenfalls zusätzlich durch In-vivo-Studien belegt werden, was jedoch einen immensen Zeitaufwand erfordern würde und ebenso ethisch hinterfragt werden müsste. Somit stellt die Farbstoffpenetration eine einfache und standardisierbare Möglichkeit dar, Sealer und Obturationstechniken miteinander zu vergleichen.

Als Vorarbeit zur Farbstoffpenetration wurden alle Proben gruppenweise mit einer doppelten Schicht Nagellack bepinselt. Dabei wurde darauf geachtet, dass lediglich die koronale Öffnung, also die eigentliche Wurzelfüllung, nicht mit Lack überzogen wurde. Es durfte kein Dentin freigelassen werden, damit es

nicht zur Verfälschung der Ergebnisse kommen konnte. Die Farbstoffpenetration erfolgte in einer Zentrifuge mit 400 U/min und jeweils 3ml Methylenblau pro Zahn und Reagenzglas.

Nach Obturation und Farbstoffpenetration aller Proben wurden diese getrocknet und gruppenweise in Epoxidharz eingebettet. Die Zähne wurden auf eine mit Klebstoff beschickte Pappe aufgebracht, welche anschließend in eine kleine Silikonform gesetzt wurde. Als Einbettmaterial wurde ein sogenanntes Schnellgießharz verwendet. Das zweikomponentige Polyurethan-Gießharz ist ein einfach zu verarbeitendes Material. Es lässt sich leicht anmischen und durch eine niedrige Viskosität gut in die Form füllen [54]. Somit konnten alle Zähne gut umspült und fest im Harz verankert werden, sodass beim späteren Schnitt der festen Blöcke keine Zähne entfallen konnten.

8.1.8 Schnittmethoden

Es existieren unterschiedliche Methoden zur Auswertung der Farbstoffpenetration. In dieser Studie wurde die Querschnittstechnik angewandt. Bei dieser Technik werden die Proben in einem gewissen Abstand mit Präzisionssägen in kleine Scheiben gesägt und anschließend je nach Schnitthöhe nach positiver bzw. negativer Penetration bewertet. Als andere Techniken wären die Längsschnitttechnik und die Clearing-Technik zu nennen. Bei der Längsschnitttechnik werden die Proben ihrer Längsachse entlang geschnitten und die Farbstoffeindringtiefe direkt bestimmt. Bei der Clearing-Technik hingegen werden die Zähne durch ein sogenanntes Clearing-Verfahren durchsichtig gemacht. Dabei werden die Proben durch Demineralisation und Dehydratation mit dem Einsatz von Methylsalicylat oder HNO_3 transparent und damit ein computergestützter Indikator nachweis möglich gemacht [13]. Bei dieser Technik kann die Farbstoffpenetration zwischen Sealer und Kanalwand bewertet werden, jedoch kann keinerlei Farbstoffpenetration innerhalb des Füllmaterials oder zwischen Füllmaterial und Guttapercha bewertet werden [77]. Bei der in dieser Studie verwendeten Querschnittstechnik ist aufgrund der höheren Farbstoffpenetrationswerte eine exaktere Analyse der Ergebnisse möglich als bei der Clearing-Methode [77]. Der verwendete Farbstoff lässt sich innerhalb des Sealermaterials wie auch zwischen

Guttapercha und Sealer gut darstellen. Ebenso lässt sich die die Penetrations-tiefe gut beurteilen, was in dieser Untersuchung die Hauptforderung darstellt. Zusätzlich können neben der Tiefe auch die Farbstoffpenetrationsfläche und die Sealer-Guttapercha-Verteilung bewertet werden. Zu Ungenauigkeiten kommt es innerhalb der Technik durch den Verlust der Substanz der Proben beim Sägen. Außerdem kann eine Beurteilung nur in einem gewissen Abstand erfolgen, da die Dicke des Sägeblattes den Abstand der Schnitte determiniert. Die unter-suchten „Scheiben“ wurden jeweils von oben und unten bewertet, nachdem der Sägeabstand 1mm betrug. Der Verlust durch das Sägeblatt kann nicht genau berechnet werden und stellt somit eine Inkonstante dar. Welche Technik für welche Untersuchung am besten geeignet ist, sollte gut bedacht und je nach Fragestellung ausgewählt werden. Es existieren Untersuchungen, dass unter-schiedliche Untersuchungsmethoden zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können [101]. Somit sollte die Bewertung von Ergebnissen einer einzelnen Stu-die immer mit Vorsicht betrachtet werden. Ein Vergleich mit anderen Studien ähnlicher Inhalte erscheint sinnvoll.

8.2 Diskussion der Ergebnisse

In dieser Studie wurden die beiden Sealer *GuttaFlow* und *Apexit Plus* in Kombi-nation mit vier verschiedenen Wurzelfülltechniken in ovalen Wurzelkanälen auf ihre koronale Dichtigkeit hin untersucht. Die vier Techniken, nämlich die Single-cone-Technik, die Lateralkompaktion, die Non-compaction Technik und die *Thermafil*-Technik stellen in der Praxis gängige Füllmethoden dar. Es existieren bereits einige Studien, die verschiedene Sealer kombiniert mit diesen Techni-ken beleuchten, wenige jedoch mit dem Augenmerk auf ovale Wurzelkanäle.

Apexit Plus ist ein Sealer auf Calciumsalicylat-Basis. Laut Hersteller ist *Apexit Plus* nicht schrumpfend, sondern leicht expandierend, und mit allen Obturati-onsmethoden in Kombination mit Guttapercha anwendbar [53]. Der Sealer hat eine gewisse und kurz andauernde antibakterielle Wirkung gegen *Enterococcus faecalis* und *Candida albicans* [89, 116]. Außerdem werden durch seine Inhalte kleine Mengen an Hydroxidionen abgegeben, die auf entzündetes und somit saures Gewebe eine basische und damit neutralisierende Wirkung haben kön-

nen [94]. In Studien, in denen verschiedene Sealer auf ihre Dichtigkeit hin untersucht worden sind, schnitt *Apexit Plus* oftmals zufriedenstellend und vergleichbar-oder sogar besser- mit dem „Goldstandard“-Sealer *AH Plus* ab [84, 108, 30].

Leider konnten diese Ergebnisse in dieser Studie nicht bestätigt werden. *Apexit Plus* schnitt generell schlechter ab als der zweite untersuchte Sealer *GuttaFlow* und zeigte keine zufriedenstellenden Dichtigkeitswerte. Die Farbstoffpenetration verlief maximal bis Ebene 7 von 10, die geringste Penetration verlief bis Ebene 4 von 10. Zu unterscheiden sind Studien in denen entweder die koronale oder die apikale Dichtigkeit untersucht worden sind. Bei den apikalen Dichtigkeitsuntersuchungen ist die Penetrationstiefe überwiegend geringer als bei koronalen Untersuchungen [76, 75, 102]. Diese Tatsache könnte schlicht der Größe der Öffnung der Farbangriffsfläche geschuldet sein, die bei der koronalen Untersuchung anzunehmend größer ist als bei der apikalen Untersuchung.

Der zweite untersuchte Sealer *GuttaFlow* ist ein Füllmaterial auf Guttaperchabasis, d.h Guttaperchapulver eingebettet in eine Polydimethylsiloxan-Matrix. Das Material ist Herstellerangaben zufolge, ebenso wie *Apexit Plus*, zur definitiven Wurzelkanalfüllung geeignet. Neben der praktischen Applikation und der guten Gewebeverträglichkeit wird vom Hersteller die positive Eigenschaft der Expansion dieses Füllmaterials angepriesen [50].

De-Deus et al. untersuchten die Dichtigkeit dieses Füllmaterials in ovalen Kanälen im Jahr 2007. Im Vergleich mit dem „Goldstandard“ *AH Plus* und *Pulp Canal Sealer* schnitt *GuttaFlow* zusammen mit *RoekoSeal*, ebenso ein Sealer auf Silikonbasis, signifikant besser ab [18]. Aufgrund der Guttaperchapartikel in der Matrix zeigt der Sealer in verschiedenen Studien eine sehr gute Adhäsion an Guttaperchastiften und ebenso am Dentin [128, 110]. *GuttaFlow* kann zusätzlich in Kombination mit einem Dentinprimer verwandt werden, welcher zu einem adhäsiven Verbund zwischen Guttaperchastift und Sealer führen soll.

In der vorliegenden Untersuchung zeigten sich moderate Ergebnisse für den Sealer *GuttaFlow*. Die größte Farbstoffpenetration verlief bis Ebene 4 von 10, die geringste bis Ebene 3 von 10. Verglichen mit *Apexit Plus* zeigen sich somit durchaus bessere Dichtigkeitsergebnisse für den Guttapercha-basierten Sealer. Die Ergebnisse ließen sich unter Verwendung eines Primers eventuell noch verbessern.

8.2.1 Single-cone-Technik

Die zeitsparendste und einfachste Technik zeigte sich in dieser Untersuchung als die mit den besten Ergebnissen. Vorstellbar als Begründung dieses Ergebnisses ist die Einfachheit in der Anwendung, da ausschließlich der Sealer und ein Guttaperchastift (Mastercone) als Füllung verwendet wurden. Beim Sealer *Apexit Plus* lag die durchschnittliche Penetrationstiefe bei 4,5 mm, *GuttaFlow* hingegen zeigte ein noch besseres Ergebnis mit durchschnittlich 2,7 mm. In einer Vergleichsstudie von Pitout et al. zeigte *GuttaFlow* gleich gute Ergebnisse in Verwendung mit der Single-cone-Technik wie die Lateralkompaktion, die jedoch wesentlich zeitaufwendiger und schwieriger in der Anwendung ist [134]. Auch der Hersteller empfiehlt die Verwendung der Einstifttechnik, es werden sogar spezielle Guttaperchastifte angeboten, die einen größeren Taper aufweisen (0.04) und somit konischer verlaufen. Durch den Verbund des Stiftes mit dem Guttapercha-haltigen Sealer und dessen Expansion kommt es offensichtlich zu einer scheinbar guten Abdichtung des Wurzelkanals [51].

Obwohl die abgefüllten Wurzelkanäle allesamt oval waren, konnten beide Sealer in Anwendung mit der Single-cone-Technik offenbar eine moderate Abdichtung erreichen. Der Guttaperchastift kann die koronale Öffnung mit seinem runden Querschnitt nicht komplett ausfüllen, jedoch nimmt die ovale Form mit zunehmender Tiefe des Kanals ab, sodass weiter apikal nur noch ein runder Querschnitt zu erwarten ist.

8.2.2 Lateralkompaktion

Die am besten untersuchte und am häufigsten angewandte Fülltechnik stellt die Lateralkompaktion dar. In den meisten Studien werden andere Fülltechniken mit dieser bewährten Methode verglichen und als Referenz herangezogen. Durch zusätzliche Guttaperchastifte neben dem Mastercone wird der Sealeranteil in der Wurzelfüllung verringert. Die Ergebnisse der Farbstoffpenetration fallen etwas schlechter aus im Vergleich mit der Single-Cone-Technik: Beim Sealer *Apexit Plus* liegt die mittlere Penetrationstiefe bei 4,0 mm und bei *GuttaFlow* bei 4,4 mm. Durch den Einsatz von Spreadern zur Platzbeschaffung für die lateralen Guttaperchastifte kann der bereits eingebrachte Sealer wieder verdrängt und unter Umständen über den Apex hinaus gepresst werden. Damit können in der Wurzelfüllung Hohlräume entstehen, die auch durch die seitlichen Stifte nicht komplett wieder ausgefüllt werden können [134]. Diese Tatsache wiederum kann zu Undichtigkeiten innerhalb der Füllung führen, was die tiefere Farbstoffpenetration im Vergleich zur Single-cone-Technik in dieser Studie erklären könnte.

8.2.3 Non-compaction-Technik

Die Farbstoffpenetrationswerte für *Apexit Plus* und *GuttaFlow* liegen in der hiesigen Untersuchung bei durchschnittlich 4,6 und 3,2 mm. Die Werte sind ähnlich bzw. sogar besser, als die der Lateralkompaktion. Durch das Fehlen des Spreadereinsatzes kommt es weniger zu Überpressung und Hohlräumen innerhalb der Füllung, sodass nicht nur die verkürzte Arbeitszeit und einfachere Handhabung einen Vorteil gegenüber der Lateralkompaktion darstellen. Herbert et al. untersuchten u.a. die Adaptation an die Kanalwand und an Guttaperchastifte und stellten dabei Werte von 99 und 98% in Kombination von beispielsweise *GuttaFlow* mit der Non-compaction-Technik fest [46]. Ebenso gute Werte konnten in der vorliegenden Untersuchung leider nicht erzielt werden, jedoch muss bedacht werden, dass die Untersuchungsmethode eine andere war.

8.2.4 *Thermafil*

Bei der *Thermafil*-Technik war die höchste Farbstoffpenetration mit einem Mittelwert von 6,9mm bei *Apexit Plus* und 3,7 mm bei *GuttaFlow* zu erkennen. Für den Sealer *Apexit Plus* schnitt diese Obturationsmethode verglichen mit den drei anderen dieser Untersuchung hinsichtlich ihrer Dichtigkeit am schlechtesten ab. In vielen Studien zeigt das *Thermafil*-System hinsichtlich des Guttaperchaanteils innerhalb der Wurzelfüllung sowie der Obturation der Seitenkanäle bessere Werte als bei der Lateralkompaktion oder anderen Kaltfülltechniken [92, 23]. Gründe für die relativ schlechten Farbstoffpenetrationswerte bei der *Thermafil*-Technik könnten beispielweise in der fehlerhaften Ausführung liegen. Als Beispiele für Fehler könnten die zu druckintensive Haltezeit des Obturators oder die zu geringe Erhitzung der Guttapercha genannt werden. Ebenso möglich ist eine erhöhte apikale Überpressung des Materials. Auch in einer Studie von Scott et al. konnten bezüglich der Überpressung des Materials erhöhte Werte aufgezeigt werden [114]. Die Anwendung ist für den Behandler aufgrund der völlig anderen Vorgehensweise im Vergleich mit allen Kaltfülltechniken gewöhnungsbedürftig und sollte über einen längeren Zeitraum erprobt werden.

8.3 Klinische Ausblicke

In dieser Studie wurden zwei auf dem Markt erhältliche Sealer untersucht und mit vier verschiedenen Obturationstechniken auf ihre Dichtigkeit getestet. Anhand der statistischen Auswertung konnte erkannt werden, dass die Dichtigkeit sowohl von Sealer, Technik und der Verbindung beider Komponenten beeinflusst wird. Somit ist nicht jeder Sealer mit jeder Fülltechnik gut kombinierbar. Die Warmfülltechnik *Thermafil* schnitt beispielsweise mit dem Sealer *GuttaFlow* moderat ab, was sich beim zweiten untersuchten Sealer *Apexit Plus* nicht bestätigen ließ. Da die auf dem Markt erhältlichen Sealer sowohl unterschiedlichste Zusammensetzungen sowie Viskositäten aufweisen, sollten sie vor der Anwendung in der zahnärztlichen Praxis getestet werden. Gleiches gilt für die Umsetzung neuer Techniken.

Anhand der hier ermittelten Ergebnisse kann keiner der untersuchten Sealer mit allen Obturationstechniken uneingeschränkt empfohlen werden. Zwar stellte sich *GuttaFlow* mit allen vier untersuchten Techniken besser dar als *Apexit Plus*, jedoch kam es auch bei diesem Sealer zu höheren Penetrationstiefen als empfehlenswerterweise gefordert. Weitere Tests, z.B. Glucose-Flüssigkeits- und Bakterienpenetrationstests wären notwendig, um klarere Aussagen zur Bewertung der Füllpasten zu machen.

9 Literaturverzeichnis

1. Ahlberg KM, Assavanop P, Tay WM (1995) A comparison of the apical dye penetration patterns shown by methylene blue and india ink in root-filled teeth. *Int Endod J* 28, 30-34.
2. Al-Hadlaq SM, Al-Jamhan A, Alsaeed T (2010) Comparison of the single cone and cold lateral compaction techniques in sealing 0.04 taper root canal preparations. *Gen Dent* 58, 219-222.
3. Al-Hiyasat AS, Tayyar M, Darmani H (2010) Cytotoxicity evaluation of various resin based root canal sealers. *Int Endod J*, 43, 48-53.
4. Andersen M, Lund A, Andreasen JO, Andreasen FM (1992) In vitro solubility of human pulp tissue in calcium hydroxide and sodium hypochlorite. *Endod Dent Traumatol* 8, 104-108.
5. Bargholz C, Hör D, Zirkel Ch, *Praxisleitfaden Endodontie*, 1. Auflage, Elsevier Urban und Fischer, München, 2006, 108-292.
6. Barkhordar RA, Goodis HE, Watanabe L, Koumdjian J (1990) Evaluation of temperature rise on the outer surface of teeth during root canal obturation techniques. *Quintessence Int* 21, 585-588.
7. Barthel C, Georgi M, Schäfer E, Petschelt A, Flachsenberg S, Neuber T, Kockapan C, Weiger R, Hülsmann M (2006) Stellungnahme der AG Endodontologie und Traumatologie der DGZ, DZZ.
8. Baumann MA (2006) Aktuelle Techniken der Wurzelkanalfüllung, *BZB* 5, 35-38.

9. Beer R, Baumann MA, Endodontologie, 1. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1997, 74-75.
10. Bergenholtz G, Hørsted-Bindslev P, Reit C, Textbook of Endodontology, 2. Auflage, John Wiley and Sons, West Sussex, 2010, 225.
11. Bernáth M, Szabó J (2003) Tissue reaction initiated by different sealers. *Int Endod J* 36, 256-261.
12. Brkanić T, Ivana S, Vukoje K, Zivković S (2010) Scanning electron microscopy investigation of canal cleaning after canal preparation with nickel titanium files. *Srp Arh Celok Lek* 138, 551-556.
13. Buchalla W, Attin T, Brücklmeier R, Hellwig E (1999) Computergestützte Methode zur quantitativen Bestimmung der apikalen Undichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen. *Dtsch Zahnärztl Z* 54, 244-248.
14. Camps J, Baudry X, Bordes V, Dejou J, Pignoly C, Ladeque P (1996) Influence of tooth cryopreservation and storage time on microleakage. *Dent Mater* 12, 121-126.
15. Camps J, Pashley D (2003) Reliability of the dye penetration studies. *J Endod* 29, 592-594.
16. Clark-Holke D, Drake D, Walton R, Rivera E, Guthmiller JM (2003) Bacterial penetration through canals of endodontically treated teeth in the presence or absence of the smear layer. *J Dent* 31, 275-281.
17. Dang DA, Walton RE (1990) Distortion and vertical fracture of the root: effect produced by condenser design. *Endodoncia* 8, 177-186.

18. De-Deus G, Brandão MC, Fidel RA, Fidel SR (2007) The sealing ability of GuttaFlow in oval-shaped canals: an ex vivo study using a polymicrobial leakage model. *Int Endod J* 40, 794-799.
19. De-Deus G, Maniglia-Ferreira CM, Gurgel-Filho ED, Paciornik S, Machado AC, Coutinho-Filho T (2007) Comparison of the percentage of gutta-percha-filled area obtained by Thermafil and System B. *Aust Endod J* 33, 55-61.
20. De Deus G, Murad CF, Reis CM, Gurgel-Filho E, Coutinho Filho T (2006) Analysis of the sealing ability of different obturation techniques in oval-shaped canals: a study using a bacterial leakage model. *Braz Oral Res* 20, 64-69.
21. De-Deus G, Murad C, Paciornik S, Reis CM, Coutinho-Filho T (2008) The effect of the canal-filled area on the bacterial leakage of oval-shaped canals. *Int Endod J* 41, 183-190.
22. De-Deus G, Reis C, Beznos D, de Abranches AM, Coutinho-Filho T, Paciornik S (2008) Limited ability of three commonly used thermoplastitized gutta-percha techniques in filling oval-shaped canals. *J Endod* 34, 1401-1405.
23. De-Deus G, Gurgel-Filho ED, Magalhães KM, Coutinho-Filho T (2006) A laboratory analysis of gutta-percha-filled area obtained using Thermafil, System B and lateral condensation. *Int Endod J* 39, 378-383.
24. De Oliveira LD, Jorge AO, Carvalho CA, Koga-Ito CY, Valera MC (2007) In vitro effects of endodontic irrigants on endotoxins in root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 104, 135-142.

25. DGZ und DGZMK (2000) Wurzelkanalaufbereitung Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und DZZ, Dtsch Zahnärztl Z, 55.
26. DGZ und DGZMK (2005) Maschinelle Wurzelkanalaufbereitung, Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und DGZ. Dtsch Zahnärztl Z 60, 8.
27. DGZ und DGZMK (2000) Wurzelkanalfüllpasten und –Füllstifte, Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und DGZ. Dtsch Zahnärztl Z 55, 9-11.
28. Diamond A, Carrel R (1984) The smear layer: a review of restorative progress. J Pedod 8, 219-226.
29. Di Lenarda R, Cadenaro M, Sbaizero O (2000) Effectiveness of 1 mol L⁻¹ citric acid and 15% EDTA irrigation on smear layer removal. Int Endod J 33, 46-52.
30. Eldeniz AU, Ørstavik D (2009) A laboratory assessment of coronal bacterial leakage in root canals filled with new and conventional sealers. Int Endod J 42, 303-312.
31. European Society of Endodontology (1994) Consensus report for the European Society of Endodontology on quality guidelines for endodontic treatment. Int Endod J 27, 115–124.
32. Fonzar F, Fonzar A, Buttolo P, Worthington HV, Esposito M (2009) The prognosis of root canal therapy: a 10-year retrospective cohort study on 411 patients with 1175 endodontically treated teeth. Eur J Oral Implantol 2, 201-208.

33. Gängler P, Hoffmann T, Willershausen B, Schwenzer N, Ehrenfeld M, Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie, 3.Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 235.
34. Garberoglio R, Becce C (1994) Smear layer removal by root canal irrigants. A comparative scanning electron microscopic study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 78, 359-367.
35. Garg N, Garg A, Textbook of endodontics, 1. Auflage, Jaypee Brothers Medical Publisher, Neu Delhi, 2007, 220.
36. Gebrauchsanweisung Ketac endo (2005) 3M ESPE, Seefeld, Deutschland.
37. Gernhardt CR, Eppendorf K, Kozlowski A, Brandt M (2004) Toxicity of concentrated sodium hypochlorite used as an endodontic irrigant. Int Endod J 37, 272-280.
38. Goldmann, LB, Goldman M, Kronman JH, Lin PS (1981) The efficacy of several irrigating solutions for endodontics: a scanning electron microscopic study. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 52, 197-204.
39. Gomes BP, Martinho FC, Vianna ME (2009) Comparison of 2.5% sodium hypochlorite and 2% chlorhexidine gel on oral bacterial lipopolysaccharide reduction from primarily infected root canals. J Endod 35, 1350-1353.
40. Gound TG, Sather JP, Kong TS, Makkawy HA, Marx DB (2009) Graduating dental students' ability to produce quality root canal fillings using single- or multiple-cone obturation techniques. J Dent Educ 73, 696-705.

41. Gressmann G, Hülsmann M (2001) Die maschinelle Wurzelkanalaufbereitung mit dem FlexMaster-NiTi-System. Endodontie 10, 227.
42. Haznedaroğlu F (2003) Efficacy of various concentrations of citric acid at different pH values for smear layer removal. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 96, 340-344.
43. Heidemann D, Endodontie, Studienausgabe Praxis der Zahnheilkunde, 4. Auflage, Elsevier Urban und Fischer, München, 2001, 132- 147.
44. Hellwig E, Klimek J, Attin Th, Einführung in die Zahnerhaltung , 3. Auflage, Urban und Fischer, München , 2003, 302-303.
45. Hellwig E, Klimek J, Attin T, Einführung in die Zahnerhaltung: Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie, 5. Auflage, Deutscher Zahnärzte-Verlag, Köln, 2009, 402.
46. Herbert J, Bruder M, Braunsteiner J, Altenburger MJ, Wrbas KT (2009) Apical quality and adaptation of Resilon, EndoREZ, and GuttaFlow root canal fillings in combination with a noncompaction technique. J Endod 35, 261-264.
47. Hotz P, Buser D (2004) Prof. André Schroeder zum Gedenken. Schweizer Monatsschrift Zahnmedizin 114, 653.
48. <http://de.wikipedia.org/wiki/Guttapercha>
49. <http://www.aura-shop.de/PDF/DatenblattG27.pdf>
50. http://www.coltene.com/download.php?file_id=3672
51. http://www.coltene.com/download.php?file_id=2563

52. <http://www.ivoclarvivadent.de/zooluwebsite/media/document/1205/Apexit+Plus>
53. http://www.dentsply.de/docs/ifudocs.aspx?id=31746&domid=1042&sp=D&m1=31071&m2=31129&m3=31233&m4=31746&ifufile=AHPlusJet_IFU.pdf
54. <http://www.vdwdental.com/fileadmin/redaktion/downloads/produkte/FlexMaster.pdf>
55. Huang TH, Yang JJ, Li H, Kao CT (2002) The biocompatibility evaluation of epoxy resin-based root canal sealers in vitro. *Biomaterials* 23, 77-83.
56. Hülsmann M, Die Aufbereitung des Wurzelkanals, In: Heidemann, D. (hrsg.) *Endodontie*. Urban und Fischer, München, Jena (2001), 79-122.
57. Hülsmann M (2006) Die Desinfektion des endodontischen Systems. *Endodontie* 15, 147-170.
58. Ingle JI (1955) The need for endodontic instrument standardisation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 8, 1211.
59. Iványi I, Gyurkovics M, Várnagy E, Rosivall L, Fazekas A (2008) Comparison of guttapercha points of different brands. *Fogorv Sz* 101, 65-69.
60. Johnson WB (1978) A new gutta-percha technique. *J Endod* 4, 184-188.
61. Juhlin JJ, Dovgan JS (1993) Adaptation of Thermafil components to canal walls. *J Endod* 19, 130-135.

62. Kahn FH, Rosenberg PA, Schertzer L, Korthals G, Nguyen PN (1997) An in-vitro evaluation of sealer placement methods. *Int Endod J*;30, 181-186.
63. Karale R, Thakore A, Shetty V (2011) An evaluation of antibacterial efficacy of 3% sodium hypochlorite, high-frequency alternating current and 2% chlorhexidine on *Enterococcus faecalis*: An in vitro study. *J Conserv Dent* 14, 2-5.
64. Karapinar-Kazandağ M, Tanalp J, Bayrak OF, Sunay H, Bayirli G (2010) Microleakage of various root filling systems by glucose filtration analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 109, 96-102.
65. Kazemi RB, Safavi KE, Spångberg LS (1993) Dimensional changes of endodontic sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 76, 766-771.
66. Kim YK, Grandini S, Ames JM, Gu LS, Kim SK, Pashley DH, Gutmann JL, Tay FR (2010) Critical review on methacrylate resin-based root canal sealers. *J Endod* 36, 383-399.
67. Klimm W, Endodontologie. Deutscher Zahnärzte Verlag DÄV, Köln (2003), 185.
68. Koch K, Min PS, Stewart GG (1994) Comparison of apical leakage between Ketac Endo sealer and Grossman sealer. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 78, 784-787.
69. Koch MJ, Wünstel E, Stein G (2001) Formaldehyde release from ground root canal sealer in vitro. *J Endod* 27, 396-397.
70. Koçkapan C (1995) Die Bedeutung der Schmierschicht bei der Wurzelkanalbehandlung- eine Übersicht. *Endodontie* 2, 33-48.

71. Kokkas AB, Boutsoukias ACh, Vassiliadis LP, Stavrianos CK (2004) The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *J Endod* 30, 100-102.
72. Leonardo MV, Goto EH, Torres CR, Borges AB, Carvalho CA, Barcellos DC (2009) Assessment of the apical seal of root canals using different filling techniques. *J Oral Sci* 51, 593-599.
73. Lertchirakarn V, Palamara JE, Messer HH (1999) Load and strain during lateral condensation and vertical root fracture. *J Endod* 25, 99-104.
74. Lertchirakarn V, Timyam A, Messer HH (2002) Effects of root canal sealers on vertical root fracture resistance of endodontically treated teeth. *J Endod* 28, 217-219.
75. Limkangwalmongkol S, Abbott PV, Sandler AB (1992) Apical dye penetration with four root canal sealers and gutta-percha using longitudinal sectioning. *J Endod* 18, 535-539.
76. Limkangwalmongkol S, Burtscher P, Abbott PV, Sandler AB, Bishop BM (1991) A comparative study of the apical leakage of four root canal sealers and laterally condensed gutta-percha. *J Endod* 17, 495-499.
77. Lussi A, Imwinkelried S, Stich H (1999) Obturation of root canals with different sealers using non-instrumentation technology. *Int Endod J* 32, 17-23.
78. Marlin J, Schilder H (1973) Physical properties of gutta-percha when subjected to heat and vertical condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 36, 872-979.

79. Martinho FC, Gomes BP (2008) Quantification of endotoxins and cultivable bacteria in root canal infection before and after chemomechanical preparation with 2.5% sodium hypochlorite. *J Endod* 34, 268-272.
80. Mayer T, *Kompromisse und Grenzen in der Endodontologie*, 1.Auflage, Spitta Verlag, Balingen, 2005, 119.
81. Mente J, Ferk S, Dreyhaupt J, Deckert A, Legner M, Staehle HJ (2010) Assessment of different dyes used in leakage studies. *Clin Oral Investig* 14, 331-338.
82. Meyer KM, Kollmar F, Schirrmeister JF (2006) Analysis of shrinkage of different gutta-percha types using optical measurement methods. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 116, 356-361.
83. Meyer W (1960) Die anatomischen Grundlagen der Wurzelkanalbehandlung. *Dtsch Zahnärztl Z* 15, 777-786.
84. Miletić I, Anić I, Pezelj-Ribarić S, Jukić S (1999) Leakage of five root canal sealers. *Int Endod J* 32, 415-418.
85. Möller B, Orstavik D (1985) Influence of antiseptic storage solutions on physical properties of endodontic guttapercha points. *Scand J Dent Res* 93, 158-161.
86. Murgel CA, Walton RE (1990) Vertical root fracture and dentin deformation in curved roots: the influence of spreader design. *Endod Dent Traumatol* 6, 273-278.
87. Nagaraja S, Sreenivasa Murthy BV (2010) CT evaluation of canal preparation using rotary and hand NI-TI instruments: An in vitro study. *J Conserv Dent* 13, 16-22.

88. Nawal RR, Parande M, Sehgal R, Naik A, Rao NR (2011) A comparative evaluation of antimicrobial efficacy and flow properties for Epiphany, Guttaflow and AH-Plus sealer. *Int Endod J* 44, 307-313.
89. Neelakantan P, Subbarao CV (2008) An analysis of the antimicrobial activity of ten root canal sealers--a duration based in vitro evaluation. *J Clin Pediatr Dent* 33, 117-122.
90. ODS GmbH (2011) Die Geschichte von Nitinol. Homepage ODS (<http://www.euro-ortho.de/Produkte/EuroNiti/NitiGeschichte/NitiGeschichte.htm>).
91. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE (2001) Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 17, 512-519.
92. Ozawa T, Taha N, Messer HH (2009) A comparison of techniques for obturating oval-shaped root canals. *Dent Mater J* 28, 290-294.
93. Paqué F, Balmer M, Attin T, Peters OA (2010) Preparation of oval-shaped root canals in mandibular molars using nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomography study. *J Endod* 36, 703-707.
94. Pawińska M, Skrzydlewska E (2003) Release of hydroxyl ions from calcium hydroxide preparations used in endodontic treatment. *Rocz Akad Med Białymst* 48, 145-149.
95. Peak JD, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM (2001) The outcome of root canal treatment. A retrospective study within the armed forces (Royal Air Force). *Br Dent J* 10, 140-144.

96. Perez F, Calas P, De Falquerolles A, Maurette A (1993) Migration of a *Streptococcus sanguis* strain through the root dentinal tubules. *Int Endod J* 19, 297-330.
97. Pérez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, González-Rodríguez MP (2006) The effectiveness of different acid irrigating solutions in root canal cleaning after hand and rotary instrumentation. *J Endod* 32, 993-997.
98. Peters LB, Wesselink PR, Moorer WR (2000) Penetration of bacteria in bovine root dentine in vitro. *Int Endod J* 33, 28-36.
99. Petschelt A, Ebert J, Hickel R (1988) The tightness of root fillings in smear-free root canals. *Dtsch Zahnarztl Z* 43, 884-886.
100. Pitout E, Oberholzer TG (2009) Leakage of teeth root-filled with GuttaFlow and a single GP cone compared to lateral condensation and warm vertical condensation. *SADJ* 64, 106-108.
101. Pommel L, Jacquot B, Camps J (2001) Lack of correlation among three methods for evaluation of apical leakage. *J Endod* 27, 347-350.
102. Portmann P, Imwinkelried S, Lussi A (2005) Obturation quality after four years of storage using the non-instrumentation technique. *Schweiz Monatsschr Zahnmed* 115, 431-436.
103. Radcliffe CE, Potouridou L, Qureshi R, Habahbeh N, Qualtrough A, Worthington H, Drucker DB (2004) Antimicrobial activity of varying concentrations of sodium hypochlorite on the endodontic microorganisms *Actinomyces israelii*, *A. naeslundii*, *Candida albicans* and *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 37, 438-446.

104. Rappaport HM, Lilly GE, Kapsimalis K (1964) Toxicity of endodontic filling materials. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 18, 785.
105. Ring KC, Murray PE, Namerow KN, Kuttler S, Garcia-Godoy F (2008) The comparison of the effect of endodontic irrigation on cell adherence to root canal dentin. *J Endod* 34, 1474-1479.
106. Saha S, Samadi F, Jaiswal JN, Ghoshal U (2010) Antimicrobial activity of different endodontic sealers: An in vitro evaluation. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 28, 251-257.
107. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo M, Ørstavik D (2007) Bacterial penetration along different root canal filling materials in the presence or absence of smear layer. *Int Endod J* 41, 32-40.
108. Salz U, Poppe D, Sbicego S, Roulet JF (2009) Sealing properties of a new root canal sealer. *Int Endod J* 42, 1084-1089.
109. Sauk JJ, Norris K, Foster JM, Moehring J, Sommermann MJ (1988) Expression of heat stress proteins by human periodontal ligaments cells. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 17, 496-499.
110. Savariz A, González-Rodríguez MP, Ferrer-Luque CM (2010) Long-term sealing ability of GuttaFlow versus Ah Plus using different obturation techniques. *Med Oral Patol Oral Cir Bucal* 1, 936-941.
111. Saw LH, Messer HH (1995) Root strains associated with different obturation techniques. *J Endod* 21, 314-320.
112. Schäfer E, Erlen M, Dammaschke T (2005) Influence of different types of automated devices on the shaping ability of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments. *Int Endo J* 38, 627-636.

113. Schwenzer N, Ehrenfeld M, Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde Bd 3, 3.Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2000, 81.
114. Scott AC, Vire DE (1992) An evaluation of the ability of a dentin plug to control extrusion of thermoplasticized gutta-percha. *J Endod* 18, 52-57.
115. Shahi S, Yavari HR, Rahimi S, Reyhani MF, Kamarroosta Z, Abdolrahimi MA (2009) Comparative scanning electron microscopic study of the effect of three different rotary instruments on smear layer formation. *J Oral Sci* 51, 55-60.
116. Slutzky-Goldberg I, Slutzky H, Solomonov M, Moshonov J, Weiss EI, Matalon S (2008) Antibacterial properties of four endodontic sealers. *J Endod* 34, 735-738.
117. Somma F, Cretella G, Carotenuto M, Pecci R, Bedini R, De Biasi M, Angerame D (2011) Quality of thermoplasticized and single point root fillings assessed by micro-computed tomography. *Int Endod J* 44, 362-369.
118. Stevens RW, Strother JM, McClanahan SB (2006) Leakage and sealer penetration in smear-free dentin after a final rinse with 95% ethanol. *J Endod* 32, 785-788.
119. Stoeckel D (2001) Umformung von NiTi-Legierungen - Eine Herausforderung. Hrsg. K. Siegert, 141-157.
120. Taha NA, Ozawa T, Messer HH (2010) Comparison of three techniques for preparing oval-shaped root canals. *J Endod* 36, 532- 535.
121. Tamse A, Katz A, Kablan F (1998) Comparison of apical leakage shown by four different dyes with two evaluating methods. *Int Endod J* 31, 333-337.

122. Taşdemir T, Er K, Yildirim T, Buruk K, Celik D, Cora S, Tahan E, Tuncel B, Serper A (2009) Comparison of the sealing ability of three filling techniques in canals shaped with two different rotary systems: a bacterial leakage study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 108, 129-134.
123. Testarelli L, Milana V, Rizzo F, Gagliani M, Gambarini G (2009) Sealing ability of a new carrier-based obturating material. *Minerva Stomatol* 58, 217-224.
124. Timpawat S, Sripanaratanakul S (1998) Apical sealing ability of glass ionomer sealer with and without smear layer. *J Endod* 24, 343-345.
125. Tortini D, Grassi M, Re Cecconi D, Colombo M, Gagliani M (2011) Warm gutta-percha obturation technique: a critical review. *Minerva Stomatol* 60, 35-50.
126. Vasiliadis L, Kodonas K, Economides N, Gogos C, Stavrianos C (2010) Short- and long-term sealing ability of Gutta-flow and AH-Plus using an ex vivo fluid transport model. *Int Endod J* 43, 377-381.
127. Vianna ME, Horz HP, Gomes BP, Conrads G (2006) In vivo evaluation of microbial reduction after chemo-mechanical preparation of human root canals containing necrotic pulp tissue. *Int Endod J* 39, 484- 492.
128. Vujasković M, Teodorović N (2010) Analysis of sealing ability of root canal sealers using scanning electronic microscopy technique. *Srp Arh Celok Lek* 138, 694-698.
129. Weber T, *Memorix Zahnmedizin*, 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 2009, 432.

130. Wesselink PR (2005) The filling of the root canal system. *Ned Tijdschr Tandheelkd* 112, 471-477.
131. Wiemann AH, Wilcox LR (1991) In vitro evaluation of four methods of sealer placement. *J Endod* 17, 444-447.
132. Wilcox LR, Roskelley C, Sutton T (1997) The relationship of root canal enlargement to finger-spreader induced vertical root fracture. *J Endod* 23, 533-534.
133. Wu MK, De Gee AJ, Wesselink PR (1994) Leakage of four root canal sealers at different thickness. *Int Endod J* 27, 304-308.
134. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR (2000) Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J* 33, 340-345.
135. Wu MK, Wesselink PR (1993) Endodontic leakage studies reconsidered. Part I. Methodology, application and relevance. *Int Endod J*, 26, 37-43.
136. Wu MK, Wesselink PR (2001) A primary observation on the preparation and obturation of oval canals. *Int Endod J* 34, 137- 114.
137. Zarrabi MH, Bidas M, Jafarzadeh H (2006) An in vitro comparative study of apically extruded debris resulting from conventional and hand instrumentation and three rotary (ProFile, Race, FlexMaster) instrumentation techniques. *J Oral Sci* 48, 85-88.
138. Zmener O, Pameijer CH, Banegas H (2005) Effectiveness in cleaning oval-shaped root canals using Anatomic Endodontic Technology, ProFile and manual instrumentation: a scanning electron micro-scopic study. *Int Endod J* 38, 356-363.

139. Zmener O, Pameijer CH (2010) Clinical and radiographic evaluation of a resin-based root canal sealer: an eight-year update. *J Endod*, 36, 1311-1314.

10 Abkürzungsverzeichnis

EDTA	Ethylendiemintetraessigsäure
HNO ₃	Salpetersäure
HOCl	hypochlorige Säure
ISO	International Organization of Standardization
LCT	Lateral-compaction-Technik
min	Minute
mm	Millimeter
MPa	Mega-Pascal
M%	Masseprozent
NaOCl	Natriumhypochlorit
NCT	Non-compaction-Technik
NiTi	Nickel-Titan-Legierung
p	Signifikanzwert
SCT	Single-cone –Technik
TF	<i>Thermafil</i> -Technik
U	Umdrehungen
µm	Micrometer

11 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Grundformen des endodontischen Instrumentariums mit jeweiligem Identifikationssymbol.....	8
Abbildung 2: <i>FlexMaster</i> -Instrumente unter dem Mikroskop	10
Abbildung 3: <i>GuttaFlow</i> Verkaufssset mit Dispenser, Applikationsspitzen, <i>GuttaFlow</i> -Kapseln und Guttaperchastiften	22
Abbildung 4: Beispiel für nagellacküberzogene Zähne.....	34
Abbildung 5: Zentrifuge	35
Abbildung 6: Serienschritte.....	36
Abbildung 7: Ermittelte Penetrationstiefen der beiden Sealer in den vier experimentellen Gruppen	36
Abbildung 8: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der ermittelten linearen Penetrationstiefen bezüglich der Gruppenzugehörigkeit beim Sealer <i>ApexitPlus</i>	41
Abbildung 9: Boxplot-Diagramm zur Darstellung der ermittelten linearen Penetrationstiefen bezüglich der Gruppenzugehörigkeit beim Sealer <i>GuttaFlow</i>	42

12 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammensetzung <i>Apexit Plus</i>	17
Tabelle 2: Inhaltsstoffe <i>AH Plus</i>	18
Tabelle 3: Zusammensetzung <i>GuttaFlow</i>	21
Tabelle 4: Prozentuale Zusammensetzung Guttapercha-Wurzelkanalfüllstifte	23
Tabelle 5: Übersicht über die experimentellen Gruppen (1)	31
Tabelle 6: Übersicht über die experimentellen Gruppen (2)	32
Tabelle 7: Darstellung lineare Penetrationstiefe ohne Unterscheidung der Obturationstechnik.....	39
Tabelle 8: Darstellung lineare Penetrationstiefe in Abhängigkeit von der Obturationstechnik.....	39

13 Anhang

13.1 Materialverzeichnis

<i>Apexit Plus</i> LOT K54315	Ivoclar Vivadent GmbH, Ellwangen, Deutschland
Blaues Winkelstück	KaVo GmbH, Biberach, Deutschland
C-File Size 08 LOT 0712910524	VDW GmbH, München, Deutschland
Chloramin-T-Lösung	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen, Deutschland
Diamantschleifer	Meisinger GmbH, Neuss, Deutschland
Endokanüle LOT 080607	Transcoject GmbH, Neumünster, Deutschland
Endo-Stepper VDW Silver	VDW GmbH, München, Deutschland
70% Ethanol-Lösung	Apotheke des Universitätsklinikums Erlangen, Deutschland
Epoxidharz G 27	Sika N.V, Utrecht, Niederlande
<i>FlexMaster</i> Size 20 LOT 0710310514 Size 25 LOT 0503310327 Size 30 LOT 0601310375 Size 35 LOT 0601310374	VDW GmbH, München, Deutschland
Glasplatte	
Grünes Winkelstück	KaVo GmbH, Biberach, Deutschland
<i>GuttaFlow</i> LOT 6701684	Coltène-Whaledent, Langenau, Deutschland
Guttapercha Points Size 0.2 0.25 LOT 170917 Size 0.2 0.45 LOT 197826	Roeko/ Coltène-Whaledent, Langenau, Deutschland
Hedström-Feilen ISO 35 LOT 9943620	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutschland
Heidemann-Spatel	Hu-Friedy, Leimen, Deutschland

Innenlochsäge	Roditi International, Hamburg, Deutschland
Kugelstopfer	Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
Methylenblau-Lösung 5%	Wissenschaftliches Labor der Zahnklinik 1, Universitätsklinikum, Erlangen, Deutschland
<i>Microbrush X</i>	Microbrush International, Grafton, Wisconsin, USA
Nagellack	Palmers Textil AG, Wien, Österreich
Natriumhypochlorit-Lösung 5%	Apotheke des Universitätsklinikums Erlan- gen, Deutschland
Paper Points LOT 176119	Roeko/Coltène-Whaledent, Langenau, Deutschland
<i>ProFile</i> #45 LOT 3082370	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutsch- land
Rotes Winkelstück	KaVo GmbH, Biberach, Deutschland
Schaumstoffpellets	Demedis, München, Deutschland
Stereo-Lichtmikroskop	Zeiss AG, Jena, Deutschland
Spreader „medium“ LOT 3253720	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutsch- land
Spreader „fine“ LOT 3723720	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutsch- land
<i>SPSS Win 11.0</i>	SPSS Inc, Illinois, USA
<i>Sonicflex endo</i> Endo-Spitzen	Kavo GmbH, Biberach, Deutschland
<i>Tetric Flow</i>	IvoclarVivadent GmbH, Schaan, Lichtenstein
<i>Thermafil</i> LOT 10120626	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutsch- land
<i>ThermaPrep Plus Ofen</i>	Dentsply DeTrey GmbH, Konstanz, Deutsch- land
Zentrifuge <i>Varifuge K</i>	Heraeus Christ GmbH, Osterode, Deutsch- land
Zitronensäure-Lösung 40%	Apotheke des Universitätsklinikums, Erlan- gen, Deutschland

13.2 Statistik

13.2.1 Nichtparametrische Tests

Anmerkungen		
Ausgabe erstellt		03-Aug-2010 09:04:07
Kommentare		
Eingabe	Daten	C:\Dokumente und Einstellungen\lebert\Eigene Dokumente\GroZink2.sav
	Aktiver Datensatz	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	Gruppenzugehörigkeit
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	160
Verarbeitung fehlender Werte	Definition von fehlend	Benutzerdefinierte fehlende Werte werden als fehlend behandelt.
	Verwendete Fälle	Die Statistiken für alle Tests basieren auf allen Fällen mit gültigen Daten für die in den Tests verwendete(n) Variable(n)
Syntax		NPAR TESTS /K-S(NORMAL)=linpenro /MISSING ANALYSIS.
Ressourcen	Prozessorzeit	00:00:00,000
	Verstrichene Zeit	00:00:00,031
	Anzahl der zulässigen Fälle ^a	196608

^a Basiert auf der Verfügbarkeit des Arbeitsspeichers.

Gruppenzugehörigkeit = Apexit Plus-SCT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ^c		
		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	4,480
	Standardabweichung	2,3621
Extremste Differenzen	Absolut	,236
	Positiv	,187
	Negativ	-,236
Kolmogorov-Smirnov-Z		,746
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,635

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

^c Gruppenzugehörigkeit = *Apexit Plus-SCT*

Gruppenzugehörigkeit = Apexit Plus-LTC

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ^c		
		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	4,030
	Standardabweichung	2,0618
Extremste Differenzen	Absolut	,167
	Positiv	,167
	Negativ	-,140
Kolmogorov-Smirnov-Z		,529
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,943

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

^c Gruppenzugehörigkeit = *Apexit Plus-LTC*

Gruppenzugehörigkeit = Apexit Plus-NCT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ^c		
		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	4,620
	Standardabweichung	2,8569
Extremste Differenzen	Absolut	,217
	Positiv	,217
	Negativ	-,110
Kolmogorov-Smirnov-Z		,685
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,735

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

^c Gruppenzugehörigkeit = *Apexit Plus*-NCT

Gruppenzugehörigkeit = Apexit Plus-TFT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ^c		
		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	6,910
	Standardabweichung	2,5445
Extremste Differenzen	Absolut	,188
	Positiv	,183
	Negativ	-,188
Kolmogorov-Smirnov-Z		,594
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,873

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

^c Gruppenzugehörigkeit = *Apexit Plus-TFT*

Gruppenzugehörigkeit = GuttaFlow-SCT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ^c		
		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	2,670
	Standardabweichung	1,3275
Extremste Differenzen	Absolut	,319
	Positiv	,319
	Negativ	-,189
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,009
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,261

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

^c Gruppenzugehörigkeit = GuttaFlow-SCT

Gruppenzugehörigkeit = *GuttaFlow*-LTC

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ^c		
		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	4,390
	Standardabweichung	3,2845
Extremste Differenzen	Absolut	,253
	Positiv	,253
	Negativ	-,158
Kolmogorov-Smirnov-Z		,799
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,545

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

^c Gruppenzugehörigkeit = *GuttaFlow*-LTC

Gruppenzugehörigkeit = GuttaFlow-NCT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ^c		
		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	3,250
	Standardabweichung	1,4105
Extremste Differenzen	Absolut	,198
	Positiv	,193
	Negativ	-,198
Kolmogorov-Smirnov-Z		,626
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,828

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

^c Gruppenzugehörigkeit = GuttaFlow-NCT

Gruppenzugehörigkeit = *GuttaFlow*-TFT

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest ^c		
		lineare Penetration Rog
N		10
Parameter der Normalverteilung ^{a,b}	Mittelwert	3,570
	Standardabweichung	2,5530
Extremste Differenzen	Absolut	,362
	Positiv	,362
	Negativ	-,257
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,146
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		,145

^a Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

^b Aus den Daten berechnet.

^c Gruppenzugehörigkeit = *GuttaFlow*-TFT

13.2.2 Univariate Varianzanalyse

Anmerkungen		
Ausgabe erstellt		03-Aug-2010 09:09:44
Kommentare		
Eingabe	Daten	C:\Dokumente und Einstellungen\ebert\Eigene Dokumente\GroZink2.sav
	Aktiver Datensatz	DatenSet1
	Filter	<keine>
	Gewichtung	<keine>
	Aufgeteilte Datei	<keine>
	Anzahl der Zeilen in der Arbeitsdatei	160
Behandlung fehlender Werte	Definition für "fehlend"	Benutzerdefinierte fehlende Werte werden als fehlend behandelt.
	Verwendete Fälle	Die Statistik basiert auf allen Fällen mit gültigen Daten für alle Variablen im Modell.
Syntax		UNIANOVA linpenro BY sealer fülltech /METHOD=SSTYPE(3) /INTERCEPT=INCLUDE /POSTHOC=sealer fülltech(SNK) /CRITERIA=ALPHA(0.05) /DESIGN=sealer fülltech sealer*fülltech.
Ressourcen	Prozessorzeit	00:00:00,031
	Verstrichene Zeit	00:00:00,063

Zwischensubjektfaktoren			
		Wertelabel	N
Sealer	1	AHPlus	40
	2	ApexitPlus	40
	3	GuttaFlow	40
	4	PulpCanalSealer	40
Fülltechnik	1	SingleCone	40
	2	LateralKond	40
	3	NonCompaction	40
	4	Thermafil	40

Tests der Zwischensubjekteffekte					
Abhängige Variable: lineare Penetration Rog					
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Mittel der Quadrate	F	Sig.
Korrigiertes Modell	983,928 a	15	65,595	12,479	,000
Konstanter Term	4936,173	1	4936,173	939,094	,000
sealer	796,723	3	265,574	50,525	,000
fülltech	15,526	3	5,175	,985	,402
sealer * fülltech	171,679	9	19,075	3,629	,000
Fehler	756,909	144	5,256		
Gesamt	6677,010	160			
Korrigierte Gesamtvariation	1740,837	159			

^a R-Quadrat = ,565 (korrigiertes R-Quadrat = ,520)

13.2.3 Post-Hoc-Tests

Sealer

Homogene Untergruppen

lineare Penetration Rog				
Student-Newman-Keuls ^{a,b}				
Sealer	N	Untergruppe		
		1	2	3
GuttaFlow	40	3,470		
AHPlus	40	4,438	4,438	
ApexitPlus	40		5,010	
PulpCanalSealer	40			9,300
Sig.		,061	,266	1,000
Mittelwerte für Gruppen in homogenen Untergruppen werden angezeigt. Grundlage: beobachtete Mittelwerte. Der Fehlerterm ist Mittel der Quadrate (Fehler) = 5,256.				

^a Verwendet Stichprobengrößen des harmonischen Mittels = 40,000

^b Alpha = 0,05

14 Danksagung

Ich möchte mich zunächst bei Herrn Professor Dr. R. Frankenberger, Direktor der Zahnerhaltungskunde an der Universität Marburg, für die Überlassung des Themas und die Möglichkeit diese Arbeit in der Abteilung der Zahnerhaltungskunde fertigzustellen bedanken.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinem Betreuer Herrn OA Dr. M. Roggendorf. Nur durch seine tatkräftige und kompetente Unterstützung bei der praktischen Bearbeitung und statistischen Auswertung, sowie der mentalen Begleitung von Beginn bis zur Fertigstellung der Dissertation, konnte dieses Ergebnis entstehen.

Außerdem bedanke ich mich für jegliche Hilfe während des experimentellen Teils beim gesamten Team des werkstoffwissenschaftlichen Labors der Zahnklinik I der Universität Erlangen-Nürnberg, allen voran Herrn Brönnner.

Mein ganz persönlicher Dank gilt meinem Mann Georg, Frau Susann Fischer, Herrn André Hirndorf und Frau Stephanie Grobe für den Beistand während der gesamten Bearbeitungszeit.

15 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer waren die Damen/Herren in Erlangen:

Becker, Beuscher, Boegershausen, Brehmer

Eichhorn, Eitner,

Forster, Frankenberger,

Gasteiger,

Hannappel, Hertrich, Hirschfelder, Holst,

Korbmacher, Kressel

Lütjen-Drecoll,

Messlinger,

Netzker, Neuhuber, Neukam, Nkenke,

Oberschachtsiek, Ogilvie,

Pelka, Petschelt,

Ristein, Rohen

Sauer, Schlegel, Schüttler, Simon, Strobel,

Volk, Voß,

Waldfahrer, Wichmann