

Aus dem Medizinischen Zentrum für Zahn-, Mund-, und Kieferheilkunde
Abteilung für Zahnerhaltungskunde

Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. H. Korbmacher-Steiner
des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Titel der Dissertation:

Obturation artifiziieller Seitenkanäle nach verschiedenen Sealerplacement-Techniken

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde
dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Marco Zapf
aus Baiersdorf

Marburg, 2017

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg
am: 14.12.2017

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer

Referent: Herr Priv.-Doz. Dr. M. J. Roggendorf

1. Korreferent: Herr Priv.-Doz. Dr. Dr. Dr. Ziebart

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
1. Summary	3
2. Einleitung	5
3. Literaturübersicht	6
3.1 Seitenkanäle	6
3.2 Wurzelkanalfüllung	7
3.2.1 Applikationstechniken	7
3.2.2 Wurzelkanalfüllmaterialien	9
3.2.3 Obturationstechniken	13
4. Problemstellung	18
5. Material und Methode	19
5.1 Auswahl und Vorbereitung der Zähne	19
5.2 Präparation der Zähne	19
5.3 Röntgenauswertung	28
5.4 Statistische Auswertung	31
6. Ergebnisse	32
7. Diskussion	43
7.1 Diskussion der Methodik	43
7.2 Diskussion der Ergebnisse	49
7.3 Klinischer Ausblick	52
8. Literaturverzeichnis	54
9. Anhang	63
9.1 Geräte und Materialien	63
9.2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	65

Meinen lieben Eltern in Dankbarkeit gewidmet

1 Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Ziele

Die komplexe Wurzelanatomie und die vielseitige Morphologie eines Zahnes stellen sogar den erfahrenen Endodontisten immer wieder vor das Problem, eine dichte und adäquate Obturation dieses Systems mit seinen zahlreichen Foramina, akzessorischen und lateralen Seitenkanälen zu bewältigen. Um die Voraussetzungen für eine Heilung des apikalen Gewebes zu schaffen, ist es von großer Bedeutung, nach einer vollständigen Reinigung und Desinfektion einen hermetischen Verschluss zu gewährleisten, damit sich keine Möglichkeiten mehr für den Austausch von Gewebszerfallsprodukten und Bakterien mit dem umliegenden Gewebe ergeben.

Aus diesem Grund sollte das Abfüllen von Seitenkanälen bei einer Wurzelbehandlung den gleichen Stellenwert einnehmen wie die Obturation des Hauptkanals, um so eine Reinfektion des Kanals durch bakterielle Residuen zu verhindern.

Das Ziel dieser *In-vitro*-Studie war es, die Effizienz von vier verschiedenen Sealer-Applikationstechniken hinsichtlich Penetrationstiefe und Homogenität des Sealers *AH Plus* in simulierten Seitenkanälchen zu messen.

1.2 Methode

Bei 60 humanen, extrahierten, einwurzeligen Zähnen wurden die Kronen abgetrennt, die Wurzeln danach longitudinal gespalten und in Polyurethanblöcke (*Biresin*, Sika N.V, Utrecht, Niederlande) eingebettet. Die Präparate wurden in 4 Gruppen mit jeweils 15 Zähnen entsprechend der verschiedenen Platzierungsverfahren für Sealer aufgeteilt: Gruppe 1: rotierend mit einer *EZ-Fill bi-directional spiral* (EDS, South Hackensack, New Jersey, USA), Gruppe 2: rotierend mit einem K-Räumer (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) der Größe 70, Gruppe 3: rotierend mit einem Lentulo der Größe 40 (VDW, München, Deutschland), Gruppe 4: rotierend mit einer *ROEKO CanalBrush* (Coltène/Whaledent, Altstätten, Schweiz).

Die maschinelle, vollrotierende Aufbereitung erfolgte zuerst mit *FlexMaster*-Instrumenten (VDW, München, Deutschland) auf Größe 70 Taper .02 und anschließend mit einer *Mity Roto*-Feile ISO 80 (Loser & Co, Leverkusen, Deutschland). Im nächsten Schritt erfolgte das Anlegen einer 6 mm langen und 2 mm tiefen Rille auf einer der Wurzelhälften, welche 2 mm vom Apex entfernt war. Auf der zweiten Hälfte wurden vier Mulden im Abstand von 2 mm, 4 mm, 6 mm und 8 mm, ebenfalls mit einer Tiefe von 2 mm vor Apex präpariert. Danach erfolgte die Wurzelkanalfüllung mit *AH Plus* (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) und den oben genannten Applikationstechniken.

Nach 48-stündiger Aushärtung wurden digitale Röntgenbilder (*Digora*, Soredex, Helsinki, Finnland) in oro-vestibulärer Projektion angefertigt, um die Penetrationstiefe und Homogenität der Füllung zu beurteilen.

1.3 Ergebnisse

Es konnten in dieser Studie keine signifikanten Unterschiede in der Obturation von artifiziell angelegten Seitenkanälen mit den oben genannten Applikationstechniken ermittelt werden. Die Studie zeigte allerdings, dass die koronal lokalisierten Mulden und Rillen eine tiefere Penetration durch Sealer aufwiesen als die apikalen Anteile. Demnach konnten koronal maximal 33,3 % der Mulden vollständig abgefüllt werden und apikal maximal 20 %.

1.4. Schlussfolgerung

Bei Betrachtung aller Gruppen dieser Studie kann festgehalten werden, dass bei allen rotierenden Sealer-Applikationsmethoden keine signifikanten Unterschiede gemessen werden konnten.

1 Summary

1.1 Aim

The anatomical complexity of the root anatomy and the versatile morphology configuration of a tooth, even let the experienced endodontist always facing a problem to achieve a solid and adequate obturation of this system which includes multiple foramina, accessory and lateral canals. Accomplishing the assumption for approaching apical tissue healing it is an important aspect to provide a hermetic seal to avoid the possibility of a pathway for bacteria and products of tissue degeneration between the canal and the surrounding tissues. For that reason, filling lateral canals should be important as well as filling the main canal to avoid bacterial reinfection.

The aim of this in vitro study was to assess the efficacy of different placement techniques in terms of sealer penetration and homogeneity of filling simulated lateral canals.

1.2 Method

Crowns of 60 single rooted, human extracted teeth were removed and the roots were splitted longitudinally, reassembled and embedded into polyurethane (*Biresin*, Sika N.V, Utrecht, Netherlands). 4 groups were designed (n=15): group 1: *EZ-Fill bi-directional spiral* (EDS, South Hackensack, New Jersey, USA) in rotary motion, group 2: K-reamer size 70 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) in rotary motion, group 3: *lentulo spiral* size 40 (VDW, Munich, Germany) in rotary motion, group 4: *ROEKO CanalBrush* (Coltène/Whaledent, Altstätten, Switzerland) in rotary motion.

Root canals were prepared to size 80 taper .02 using *FlexMaster* (VDW, Munich, Germany) and finally *Mity Roto* files (Loser & Co, Leverkusen, Germany). Than a groove 6 mm in length and 2 mm deep was prepared in one root half. On the second one 4 holes were prepared 2 mm, 4 mm, 6 mm and 8 mm from apex and 2 mm in depth. Than root canals were filled with *AH*

Plus (Dentsply DeTrey, Konstanz, Germany) according to the different placement technique.

Allowing the sealer to set completely after 48 hours, digital x-ray (*Digora*, Soredex, Helsinki, Finland) were made to gauge the depth of penetration and homogeneity.

1.3 Results

No significant differences were found in rotary placement techniques. Coronal placed grooves performed better (33,3 % were totally penetrated) than apical ones (20 % were totally penetrated).

1.4 Conclusion

On closer examination no significantly differences of rotary sealer application methods can be found.

2 Einleitung

Die konservierende Behandlung von Zähnen, insbesondere der Bereich der Endodontie, nahm in den letzten Jahren einen immer höheren Stellenwert in der Zahnmedizin ein.

Ziel einer solchen Therapie ist der Erhalt des Zahnes, beziehungsweise dessen Wurzel und die Elimination der Infektionsquelle. Die Voraussetzung für eine erfolgreiche Wurzelkanalbehandlung ist die weitgehend bakterienfreie Versiegelung des Endodonts mit einem biokompatiblen Material. Dies soll eine erneute Kontamination verhindern und den Erfolg der Behandlung sicherstellen.

Dies macht deutlich, dass nicht nur alle Bereiche bei der Aufbereitung miteingefasst werden sollten, sondern, dass auch bei der Einbringung eines geeigneten Füllmaterials all diese Abschnitte mit einbezogen werden. Dabei sollte der Sealer möglichst homogen die Kanalwand benetzen und alle vorhandenen Inkongruenzen des Wurzelkanalsystems ausfüllen.

Zum Einbringen des Sealers sind in der Literatur zahlreiche Methoden und Techniken beschrieben worden [2,4]. Diese reichen von der einfachen Applikation mittels eines Guttaperchastiftes, über Papierspitzen, Lentulo bis hin zu neu entwickelten Methoden wie ultraschallaktivierte Systeme und Wurzelkanalbürstchen (*CanalBrush*).

Das Ziel dieser *In-vitro*-Studie war es, durch vier verschiedene Placement-Techniken die Penetrationstiefe und Homogenität des Sealers in simulierten Seitenkanälchen zu messen.

3 Literaturübersicht

3.1 Seitenkanäle

Um einen langfristigen Erfolg der Wurzelfüllung zu gewährleisten, muss bereits die Aufbereitung des Wurzelkanals mit besonderer Sorgfalt erfolgen. Das Wurzelkanalsystem besteht nicht nur aus einem Hauptkanal. Vielmehr ist es ein hoch komplexes Geflecht mit zahlreichen Anastomosen und Seitenkanälen [40]. Dabei kann der Kanal entweder mit Handinstrumenten oder mit maschinell betriebenen Instrumenten aufbereitet werden. Das Ziel der Aufbereitung ist es, nekrotisch verändertes Pulpagewebe und in der Pulpa befindliche Mikroorganismen aus allen Bereichen des Kanalsystems soweit wie möglich zu entfernen. In mehr als 70 % der histologisch untersuchten Zahnschnittserien konnten Nebenkanäle identifiziert werden [40]. Wrbas et al. [74] ermittelten 60 % und Green [23] gab eine Inzidenz von 12 % an. Wenn man davon ausgeht, dass solche Seitenkanälchen bei der Aufbereitung nicht erfasst werden, wird die Rolle der desinfizierenden Spülungen und einer dichten Wurzelkanalfüllung mit einer geeigneten Sealerapplikationstechnik umso bedeutender.

3.2 Wurzelkanalfüllung

Ein endodontischer Misserfolg ist oftmals darauf zurückzuführen, dass Bakterien in den Dentintubuli oder anderen schwer zugänglichen Bereichen des Wurzelkanalsystems überleben. Da diese Bereiche sowohl durch mechanische als auch durch chemische Reinigung nicht erreicht werden, müssen bei der Füllung des Kanals zwei Hauptziele verfolgt werden. Zum einen muss einer koronalen Rekontamination vorgebeugt werden [67], zum anderen müssen die verbleibenden Bakterien eingeschlossen werden [46], um ein Scheitern der Behandlung zu verhindern. Damit eine dichte Wurzelkanalfüllung erreicht wird, sollten möglichst alle Areale der Kanalwand mit Wurzelkanalfüllpaste (englisch: Sealer) bedeckt sein. Damit kommt speziell der Placementtechnik eine große Rolle zu.

3.2.1 Applikationstechniken

Für das Einbringen des Sealers in den Wurzelkanal stehen eine Vielzahl von Instrumenten und Techniken zur Verfügung.

Im Folgenden werden jene Methoden näher erläutert, welche in dieser Studie verwendet wurden:

EZ-Fill bi-directional spiral

Bei der *EZ-Fill bi-directional spiral* handelt es sich um eine gegenläufige Spirale, welche im apikalen Instrumentendrittel eine zum mittleren und koronalen Drittel gegenläufige Windungsrichtung aufweist. Dies soll eine bessere Penetration der Seitenkanäle bewirken und eine geringere apikale Extrusion verursachen. Demnach bescheinigte Cohen bei der Einbringung des Sealers mit *EZ-Fill bi-directional spiral* eine höhere apikale Dichtigkeit im Gegensatz zu Thermafil oder der lateralen Kompaktion [12].

K-Räumer

Bis ISO 40 weisen Räumer einen quadratischen, ab ISO 45 einen dreieckigen Querschnitt auf. Die Herstellung erfolgt durch Verdrillung oder Fräsen des Materials. Der Schneidekantenwinkel beträgt 10-30°. Auf Grund dessen wird eine drehend-schabende Arbeitsweise empfohlen. Prinzipiell sind Räumer Instrumente für die Wurzelkanalaufbereitung. Im Rahmen der Wurzelkanalfüllung wurden K-Räumer ebenfalls als Instrumente für die Applikation des Sealers beschrieben [72].

Lentulo

Bei dieser Technik wird mittels einer feinen linksdrehenden Drahtspirale (Lentulo) der Sealer aufgenommen und unter langsamen Auf-und-Abbewegungen in den Wurzelkanal eingebracht [29].

Dies geschieht bei einer Umdrehungszahl von 500 U/min bis maximal 800 U/min. Das Problem dieser Technik ist die unzureichende Längenkontrolle, was die Gefahr der Überstopfung in sich birgt [32]. Zusätzlich können Undichtigkeiten und Porositäten entstehen, die aus einer inhomogenen Sealmatrix resultieren. Bei falscher Anwendung besteht eine zusätzliche Gefahr der Instrumentenfraktur, welche meist durch ein Verkanten bedingt ist.

CanalBrush

Bei der *CanalBrush* handelt es sich um eine aus Polypropylen bestehende kleine Bürste. Das Arbeitsteil hat eine Länge von 17,1 mm, auf beiden Seiten sind je 30 kleine Borsten angeordnet, welche 0,4 bis 0,5 mm lang sind und im Abstand von 0,4 mm angeordnet sind. Der Vorteil der *CanalBrush* liegt in der relativ geringen Frakturgefahr. Sogar in stark gekrümmten Wurzelkanälen ist eine sichere Arbeitsweise möglich [53]. Der Hersteller empfiehlt eine manuelle oder rotierende Arbeitsweise in einem grünen Winkelstück bei 600 U/min. Auch der Einsatz mit Schall schwingenden Zahnbürsten (*Philips Soni-*

care) wurde getestet. So testierten Weise et al. der Mikrobürste eine signifikant effektivere Reinigung der Kanalwand im apikalen Drittel als dies bei konventioneller Handspülung der Fall ist [70]. Ähnliche Ergebnisse konnten in der vorgenannten Studie mit einer rotierenden Arbeitsweise in einem grünen Winkelstück erreicht werden [70].

3.2.2 Wurzelkanalfüllmaterialien

Ein ideales Wurzelfüllmaterial sollte nach L. I. Grossmann die folgenden Anforderungen erfüllen:

- leicht und schnell sterilisierbar
- leicht in den Wurzelkanal einzubringen
- den Wurzelkanal von vertikal und lateral verschließen
- das periapikale Gewebe nicht reizen
- Undurchlässigkeit gegenüber Feuchtigkeit
- bakteriostatisch
- begünstigen
- nicht schrumpfen
- keine Verfärbung des Zahnes verursachen

Diese Eigenschaften eines Wurzelkanalfüllmaterials garantieren eine dauerhafte Abdichtung des Wurzelkanals. Außerdem soll das Material radioopak und leicht revidierbar sein. Schließlich soll die Schonung des periapikalen Gewebes durch seine Biokompatibilität gewährleistet werden [24]. Bis zum heutigen Tag konnte noch kein Material all diese Eigenschaften in sich vereinen.

Die Wurzelkanalfüllung besteht zumeist aus zwei Komponenten. Einerseits aus dem Wurzelkanalfüllstift, der den Hauptanteil der Füllung darstellt und als fester oder halbfester Stift erhältlich ist, zum anderen aus einer Wurzelkanalfüllpaste, dem sogenannten Sealer.

Sealer

Die Aufgabe des Sealers ist es, Unebenheiten zwischen Wurzelkanalfüllstift und der Kanalwand auszugleichen. Um eine apikale Leakage zu verhindern, sollte der Sealer nicht resorbierbar sein. Dabei ist es von großer Wichtigkeit, dass der Sealer dauerhaft erhärtet, da weich bleibende Pasten von vitalem Gewebe resorbiert werden können. Dies kann zu Reinfektionen des Endodonts führen [42].

Als alleiniges Füllmaterial sind erhärtende Sealer ungeeignet, da es bei den meisten zu einer anfänglichen Abbindekontraktion kommt, mit dem Resultat, dass das Wurzelkanalsystem nicht mehr dauerhaft abgedichtet wird [56].

Studien zeigten, dass mit zunehmender Schichtdicke des Sealers die Dichtigkeit des Wurzelfüllmaterials durch enthaltene Porositäten abnimmt [34].

Denn schon ab einer Abbinde-schrumpfung von 1 % ist es Mikroorganismen möglich, die Wurzelkanalfüllung zu penetrieren [39,43]. Der in dieser Arbeit verwendete Sealer *AH Plus* besitzt eine initiale Abbindeexpansion, die im Laufe der Zeit von 0,4 % auf 0,9 % ansteigt. Im Gegensatz dazu weisen andere Produkte Abbinde-schrumpfungen bis 8 % auf [39].

AH Plus, ein Polymer auf Epoxidharzbasis, gilt heutzutage in den meisten Praxen als Goldstandard [16]. Es stellt den Nachfolger des 1954 von Schröder vorgestellten *AH 26* dar [58]. Beiden gemein ist eine hohe Dentin-haftung, hohe Abdichtungseigenschaften und eine geringe Löslichkeit [20].

Jedoch weist *AH 26* durch seine Kondensationsreaktion initial eine gewisse Freisetzung von Formaldehyd auf [64]. Formaldehyd wirkt zytotoxisch, neurotoxisch und in manchen Fällen allergisierend. Zusätzlich konnte eine verzögerte Heilung von periapikalen Entzündungen beobachtet werden [66].

Weiterhin kam es durch die Oxidation des in *AH 26* enthaltenen Silbers zur Dunkelfärbung des Materials, was zu einem ungünstigen ästhetischen Ergebnis führte.

AH Plus vereint die positiven Eigenschaften des *AH 26* in sich. Es ist nahezu unlöslich, besitzt eine zusätzlich gute Farbstabilität und ist nur gering toxisch [13,33].

Wurzelkanalfüllstifte

Durch die starke Schrumpfung und Resorption von Pasten und Sealern sollte eine Wurzelkanalfüllung so gestaltet werden, dass der Gehalt des Wurzelkanalzements möglichst gering ist.

Zudem werden durch eine geringe Schichtstärke des Sealers Undichtigkeiten reduziert. Deshalb setzt man heutzutage bei zahlreichen Abfülltechniken ein volumenstabiles Kernmaterial in Form von Wurzelkanalfüllstiften ein. Sie lassen sich in feste und halbfeste Stifte unterteilen, die aus Metall oder Guttapercha bestehen.

Feste Wurzelkanalfüllstifte

Feste Wurzelkanalfüllstifte werden aus Silber, Titan oder Kunststoff auf dem Markt angeboten. Vorteil dieser Stifte ist ihre Steifigkeit, die es ihnen ermöglicht auch enge und stark gekrümmte Kanäle zu obturieren.

Darin liegt allerdings auch ein großer Nachteil, da es durch diese Eigenschaft nicht möglich ist sie zu kondensieren. Der daraus resultierende hohe Anteil an Sealer führt wiederum durch seine Abbindekontraktion zu Undichtigkeiten der Wurzelkanalfüllung. So belegen Studien, dass mit Guttapercha gefüllte Kanäle bessere Ergebnisse erzielten als solche, die mit festen Stiften gefüllt wurden [29]. Ein zusätzliches Problem liegt darin, dass es bei metallischen Stiften, welche zum Beispiel aus Silber bestehen, durch Kontakt mit Gewebeflüssigkeit zu Korrosionen kommt. Die daraus entstehenden Produkte können negative Reaktionen im periapikalen Gewebe hervorrufen, welche sich in akuten und chronischen Entzündungen manifestieren [81].

Bei Stiften aus Titan tritt dieses Phänomen nicht auf, jedoch bestehen alle anderen Nachteile der festen Wurzelkanalfüllstifte weiterhin.

Auch die Entfernung solcher Stifte stellt den Behandler vor ein großes Problem, welches ihn in manchen Fällen kapitulieren lässt.

Halbfeste Stifte

Zu den halbfesten Stiften werden solche aus Guttapercha gezählt. Guttapercha ist das weltweit bekannteste und gebräuchlichste Wurzelkanalfüllmaterial und findet seit über einem Jahrhundert in der Wurzelkanalbehandlung Anwendung [55].

Der Rohstoff, ein milchig trüber Saft, wird aus dem malaysischen Guttaperchabaum (*Palaquium gutta*) gewonnen. Guttapercha ist mit dem Naturkautschuk eng verwandt. Der Unterschied besteht in der *trans*-Stellung des Polyisoprens. Diese Charaktereigenschaft verleiht der Guttapercha seine typischen härteren, brüchigeren und weniger elastischen Eigenschaften, als dies bei Kautschuk der Fall ist. Die Zusammensetzung der Stifte ist von Hersteller zu Hersteller verschieden. Sie enthalten 1-4 % Weichmacher wie z.B. Wachse und Harze und 1-15 % Metallsulfate für eine gute Röntgenopazität. Den größten Anteil mit 59-76 % machen Füllstoffe wie Zinkoxid aus [25].

Insgesamt weist Guttapercha eine gute Biokompatibilität auf. Studien wiesen jedoch nach, dass bei längerem Kontakt mit Gewebe eine gewisse Zytotoxizität auftrat, dies ist wahrscheinlich auf das enthaltene Zinkoxid zurückzuführen [65].

Dichtigkeitsuntersuchungen ergaben bei alleiniger Verwendung von Guttapercha als Füllmaterial unbefriedigende Ergebnisse [75]. Aus diesem Grund sollte stets ein geeigneter Sealer verwendet werden. Obwohl ein geeigneter Sealer verwendet wurde zeigten Studien von Shipper und Trope, dass nach einer 30-tägigen Penetration mit *Streptokokkus mutans* in bis zu 87% der Fälle eine unzureichende Obturation mit Guttapercha und AH 26 vorlag [60]. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass eine Wurzelkanalfüllung mit Simple Fill und Fibre Fill zu signifikant besseren Ergebnissen führte.

Ähnliche Resultate lieferten *In-vivo*-Studien von Wurzelfüllungen an Hunden. Dabei wurde AH 26/Guttapercha mit Resilon/Epiphany (RMS) verglichen. Auch diese Versuchsreihe zeigte, dass in 82% der Proben, welche mit Guttapercha und AH 26 gefüllt wurden, eine moderate Entzündung im histologischen Schnitt zu erkennen war. Im Gegensatz dazu zeigte die RMS Gruppe in 19% der Fälle eine apikale Entzündungsreaktion [59].

Mikrobielle Untersuchungen mit *Streptokokkus faecalis* von Baumgartner et al. (2007) verglichen wiederum die Dichtigkeit von AH Plus/Guttapercha mit Resilon/Epiphany. Die Autoren zeigten, dass eine konventionelle Füllung mit AH Plus/Guttapercha ein besseres Abdichteverhalten aufwies als Resilon/Epiphany. Die Ergebnisse waren jedoch nicht signifikant. Baumgartner postulierte, dass beide Wurzelfüllungen gleich gute Resultate in Bezug auf die Dichtigkeit gegenüber *Streptokokkus faecalis* aufwiesen [7].

Im Gegensatz zu den festen Wurzelkanalstiften kann Guttapercha leicht revidiert werden [3]. Zusätzlich kann Guttapercha durch organische Lösungsmittel wie Eukalyptusöl, Xylol oder Chloroform erweicht und aufgelöst werden [71].

Untersuchungen von Hülsmann et al. (2004) zeigten jedoch auch, dass eine Wurzelkanalfüllung mit Guttapercha und Sealer nicht vollkommen entfernt werden konnte, obwohl zusätzlich Eukalyptusöl als Lösungsmittel verwendet wurde [30].

3.2.3 Obturationstechniken

Dem Behandler steht eine Vielzahl von Obturationstechniken zur Verfügung, die je nach Erfahrung und Möglichkeiten des Endodontisten eine weitestgehend adäquate Füllung des Kanals gestatten. Prinzipiell können Kalt- und Warmfülltechniken unterschieden werden.

Kaltfülltechniken

Als Einstifttechnik oder Single-Cone-Technik wird jene Methode bezeichnet, bei der nur ein exakt passender Guttaperchastift der Größe des zuletzt verwendeten Aufbereitungsinstrumentes in einen Wurzelkanal eingebracht wird. Dabei sollte er bis zum Endpunkt der Aufbereitung reichen und eine gewisse Friktion im Kanal haben.

Nach einer anfänglichen Benetzung der Kanalwand mit Sealer unter Zuhilfenahme einer geeigneten Placementtechnik wird nun der mit Sealer beschickte Guttaperchastift unter Pumpbewegungen in den Kanal eingeführt. Dabei

kann der überschüssige Sealer koronalwärts abfließen und anschließend beseitigt werden.

Um eine dichte Wurzelkanalfüllung zu erreichen muss vorausgesetzt werden, dass der Masterpoint exakt passt, damit der Anteil an Sealer möglichst gering ist. Eine zu dicke Sealerschicht hätte durch die Abbindekontraktion eine undichte Wurzelfüllung zur Folge [15]. Aus dieser Erkenntnis heraus sollte eine genormte Aufbereitung des Wurzelkanals angestrebt werden, welche nur bei geraden Wurzelkanälen mit rundem Querschnitt möglich ist [49].

Studien von Beatty et al. (1986) belegen, dass durch Inkongruenzen von Stift und Kanal unzureichende apikale Dichtigkeiten verzeichnet wurden [9].

Aufgrund der angegebenen Nachteile ist der Indikationsbereich für diese Technik nur bei geraden Wurzelkanälen anzusiedeln. Ein wesentlicher Vorteil der Zentralstifttechnik ist, dass dieses Verfahren einen geringen Zeitaufwand, sowie wenig Material und Erfahrung erfordert. Ebenso kann diese Technik einfach erlernt und standardisiert werden. Im Gegensatz zur lateralen Kompaktionstechnik werden bei der Single-Cone-Technik nur sehr geringe Spannungsspitzen auf die Wurzel ausgeübt, wodurch die Gefahr von Längsfrakturen minimiert wird.

Die im Praxisalltag am häufigsten verwendete und bewährteste Abfülltechnik stellt die kalte laterale Kompaktion dar [61]. Sie ist die am besten geeignete Methode zur Obturation von Wurzelkanälen. Schäfer beschrieb diese Methode als die gegenwärtig am meisten akzeptierte und bekannteste Technik [56].

Bei dieser Technik wird nach der Aufbereitung des Kanals ein Guttaperchastift in der Größe des zuletzt eingesetzten Aufbereitungsinstruments in den Wurzelkanal eingebracht. Dieser so genannte Masterpoint sollte bis auf Arbeitslänge reichen und beim Herausziehen einen leichten Widerstand (so genannter „tug back“) aufweisen [80].

Nachdem die Kanalwand mit einem Sealer unter Verwendung einer geeigneten Placementtechnik benetzt wurde, kann nun der Hauptstift nachgeschoben werden. Dieser wird zusätzlich mit dem Sealermaterial benetzt und unter pumpenden Bewegungen in den Kanal eingebracht. Der Sealer dient dazu, die zwischen den Stiften und der Kanalwand bzw. den Stiften untereinander entstehenden Hohlräume und Unebenheiten auszugleichen.

Der Masterpoint wird mit Sealer benetzt und in den Wurzelkanal bis auf Arbeitslänge eingebracht. Danach erfolgt eine kalte Kompaktion der Guttapercha mittels eines sogenannten Spreaders, welcher mit einem leichten Druck nach apikal in den Wurzelkanal eingeführt wird. Dadurch wird Platz für weitere akzessorische Guttaperchastifte geschaffen.

Diese akzessorischen Stifte sollten die gleiche Konizität und Größe aufweisen wie der zuletzt verwendete Spreader.

Auf diese Art und Weise werden so lange weitere Stifte kompaktiert, bis der Spreader ohne erhöhten Kraftaufwand nur noch 3-4 mm in den Wurzelkanal eingeführt werden kann.

Bei der kalten Verformung können Kräfte von 1,5 kg bis 7,5 kg erreicht werden [52]. Dadurch wird der Nachteil dieser Technik deutlich, dass es durch einen zu großen, nach apikal gerichteten Druck zu Längsfrakturen in der Wurzel kommen kann [51].

Zu Beginn können nur kleine Dentinsprünge vorliegen, welche erst im Laufe der Zeit unter der Kaubelastung zu klinischen Symptomen führen können. Morfis et al. (1990) gibt eine Inzidenz von 3,7 % für derartige Frakturen an [41].

Das Ziel der lateralen Kompaktion ist es, eine Wurzelkanalfüllung mit einem möglichst geringen Anteil an Sealer und einem möglichst hohen Anteil an Guttapercha zu erreichen [19].

Warmfülltechniken

Oberste Prämisse auch dieser Techniken ist es, möglichst alle Bereiche des hoch komplexen Wurzelsystems bakteriendicht zu verschließen. Hierbei macht man sich die besondere Eigenschaft von Guttapercha zu nutzen, welche sich unter Wärmezufuhr thermoplastisch verformen lässt und damit eine „dreidimensionale“ Obturation des Wurzelkanalsystems ermöglicht [31,76].

Mit dieser Technik soll ebenfalls der Guttapercha-Anteil erhöht und der Sealeranteil minimiert werden [19].

Verschiedenste Techniken und Geräte wurden zur thermoplastischen Füllung mit Guttapercha entwickelt. (Tab.1)

Tab. 1: Techniken und Geräte für die thermoplastische Obturation

Warmfülltechniken	vertikale Kompaktion
	warme Einstiftmethode <i>Thermafil</i>
	thermomechanische Kompaktion <i>McSpadden-Compactor</i>
	thermoplastische Kompaktion <i>Obtura</i> <i>Ultrafil</i>

Ein Nachteil all dieser Techniken ist, dass es durch die Hitzentwicklung zur Schädigung parodontaler Fasern, des Zements und sogar des Alveolarknochens kommen kann. So belegten Lipski & Wozniak (2003), dass diese Anzeichen bei Temperaturerhöhungen im Zahn, welche die normale Körpertemperatur um mehr als 10°C überschreiten, auftreten können [36]. Die Ergebnisse anderer Studien ergaben, dass unter den verwendeten Temperaturen keine Schädigung des periradikulären Gewebes eintrat [6].

Festzuhalten ist, dass es bei einem Verzicht auf einen Sealer, unabhängig von der verwendeten Wurzelkanalfülltechnik, eine Temperaturerhöhung von 7-10°C resultiert [37].

Weiterhin kann eine größere Anzahl an gefüllten, lateralen Seitenkanälen beobachtet werden [22]. Ein weiterer Nachteil der thermischen Füllmethoden besteht in der Gefahr der Überextension von Füllmaterial [11,35].

So stellten Marquis et al. (2006) fest, dass es bei der Continuous-Wave-Technik und der warmen, vertikalen Kondensationstechnik zu einer höheren Extrusion von Wurzelfüllmaterial kommt, als bei der kalten, lateralen Kompaktion [38].

Bezüglich der Dichtigkeit erzielten die Warmfüllmethoden insgesamt bessere Ergebnisse als die laterale Kompaktion [1].

In der Studie von Farzaneh et al. (2004) wurden klinisch mehr Erfolge mit der warmen, vertikalen Kompaktion als mit der lateralen Kompaktion verzeichnet [18].

4 Problemstellung

Das Ziel dieser *In-vitro*-Studie war es, durch vier verschiedene Placementverfahren die Penetrationstiefe und Homogenität des Sealers in artifiziell angelegten Seitenkanälchen zu messen. Die Messung der Faktoren sollte mittels digitaler Röntgendarstellung erfolgen.

Folgende Arbeitshypothesen wurden dabei aufgestellt:

Arbeitshypothese 1:

Die Lokalisation der Mulden und Rillen hat einen Einfluss auf die Füllung mit Sealer.

Arbeitshypothese 2:

Die verschiedenen Sealer-Applikationstechniken zeigen Unterschiede hinsichtlich der Fülltiefe der gefüllten Lateralkanäle.

Arbeitshypothese 3:

Die verschiedenen Sealer-Applikationstechniken zeigen Unterschiede hinsichtlich der Homogenität der gefüllten Lateralkanäle.

5 Material und Methode

5.1 Auswahl und Vorbereitung der Zähne

Bei dieser Studie wurden 60 gerade, einwurzelige, menschliche Zähne ausgewählt und mit Hilfe von Scalern von Zahnstein und Parodont befreit. Vor Versuchsbeginn wurden die Zähne in 0,5 % Chloramin T gelagert.

5.2 Präparation der Zähne

Anschließend wurden die Zahnkronen an der Schmelz-Zementgrenze mit Hilfe einer Diamanttrennscheibe (Horico, Berlin, Deutschland) von der Wurzel getrennt.

Als Nächstes erfolgte die maschinelle Aufbereitung mittels dem *FlexMaster System* und nachfolgend mittels einer *Mity Roto-Feile* auf ISO-Größe 80 bis 1 mm vor Apex, während dessen wurde mit 40 %iger Zitronensäure und 5 %igem Natriumhypochlorit gespült.

Im Folgenden wurden alle Zähne longitudinal gespalten, so dass zwei kongruente und in etwa gleich große Wurzelhälften entstanden.

Daraufhin wurde ein Silikonstopper (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz) auf 2 mm Höhe mit *GrandioFlow* (Voco, Cuxhaven, Deutschland) auf einem Fissuren-Bohrer (Horico, Berlin, Deutschland) fixiert (Abb. 1).

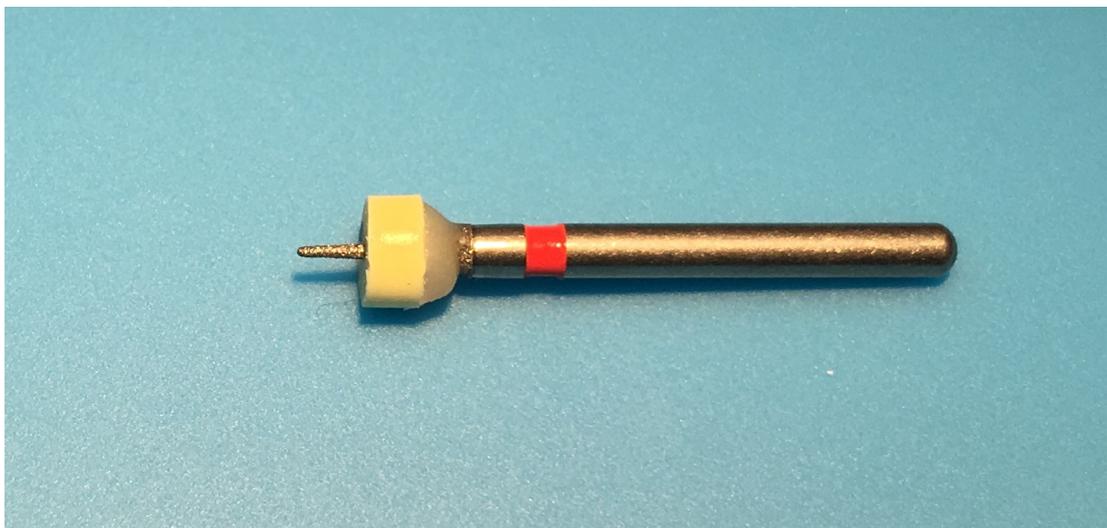


Abb. 1: Fissurenbohrer mit Silikonstopper auf 2 mm Höhe

Um nicht bearbeitete Areale und Wurzelkanalanomalien zu simulieren, wurde mit diesem modifizierten Bohrer auf einer Hälfte der Wurzel 2 mm vor Apex beginnend eine standardisierte Rille, welche 6 mm lang und 2 mm tief war, angelegt. Zusätzlich erfolgte auf der anderen Hälfte der Wurzel die Präparation vier standardisierter Lateralkanäle (nachfolgend als "Mulden" bezeichnet), welche 2 mm tief und im Abstand von 2 mm, 4 mm, 6 mm und 8 mm vom Apex entfernt waren. Die entstandenen Dentinspäne wurden mit Hilfe eines Pinsels (Faber-Castell, Stein, Deutschland) unter einem Operationsmikroskop (Zeiss OPMI S6, Zeiss, Oberkochen, Deutschland) entfernt. Anschließend wurden die Hälften wiederzusammengesetzt, um danach mit Klebewachs (*Supradent*, Oppermann-Schwedler, Bonn) fixiert zu werden. Es erfolgte die Einbettung der Wurzeln in Polyurethanharz (*Biresin G27*, Sika, Utrecht, Niederlande) (Abb. 1, 2) welche mit einer Schraube und einer Flügelmutter fixiert wurden.

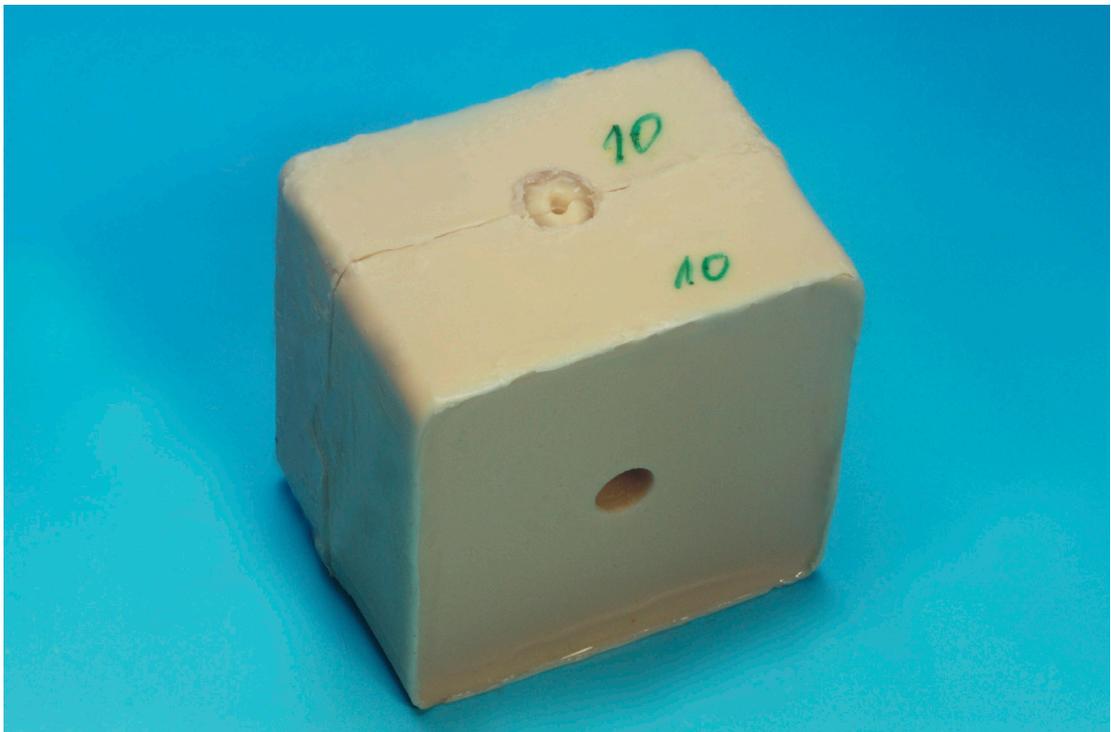


Abb. 2: Wurzel in Polyurethanharz eingebettet

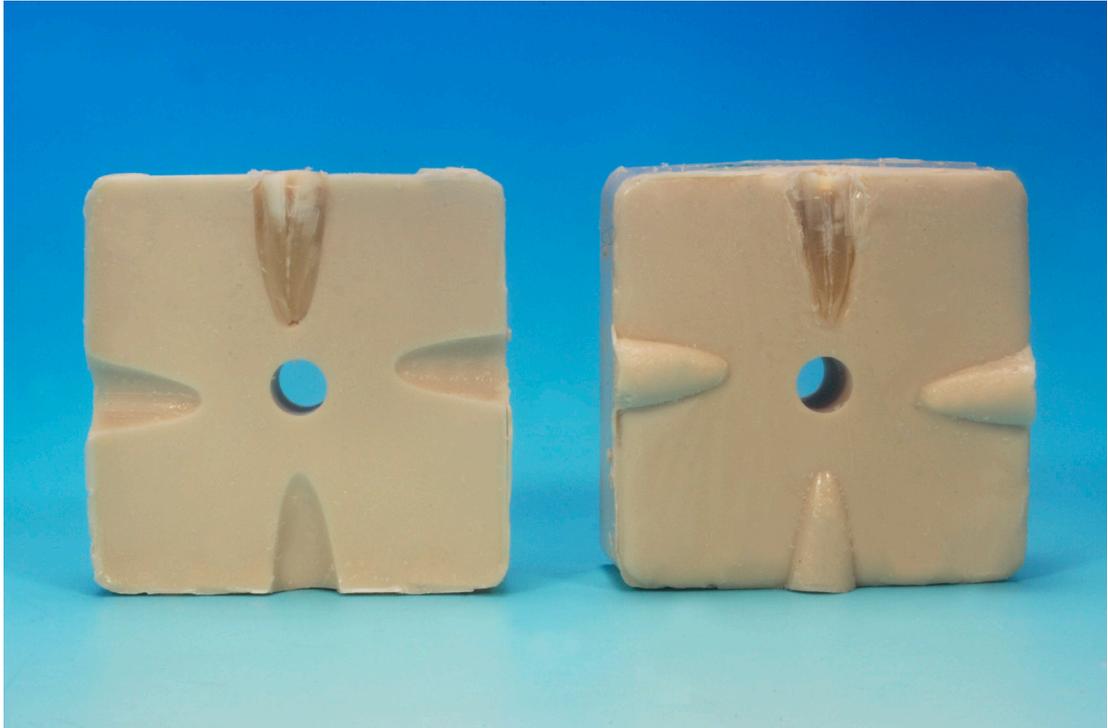


Abb. 3: Polyurethanblock geöffnet mit eingebetteten Wurzelhälften

Um eine ausreichende Trocknung des Wurzelkanals zu gewährleisten, wurden die Zähne nach der Spülung mit Natriumhypochlorit und Zitronensäure abschließend mit 70 %igem Ethanol gespült und mit Papierspitzen der Größe 70 getrocknet. Es wurde für jeden einzelnen Zahn ein Guttaperchastift der Größe 80 (Coltène Whaledent) eingepasst, welcher eine Klemmpassung (sog. „tug back“) im Kanal aufwies. Die 60 menschlichen Wurzeln wurden nun in 4 Gruppen mit jeweils 15 Wurzeln entsprechend der verschiedenen Placementtechniken eingeteilt.

Gruppe 1:

Zum Einbringen des Sealers wurde in Gruppe 1 eine bidirektionale Feile verwendet (Abb. 4). Diese wurde 2-mal mit *AH Plus* benetzt und mit 5 Auf- und -Ab-Bewegungen in einem grünen Winkelstück (500 U/min) angewendet. Darauf folgend wurde der Masterpoint eingebracht und mit Hilfe eines heißen Heidemann Spatels abgetrennt.

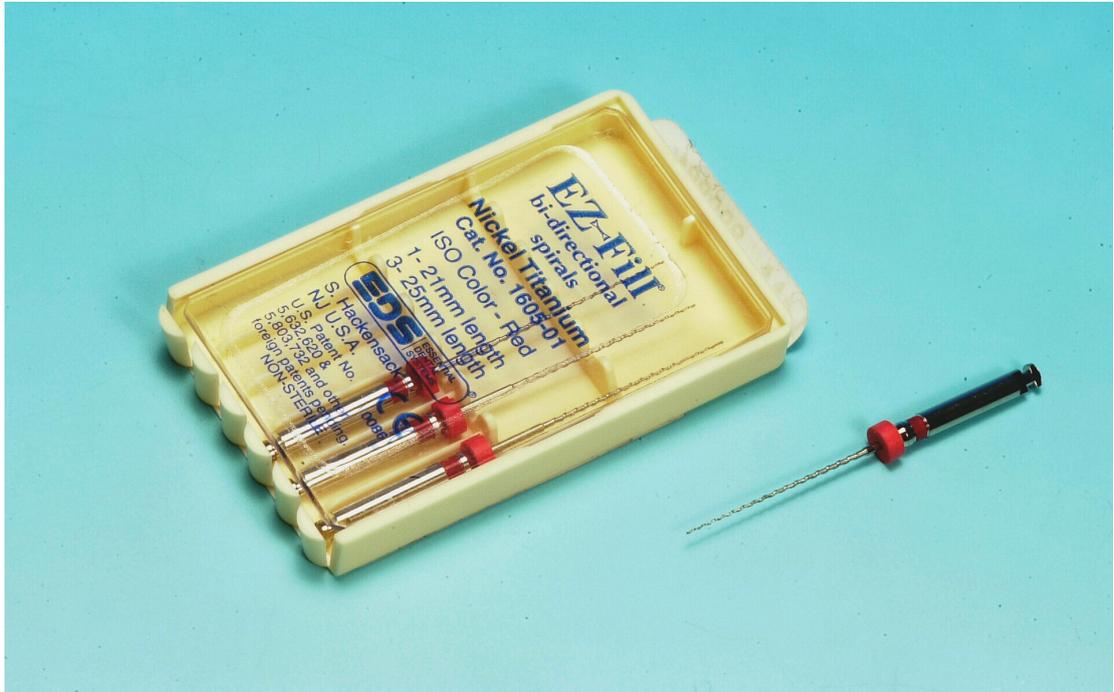


Abb. 4: EZ-Fill bi-directional-spirals

Gruppe 2:

In Gruppe 2 wurde der Sealer mittels eines K-Räumers (ISO 70) in den Kanal appliziert (Abb. 5). Dabei wurde bei der Applikation das Instrument nach der Aufnahme des Sealers 10-mal im Uhrzeigersinn gedreht. Der überschüssige Anteil des Guttaperchastiftes wurde mit Hilfe eines erhitzten Heidemann Spatels entfernt.

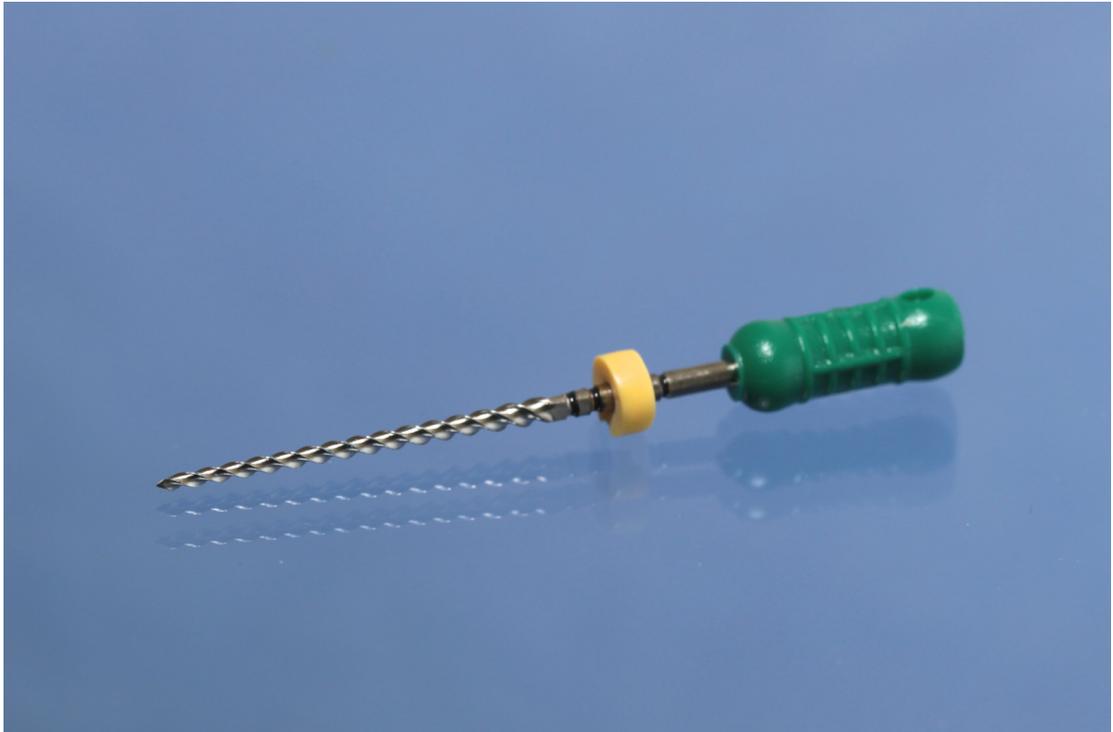


Abb. 5: K-Räumer der ISO-Größe 70

Gruppe 3:

In Gruppe 3 wurde ein Lentulo (ISO 35), wie in Gruppe 1 zweimal mit Sealer beschickt und mit Hilfe eines grünen Winkelstücks (500 U/min) unter 5 Auf- und Abwärtsbewegungen eingebracht (Abb. 6). Unmittelbar danach erfolgte das Einbringen des Masterpoints mit darauffolgendem Entfernen des Überschusses mittels eines heißen Heidemann-Spatels.



Abb. 6: Lentulo der Größe 35 eingesetzt in grünem Winkelstück

Gruppe 4:

Der Sealer wurde in Gruppe 4 mittels eines grünen Winkelstücks (500 U/min) und einer *CanalBrush* (Größe L) (Abb. 7) mit zweimaliger Aufnahme von *AH Plus* unter 5 Auf- und Abwärts-Bewegungen eingebracht (Abb. 7). Das Abtrennen der Guttapercha erfolgte wie oben beschrieben.



Abb. 7: CanalBrush der Größe L eingesetzt in ein grünes Winkelstück



Abb. 8: Detailansicht einer CanalBrush der Größe L

Als Sealer wurde in allen vier Gruppen *AH Plus* (Dentsply DeTrey, Konstanz, Deutschland) (Abb. 9) verwendet, welches nach Herstellerangaben vor jeder Befüllung frisch angemischt wurde. Die Sealmenge von 0,05 ml wurde mit Hilfe einer Insulinspritze (*Terumo U-40 Insulin*, Terumo Europe, Leuven, Belgien) abgemessen, auf eine Glasplatte aufgebracht und mit den oben genannten Placementverfahren in die Wurzelkanäle eingebracht. Um eine ausreichende Aushärtung und Dimensionstreu des Sealers zu gewährleisten, wurden die Kunststoffblöcke 48 Stunden feucht gelagert.



Abb. 9: *AH Plus*-Sealer in der Paste-Paste-Darreichungsform

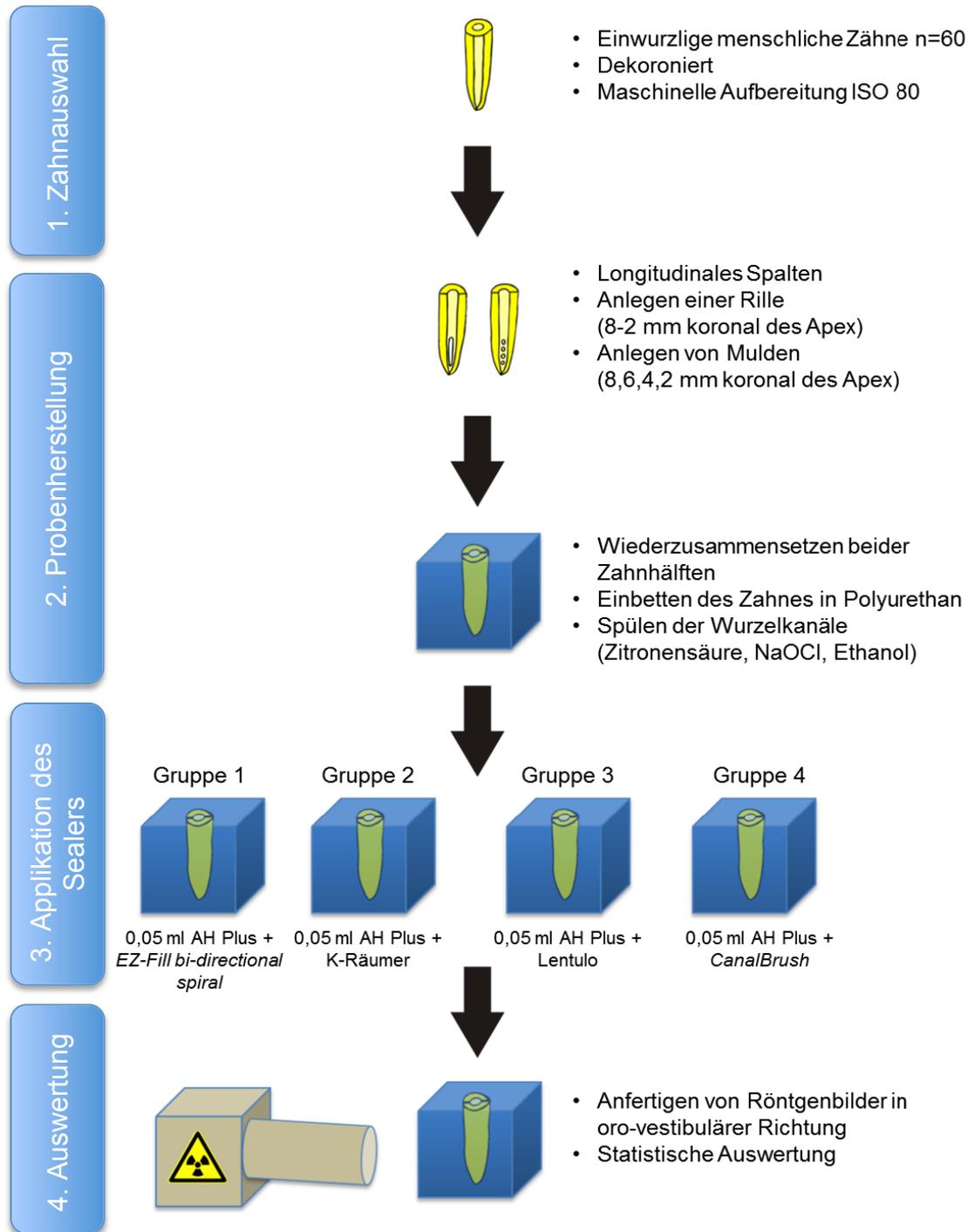


Abb. 10: Schematischer Versuchsaufbau

5.3 Röntgenauswertung

Abschließend wurde von jeder Probe ein Röntgenbild in frontaler Ebene mit einem Fokus-Film-Abstand von 10 cm angefertigt, in einem Scanner (*Digora*, Soredex, Helsinki, Finnland) digitalisiert und kategorisiert. Aufgrund der digitalen Röntgenbilder wurde nun die Penetrationstiefe jeder der vier simulierten lateralen Kanäle und die entsprechenden Tiefen der Mulden gemessen, in eine Tabelle eingetragen und daraufhin statistisch ausgewertet. Zusätzlich wurden die Homogenität und die Vollständigkeit des Sealers in den Mulden und Löchern bewertet.

Die **Homogenität der Füllung** wurde wie folgt eingeteilt:

0 = keine Füllung

1 = inhomogen,

2 = homogen

Zudem wurde die **Vollständigkeit der Füllung** wie folgt bewertet:

0 = keine Füllung

1 = unvollständig < 50 %

2 = vollständig > 50 %

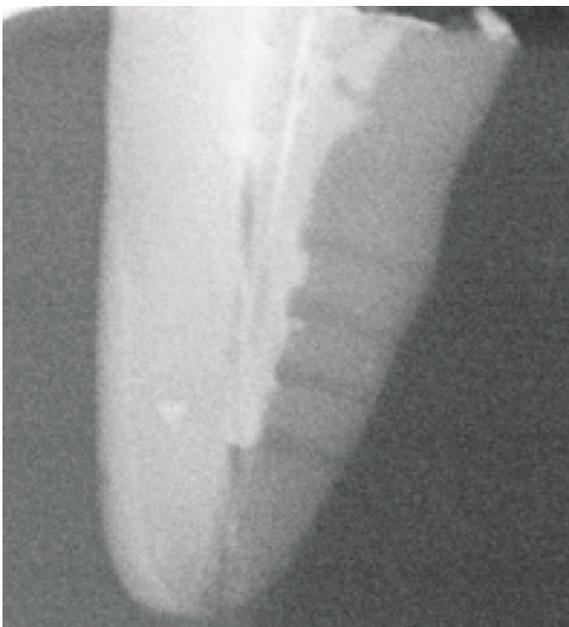


Abb. 11: Beispielröntgenbild: keine Füllung

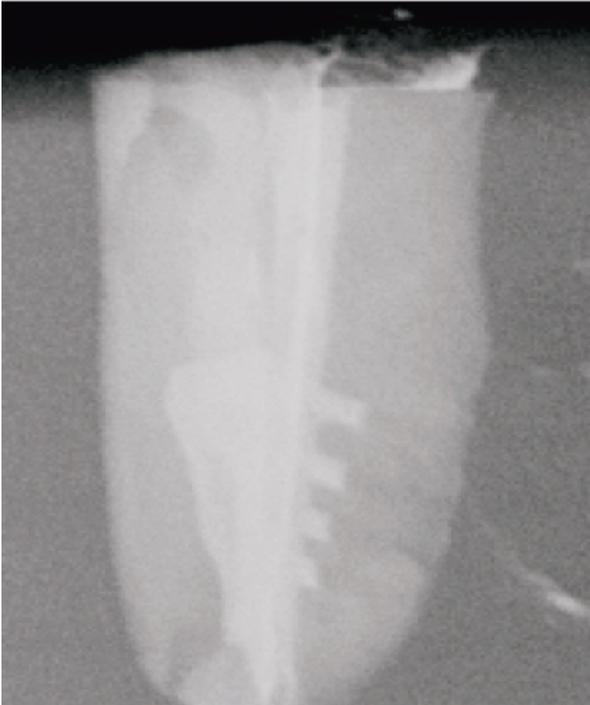


Abb. 12: Beispielröntgenbild: homogene Füllung < 50 %

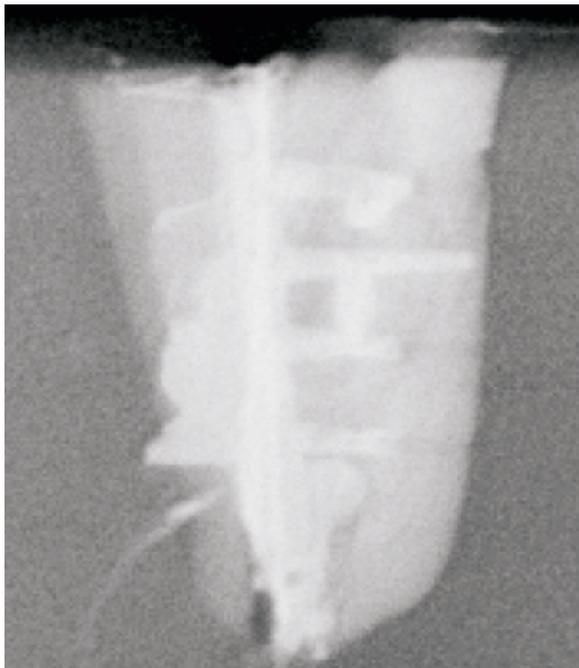


Abb. 13: Beispielröntgenbild: inhomogene Füllung > 50 %

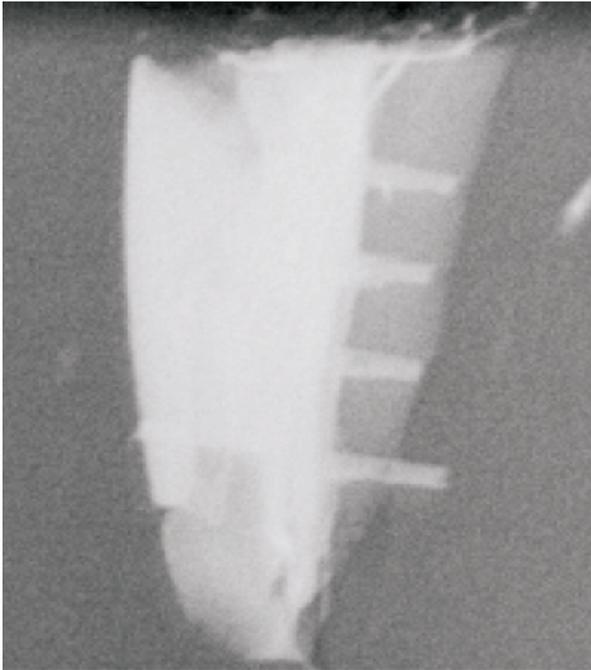


Abb. 14: Beispielröntgenbild: homogene Füllung > 50 %

5.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung der Ergebnisse erfolgte mit Hilfe des Statistikprogrammes *SPSS Win 17.0* (SPSS Inc., Illinois, USA). Es fanden folgende statistische Testverfahren Verwendung:

1. Kolmogorov-Smirnov-Test
2. One-way-ANOVA
3. Post-Hoc-Test
4. Kruskal-Wallis-Test
5. Mann-Whitney-Test
6. Friedman-Test
7. Wilcoxon-Test

Das allgemeine Signifikanzniveau wurde auf $p < 0,05$ festgelegt.

Die Analyse wurde zunächst mit ANOVA und nachfolgenden Post-hoc-Tests (Student-Newman-Keuls) vorgenommen. Weil jedoch die Analyse auf Normalverteilung der Daten innerhalb der einzelnen Gruppen mittels Kolmogorov-Smirnov-Test vereinzelt keine Normalverteilung aufwies (Tab. 1), wurden mit dem Kruskal-Wallis-Test sowie dem Mann-Whitney-Test die statistischen Auswertungen mit nicht-parametrischen Testverfahren durchgeführt. Der Kruskal-Wallis-Test diente der Analyse der Sealerpenetrationstiefe in die Rillen und Mulden nach verschiedenen Aktivierungstechniken, wonach zusätzlich Paarvergleichsanalysen mittels Mann-Whitney-Tests erfolgten. Zudem wurde mit dem Friedman-Test für abhängige Stichproben analysiert, wie sehr sich die Penetrationstiefe innerhalb der verschiedenen Kanalabschnitte pro Probe unterschieden, gefolgt von weiteren Paarvergleichs-Analysen mittels Wilcoxon-Test.

6 Ergebnisse

Die Berechnungen ergaben, dass signifikante Abweichungen zwischen den Gruppen in Bezug auf die Penetrationstiefe in den Rillen bei 2 mm ($p=0,043$) vorlagen. Weiterhin wurden Signifikanzen sowohl bei den Mulden bei 8 mm ($p=0,06$) als auch zwischen den Mulden insgesamt beobachtet ($p=0,018$).

Die mittels Mann-Whitney-Test ermittelten, signifikanten Unterschiede sind in Tabelle 2 aufgeführt, in der alle paarweise dargestellt sind.

Hinsichtlich der Penetration des Sealers zeigte der Lentulo in einer künstlichen Rille bei 2 mm signifikant bessere Ergebnisse als eine *EZ-Fill*-Spirale und eine *CanalBrush* (Tab. 2).

Auch bei den Mulden 8 mm ($p=0,007$) und 6 mm ($p=0,012$) zeigte der Lentulo eine signifikante höhere Penetrationstiefe gegenüber der K-Feile. Die K-Feile erzielte im Vergleich zu einer *CanalBrush* ($p=0,001$), bei gleicher Lokalisation und Ausbuchtung, ebenfalls signifikant schlechtere Ergebnisse.

Diese Ergebnisse konnten bei dem Vergleich der gesamten durchschnittlichen Penetrationstiefe der Mulden untereinander bestätigt werden.

Als weiterer nicht-parametrischer Test zur Analyse der Penetrationstiefe, in Abhängigkeit von der Lokalisation der Ausbuchtung zwischen den Gruppen, kam der Friedman-Test (Tab 3). Es traten in allen Gruppen signifikant regionale Unterschiede hinsichtlich der Penetrationstiefe auf (Tab. 3). Dabei zeigte sich, dass die weiter koronal gelegenen Abschnitte stets eine tiefere Penetration des Sealers in die Mulden als auch Rillen aufwiesen als die weiter apikal gelegenen Abschnitte. Die paarweise Analyse mittels Wilcoxon-Test ermittelte regionale Unterschiede innerhalb einer Gruppe. Diese sind in Tabelle 4 dargestellt. Die Lentulo-Gruppe zeigte jedoch im regionalen Vergleich keine großen Unterschiede. Dennoch konnte auch hier die gleiche Tendenz beobachtet werden. Die koronalen Lateralkanäle des Wurzelkanals konnten effektiver mit Wurzelkanalsealer gefüllt werden als die mehr apexnahen Lateralkanäle.

Tab. 2: Mittelwerte und Standardabweichungen der Sealerpenetrationstiefen von Rillen und Mulden (Wurzelkanalabschnitt sowie gesamt) und Signifikanzwerte der Vergleich der 4 Gruppen (nicht-parametrische Analyse mittels Kruskal-Wallis-Test).

Sealerpenetrationstiefe [mm]										
	Rille 2 mm	Rille 4 mm	Rille 6 mm	Rille 8 mm	Rille gesamt	Mulde 2 mm	Mulde 4 mm	Mulde 6 mm	Mulde 8 mm	Mulde gesamt
Gruppe 1 (EZ Fill-Spirale)										
Mittelwert [mm]	0,84	0,94	1,41	1,51	1,17	0,39	0,67	1,13	1,41	0,90
SD [mm]	0,69	0,52	0,75	0,66	0,57	0,24	0,49	0,86	1,16	0,55
Gruppe 2 (K-Räumer)										
Mittelwert [mm]	0,87	0,93	1,26	1,67	1,18	0,48	0,77	0,85	0,91	0,75
SD [mm]	0,43	0,38	0,58	0,58	0,42	0,35	0,42	0,44	0,53	0,24
Gruppe 3 (Lentulo)										
Mittelwert [mm]	1,24	0,99	1,15	1,38	1,19	0,88	0,89	1,64	1,90	1,33
SD [mm]	0,58	0,66	0,59	0,70	0,49	0,79	0,62	0,95	1,00	0,67
Gruppe 4 (CanalBrush)										
Mittelwert [mm]	0,72	0,70	1,15	1,49	1,01	0,54	0,89	1,27	2,10	1,20
SD [mm]	0,25	0,37	0,58	0,76	0,39	0,29	0,79	0,88	0,97	0,60
Kruskal-Wallis-Test	0,043*	0,567	0,690	0,387	0,595	0,275	0,575	0,076	0,006*	0,018*

Tab. 3: Paarvergleichsanalyse der Sealerpenetrationstiefen der vier experimentellen Gruppen (nicht-parametrischer Mann-Whitney-Test) in den vier Kanalabschnitten für Mulden und Rillen in den Kanalabschnitten sowie Mulden und Rillen insgesamt.

Form der Ausbuchtung: Rille					
Lokalisation	Gruppe	1	2	3	4
2 mm	1		p = 0,298	p = 0,029*	p = 0,533
	2	p = 0,298		p = 0,081	p = 0,318
	3	p = 0,029*	p = 0,081		p = 0,013*
	4	p = 0,533	p = 0,318	p = 0,013*	
4 mm	1		p = 0,467	p = 0,868	p = 0,533
	2	p = 0,467		p = 0,633	p = 0,125
	3	p = 0,868	p = 0,633		p = 0,480
	4	p = 0,533	p = 0,125	p = 0,480	
6 mm	1		p = 0,740	p = 0,418	p = 0,395
	2	p = 0,740		p = 0,319	p = 0,506
	3	p = 0,418	p = 0,319		p = 0,803
	4	p = 0,395	p = 0,506	p = 0,803	
8 mm	1		p = 0,455	p = 0,534	p = 0,885
	2	p = 0,455		p = 0,059	p = 0,271
	3	p = 0,534	p = 0,059		p = 0,575
	4	p = 0,885	p = 0,271	p = 0,575	
gesamt	1		p = 0,576	p = 0,724	p = 0,740
	2	p = 0,576		p = 0,494	p = 0,115
	3	p = 0,724	p = 0,494		p = 0,520
	4	p = 0,740	p = 0,115	p = 0,520	
Form der Ausbuchtung: Mulde					
Lokalisation	Gruppe	1	2	3	4
2 mm	1		p = 0,288	p = 0,084	p = 0,095
	2	p = 0,288		p = 0,467	p = 0,739
	3	p = 0,084	p = 0,467		p = 0,693
	4	p = 0,095	p = 0,739	p = 0,693	
4 mm	1		p = 0,177	p = 0,271	p = 0,395
	2	p = 0,177		p = 0,917	p = 0,934
	3	p = 0,271	p = 0,917		p = 0,868
	4	p = 0,395	p = 0,934	p = 0,868	
6 mm	1		p = 0,561	p = 0,078	p = 0,468
	2	p = 0,561		p = 0,012*	p = 0,152
	3	p = 0,078	p = 0,012*		p = 0,271
	4	p = 0,468	p = 0,152	p = 0,271	
8 mm	1		p = 0,431	p = 0,229	p = 0,051
	2	p = 0,431		p = 0,007*	p = 0,001*
	3	p = 0,229	p = 0,007*		p = 0,604
	4	p = 0,051	p = 0,001*	p = 0,604	
gesamt	1		p = 0,967	p = 0,065	p = 0,062
	2	p = 0,967		p = 0,024*	p = 0,004*
	3	p = 0,065	p = 0,024*		p = 0,885
	4	p = 0,062	p = 0,004*	p = 0,885	

Tab. 4: Statistische Analyseergebnisse der Sealerpenetrationstiefen (abhängige Stichproben) in den vier experimentellen Gruppen zwischen den einzelnen Kanalabschnitten (Friedman-Test für alle Kanalabschnitte sowie Wilcoxon-Test für den paarweisen Vergleich der verschiedenen Kanalabschnitte untereinander).

Gruppe	Form der Ausbuchtung: Rillen			Form der Ausbuchtung: Mulden		
	Lokalisation A	Lokalisation B	Wilcoxon-Test	Lokalisation A	Lokalisation B	Wilcoxon-Test
1	2 mm	4 mm	p = 0,432	2 mm	4 mm	p = 0,016*
	2 mm	6 mm	p = 0,002*	2 mm	6 mm	p = 0,001*
	2 mm	8 mm	p = 0,003*	2 mm	8 mm	p = 0,003*
	4 mm	6 mm	p = 0,005*	4 mm	6 mm	p = 0,002*
	4 mm	8 mm	p = 0,005*	4 mm	8 mm	p = 0,016*
	6 mm	8 mm	p = 0,363	6 mm	8 mm	p = 0,320
	Friedman-Test: p < 0,001*			Friedman-Test: p < 0,001*		
2	2 mm	2 mm	p = 0,510	2 mm	2 mm	p = 0,023*
	2 mm	2 mm	p = 0,019*	2 mm	2 mm	p = 0,003*
	2 mm	2 mm	p = 0,001*	2 mm	2 mm	p = 0,030*
	4 mm	4 mm	p = 0,003*	4 mm	4 mm	p = 0,272*
	4 mm	4 mm	p = 0,001*	4 mm	4 mm	p = 0,394*
	6 mm	6 mm	p = 0,003*	6 mm	6 mm	p = 0,609*
	Friedman-Test: p < 0,001*			Friedman-Test: p = 0,016*		
3	2 mm	4 mm	p = 0,074	2 mm	4 mm	p = 0,776
	2 mm	6 mm	p = 0,470	2 mm	6 mm	p = 0,024*
	2 mm	8 mm	p = 0,281	2 mm	8 mm	p = 0,001*
	4 mm	6 mm	p = 0,147	4 mm	6 mm	p = 0,003*
	4 mm	8 mm	p = 0,078	4 mm	8 mm	p = 0,001*
	6 mm	8 mm	p = 0,099	6 mm	8 mm	p = 0,280
	Friedman-Test: p = 0,049*			Friedman-Test: p < 0,001*		
4	2 mm	4 mm	p = 0,916	2 mm	4 mm	p = 0,019*
	2 mm	6 mm	p = 0,003*	2 mm	6 mm	p = 0,005*
	2 mm	8 mm	p = 0,002*	2 mm	8 mm	p = 0,001*
	4 mm	6 mm	p = 0,002*	4 mm	6 mm	p = 0,041*
	4 mm	8 mm	p = 0,001*	4 mm	8 mm	p = 0,002*
	6 mm	8 mm	p = 0,048*	6 mm	8 mm	p = 0,002*
	Friedman-Test: p < 0,001*			Friedman-Test: p < 0,001*		

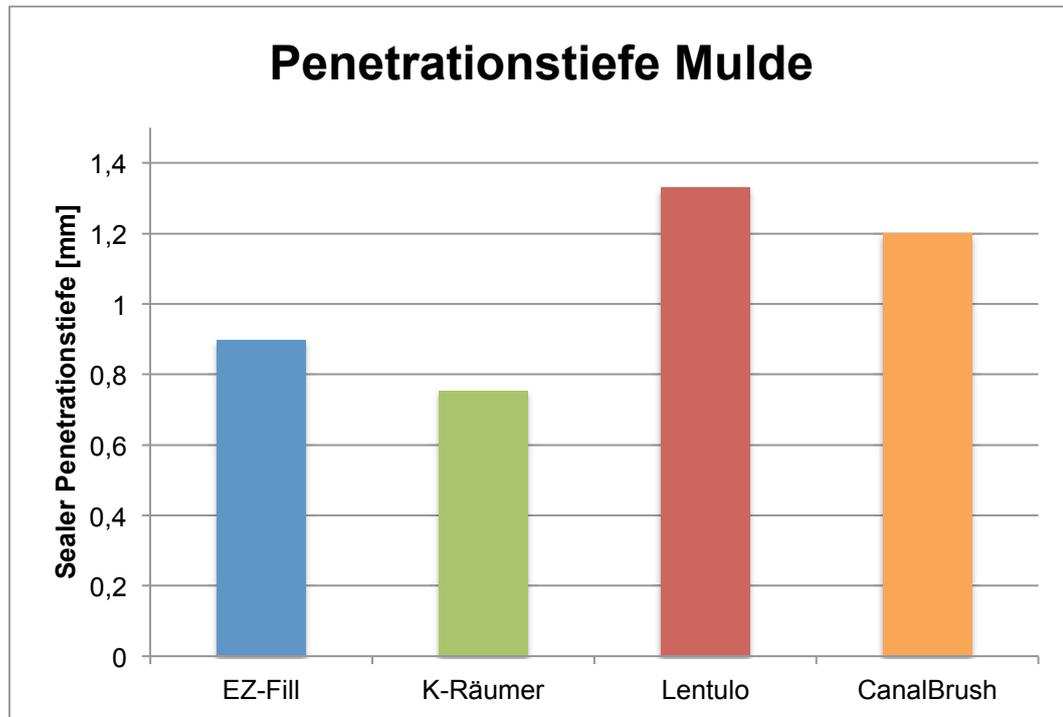


Abb. 15: Mittlere Penetrationstiefe der Mulden bei verschiedenen Applikationstechniken

Es konnten signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen ermittelt werden (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,018$). So ist in Abb. 15 zu sehen, dass die mittlere Penetrationstiefe der Mulden zwischen der K-Räumer-Gruppe und der Lentulo-Gruppe stark differierte. Demnach erbrachte das Einbringen des Sealers mit einem Lentulo die besten Ergebnisse. Das Applizieren des Sealers mittels K-Räumer lieferte die schlechtesten Ergebnisse. Weiterhin kann festgehalten werden, dass die Lentulo-Gruppe (Median: 1,33 mm) und *Canal-Brush*-Gruppe (Median: 1,20 mm) annähernd gleich gute Ergebnisse erzielten.

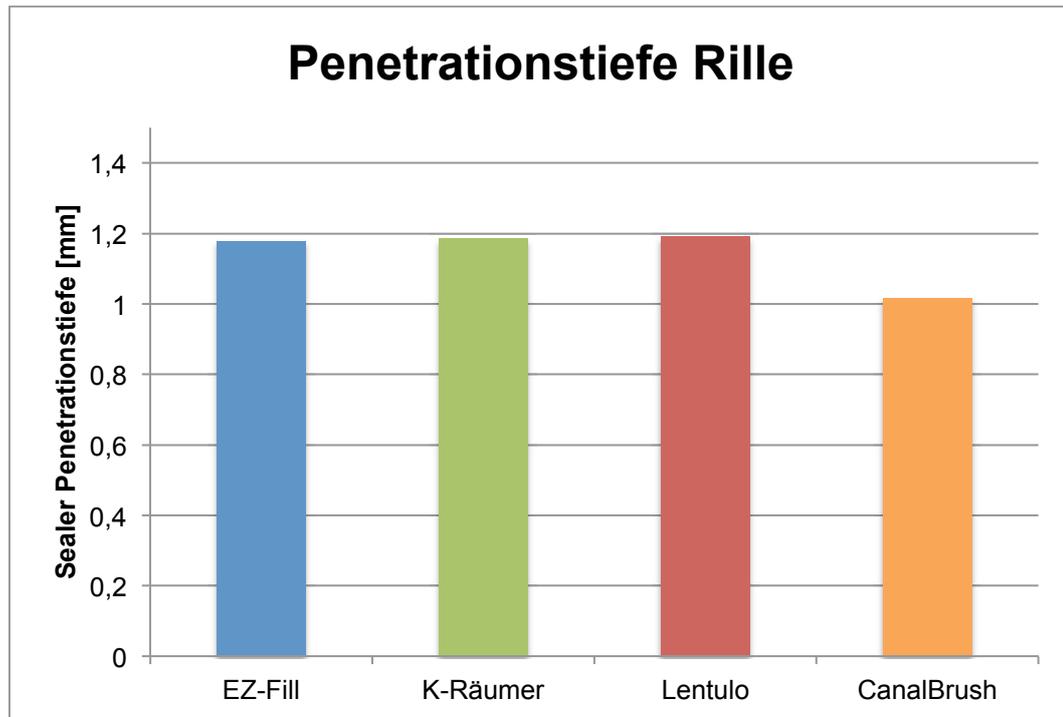


Abb. 16: Mittlere Penetrationstiefe der Rillen bei verschiedenen Applikationstechniken

Betrachtet man die mittleren Penetrationstiefen bei artifizuell angelegten Rillen, so erkennt man in Abb. 16, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen vorlagen (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,595$).

Bei der der Seitenkanäle insgesamt erbrachte die *CanalBrush* die schlechtesten Werte.

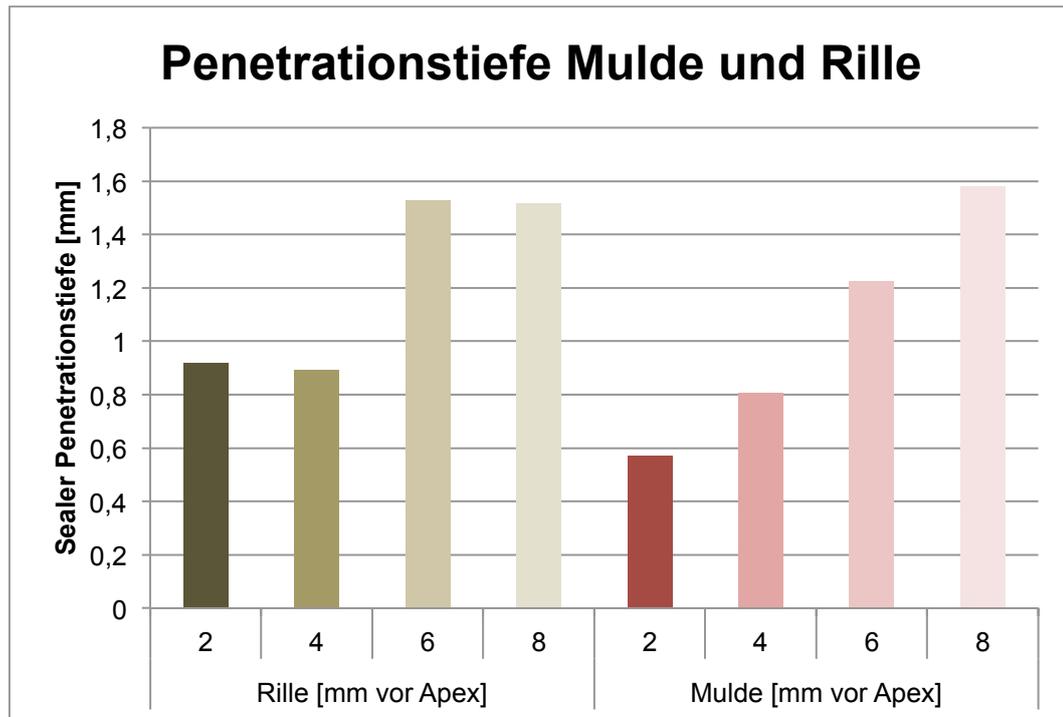


Abb. 17: Mittlere Penetrationstiefe der gesamten Mulden und Rillen

Betrachtet man den Abstand aller Mulden und Rillen 2 mm, 4 mm, 6 mm und 8 mm vor Apex ist zu erkennen, dass die mehr koronal gelegenen Abschnitte bessere Ergebnisse lieferten als die mehr apikal gelegenen. Während apikal eine mittlere Penetrationstiefe von maximal 0,9 mm erreicht werden konnte, war eine maximale Penetration von 1,58 mm koronal zu verzeichnen.

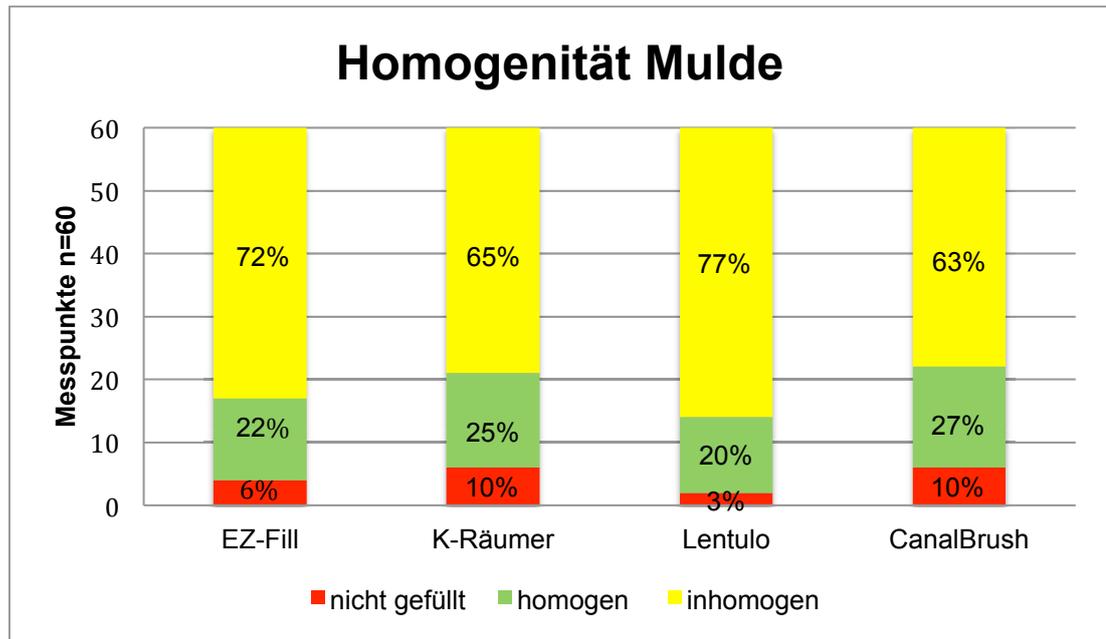


Abb.18: Homogenität des Sealers der Mulden bei verschiedenen Applikationstechniken

In Bezug auf die Homogenität des Sealers kann festgehalten werden, dass unter den Gruppen keine signifikanten Unterschiede berechnet werden konnten. Abb. 18 zeigt, dass eine homogene Penetration der Mulden in 21,6% (EZ-Fill-Gruppe), 25% (K-Räumer-Gruppe), 20% (Lentulo-Gruppe) und 26,6% (CanalBrush-Gruppe) der Fälle erreicht wurde.

Bei den apikal gelegenen Bereichen konnten mehr Luft einschüsse und Inhomogenitäten gefunden werden als koronal.

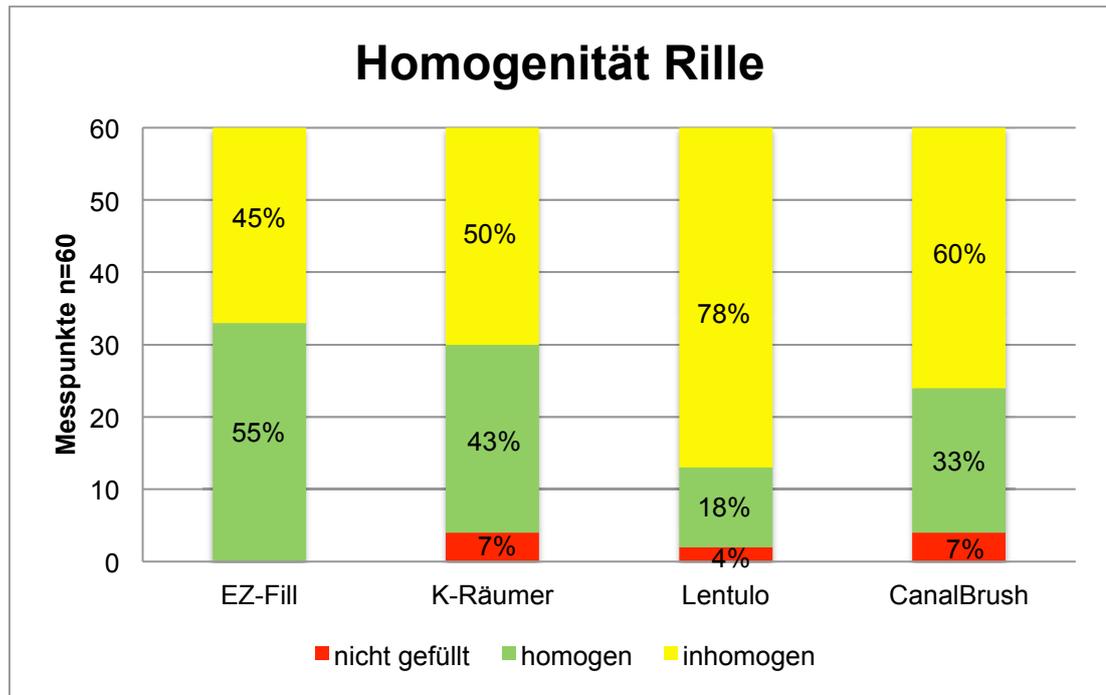


Abb. 19: Homogenität des Sealers der Rillen bei verschiedenen Applikationstechniken

Abb. 19 zeigt, dass mehr als die Hälfte der untersuchten Proben homogen mit einer *EZ-Fill bi-directional spiral* gefüllt werden konnten. Die Lentulo-Gruppe brachte die schlechtesten Ergebnisse, lediglich 18,3% konnten gleichmäßig mit Sealer gefüllt werden. Zwischen den beiden Gruppen gab es keine signifikanten Unterschiede. 33,3% der Rillen wurden mit einer *Canal-Brush* und 43% mit einem K-Räumer ohne Lufteinschlüsse gefüllt.

Die Homogenität zwischen den Gruppen war annähernd gleich groß. Ob die Messbereiche der Rillen dabei mehr apikal oder koronal lagen, spielte dabei keine Rolle.

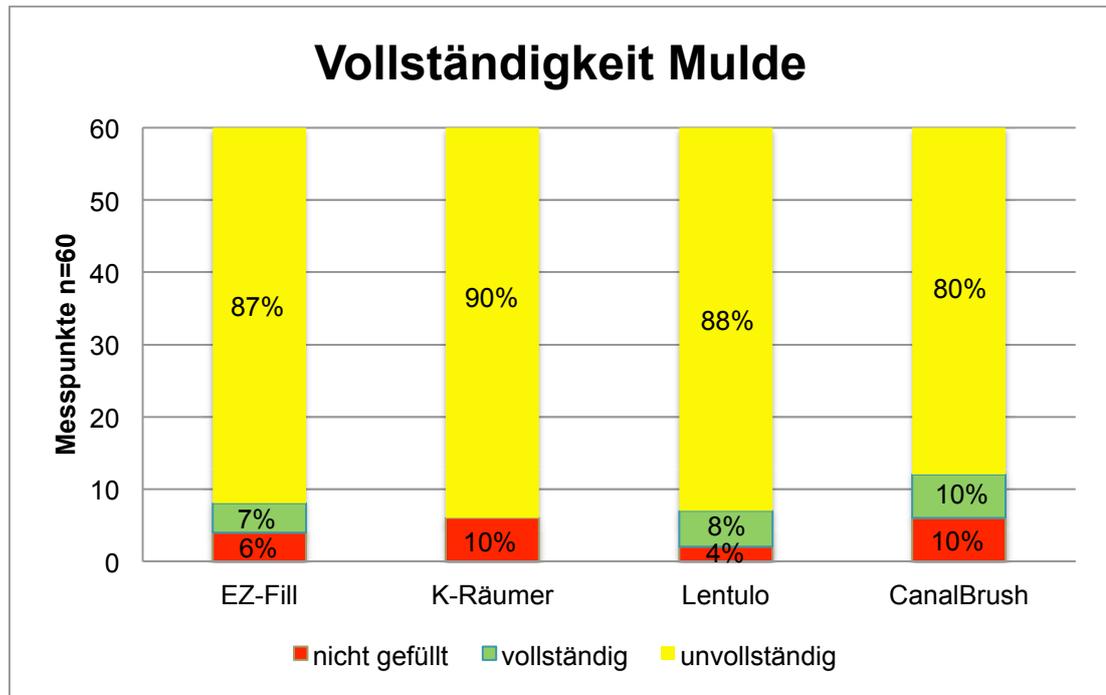


Abb. 20: Vollständigkeit des Sealers der Mulden bei verschiedenen Applikationstechniken

Im Hinblick auf die Vollständigkeit der Sealerpenetration in künstlich angelegten Mulden konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden. Es konnte mit einem K-Räumer keine vollständige Penetration des Sealers erreicht werden. Bessere Ergebnisse lieferte die Applikation des Wurzelsealers mit einem Lentulo. In 10% der Fälle wurden die Mulden vollständig gefüllt, ca. 88% waren unvollständig gefüllt und in 2 Proben wurden die Mulden gar nicht mit Sealer penetriert. Zwischen den beiden Gruppen konnten jedoch keine Signifikanzen berechnet werden. Die *Canal-Brush* zeigte in 10% der Proben eine komplette Füllung. Lediglich 6,7% der Mulden der *EZ-Fill*-Gruppe wiesen eine vollständige Penetration auf.

Weiterhin konnte wieder die Tendenz festgestellt werden, dass die koronal gelegenen Abschnitte bessere Ergebnisse lieferten, als die weiter apikal gelegenen. Bei der Betrachtung der Rillen war dieses nicht zu beobachten.

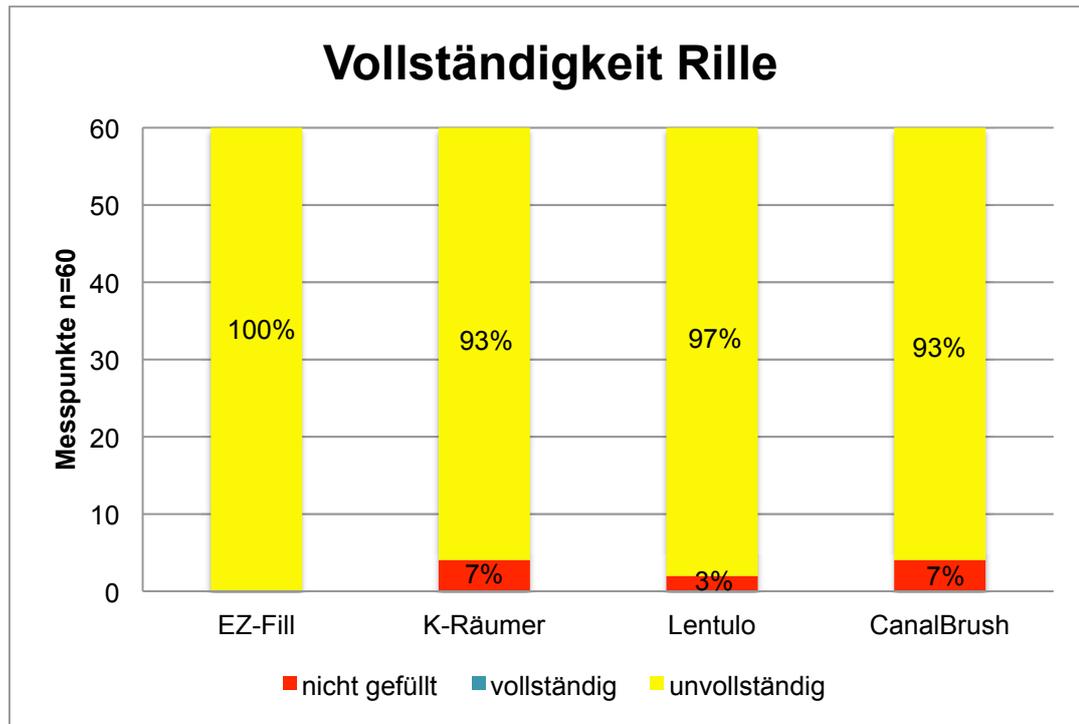


Abb. 21: Vollständigkeit des Sealers der Rillen bei verschiedenen Applikationstechniken

Auch bei artifizuell angelegten Rillen konnten keine signifikanten Unterschiede errechnet werden. Der Großteil des Untersuchungsgutes war unvollständig gefüllt (Abb. 21). Keine Applikationsmethode war in der Lage eine künstlich angelegte Rille komplett mit Sealer zu füllen.

In ca. 2% der Lentulo-Gruppe, 6% der (*CanalBrush*-Gruppe) und 6% der K-Räumer-Gruppe konnte röntgenologisch kein Sealer in den Rillen festgestellt werden.

Dieses Diagramm bestätigt nochmals, dass alle Gruppen nur geringe Unterschiede aufwiesen. Somit konnten keine Signifikanzen ermittelt werden.

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Methodik

Ziel dieser Studie war es, künstlich präparierte Seitenkanäle in menschlichen Zähnen, welche Nischen für verbliebenes Gewebe und Mikroorganismen bilden und somit ein Scheitern der Wurzelfüllung begünstigen können, in Abhängigkeit von verschiedenen Placement-Techniken homogen zu füllen.

Oft wird *In-vitro*-Studien mit Kritik begegnet, da sie mit einer *In-vivo*-Studie nicht direkt vergleichbar sind. Es sind die häufigen Differenzen zwischen den Ergebnissen und Schlussfolgerungen der *In-vitro*-Studien, die diese Kritik zulassen und die Vergleichbarkeit stark einschränken. Die Standardisierbarkeit einer *In-vitro*-Studie ist jedoch insofern von Vorteil, da die Ergebnisse miteinander verglichen und entsprechend ausgewertet werden können.

Das Aufbereiten und Füllen lateraler Kanäle stellt den Zahnarzt immer wieder vor neue Herausforderungen. Nicht gefüllte, laterale Kanäle bieten Bakterien und Gewebszerfallsprodukten den Austausch zwischen dem parodontalen Gewebe und dem Wurzelkanal [28].

Ziel dieser Studie war es, klinische relevante und aussagekräftige Ergebnisse zu erzielen. Um eine möglichst große Vergleichbarkeit zu schaffen, müssen möglichst viele Parameter konstant gehalten werden, um eine möglichst geringe Standardabweichung und eine zu große Streuung der Ergebnisse zu vermeiden. Deshalb wurde in dieser Arbeit als gemeinsame Grundlage eine Standardisierungsmethode gewählt. Aus diesem Grund wurden in vielen Studien zur quantitativen Bestimmung von Wurzelkanalfüllungen künstliche Wurzelkanäle aus Methacrylat oder ähnlichen Kunststoffen verwendet [54,57]. So werden zwar bei solch einem Verfahren Standardbedingungen geschaffen, welche jedoch den Nachteil haben, dass Wechselwirkungen zwischen dem natürlichen Zahn und dem Werkstoff außer Acht gelassen werden. Aus diesem Grund müssen solche Studien als relativ wenig aussagekräftig eingestuft werden.

Für diese Arbeit wurden humane, extrahierte Zähne verwendet, um Eigenschaften wie Kanalwandbeschaffenheit und Wechselwirkung zwischen Füll-

material und Dentinoberfläche mit einzubeziehen. Durch eine sorgfältige Selektion der Zähne konnte ein standardisiertes Untersuchungsgut geschaffen werden. Es wurden deshalb ausschließlich gerade, menschliche Wurzeln von einwurzeligen Zähnen verwendet.

Aufbereitung der Probenzähne

Zusätzlich erfolgte die Aufbereitung der Probezähne mittels vollrotierender, maschineller Aufbereitung mit dem *FlexMaster*-System und mit einer *Mity Roto-Feile* bis zu ISO 80. Durch die besonderen Eigenschaften dieses Systems war auf diese Weise eine einheitliche, kreisrunde Gestaltung der Kanäle möglich, welche mit einer behandler- und techniksensitiven manuellen Aufbereitung nicht gewährleistet werden konnte.

Es muss eine apikale Aufbereitungsgröße von ISO 80 jedoch auch kritisch beurteilt werden, da in Folge dessen das Risiko einer Perforation und einer zusätzlichen Schwächung der Wurzel besteht [78].

Somit wurde jedoch eine Formvariation als beeinflussender Faktor der Untersuchungsergebnisse ausgeschlossen. Damit rückten die Placementtechniken immer mehr in den Vordergrund. Sonntag et al. (2003) stellten bei ihren Untersuchungen fest, dass bei den handaufbereiteten Probezähnen signifikant weniger Masterpoints die korrekte Arbeitslänge erreichten, als dies bei mit rotierenden Instrumenten aufbereiteten Zähnen der Fall war [63].

Weiterhin wurde durch die große Aufbereitung die Spaltung der Wurzeln erleichtert [77]. Zudem konnten nur so adäquat die lateralen Extensionen angelegt werden.

Mulden und Rillen

Wu et al. (2000) zeigt, dass 5 mm vor Apex der Wurzelkanal häufig in eine ovale Form übergeht. Aus diesem Grund ist es nahezu unmöglich lange ovale Kanäle mit Ausbuchtungen komplett zu reinigen und zu instrumentieren ohne die Wurzel unnötig zu schwächen [78].

Um Konditionen zu schaffen, welche so nah wie möglich der klinischen Realität entsprechen, wurden im Rahmen dieser Arbeit, wie schon in vorhergegangenen Studien, künstlich angelegte laterale Extensionen, welche einen Durchmesser von circa 150 µm entsprachen, in humane Zähne präpariert [44]. Aufgrund der Tatsache, dass die Mehrzahl an lateralen Extensionen im apikalen Drittel aufzufinden sind [5], wurden die Kanäle in Anlehnung an die Arbeit von Goldberg et al. (2001) und Pécora et al. (2002) im Abstand von 2 mm, 4 mm und 6 mm vom Apex gesetzt [22,44]. Zusätzlich wurde in dieser Arbeit ein weiterer Kanal auf Höhe von 8 mm angelegt, um eine zusätzliche Referenz zu gewinnen. Hier wurde die von Pécora et al. (2002) beschriebene Präparation der lateralen Kanäle modifiziert, indem ein Fissuren-Bohrer entsprechender Arbeitslänge zum Einsatz kam [44].

Um zusätzlich nicht instrumentell bearbeitete Bereiche zu simulieren, wurde mittels Fissuren-Diamant auch auf der kontralateralen Hälfte der Wurzel eine Mulde, 2-8 mm von Apex entfernt, angelegt. Die Tiefe der Mulden und Rillen wurde auf 2 mm festgelegt. Diese Länge wurde standardisiert, indem ein Silikonstopper mit *Grandio Flow* fixiert wurde.

Wurzelkanalspülung

Durch den Abtrag von Wurzeldentin mit Aufbereitungsinstrumenten entsteht an den bearbeiteten Flächen eine 1-2 µm dünne Schmierschicht, welche sich aus Dentinspänen, Pulpagewebe und Bakterien zusammensetzt [47,49].

Ob der Smear layer-Einfluss auf die Randständigkeit und Dichtigkeit einer Wurzelkanalfüllung hat, wird in der Literatur kontrovers diskutiert. So propagierten Drake et al. (1994), dass das Belassen der Schmierschicht von Vorteil sei, da so eine Penetration der Bakterien in die Dentintubuli verhindert und zusätzlich ein Nachfließen von Flüssigkeit unterbunden wird [17]. Demgegenüber sprechen sich Petschelt et al. (1987) für die Entfernung des Smear layers aus, um so eine bessere Penetration des Sealers in die Dentintubuli und damit eine höhere Dichtigkeit zu erzielen [50].

Durch die Schmierschicht als Diffusionsbarriere würde die Wirkung von verwendeten, antimikrobiellen Desinfizienzien bei der chemischen Bearbeitung des Wurzelkanals verhindert [26].

Hinzu kommt, dass Bakterien bei einem kontaminierten Wurzelkanal einen Bestandteil der Schmierschicht bilden und als Reinfektionsquelle fungieren. Um ein Scheitern der Wurzelbehandlung zu vermeiden, ist eine gründliche Entfernung der Schmierschicht erforderlich. Aus diesen Gründen wurde auch in dieser Arbeit die Schmierschicht entfernt. Dabei wurden NaOCl und Zitronensäure in Wechselfspülung verwendet. Da jedoch dem Natriumhypochlorit die Hauptaufgabe der Zersetzung von Geweberesten zukommt und es alleine nicht in der Lage ist die Schmierschicht zu entfernen [8], wurde ein zusätzlicher Chelatbildner in Form von Zitronensäure eingesetzt. Die dabei eingesetzte Menge und Reihenfolge wurde dabei stets konstant und nach dem Prinzip der Standardisierung beibehalten. Um die Trocknung des Kanals zu beschleunigen, erfolgte die letzte Spülung mit 70% Ethylalkohol [48].

Sealer

Der bestimmende Faktor einer Wurzelkanalfüllung sind die Eigenschaften des verwendeten Sealers [2]. Der in dieser Arbeit verwendete Sealer *AH Plus* weist eine leichte initiale Expansion auf und besitzt zusätzlich ein gutes Abdichtungsverhalten [43]. Sowohl bei der Einstifttechnik als auch bei der lateralen Kompaktion konnten ähnlich gute Abdichtungseigenschaften für epoxidharzbasierte Sealer, wie es *AH Plus* ist, gefunden werden [2].

Sealerapplikation

Aufgrund anatomischer Besonderheiten wie Seitenkanäle, apikale Extensionen und Ausbuchtungen nimmt der Sealer eine wichtige Rolle in der hermetischen Versiegelung des Endodonts ein, da durch das Abfüllen die Nährstoffzufuhr für Mikroorganismen durch das Desmodont [14] unterbunden wird.

Um die Penetrationstiefe und Homogenität des Sealers in Abhängigkeit der verschiedenen Placementtechniken vergleichen zu können, sollte die Menge des verwendeten Sealers standardisiert sein. Deshalb wurde in dieser Arbeit stets eine gleich große Menge an Sealer verwendet, die mittels einer Insulinspritze abgemessen wurde. In Anlehnung an vorangegangene Arbeiten von Wu et al. (2000) und Hall et al. (1996) wurde das Volumen auf 0,05 ml festgesetzt [27,77].

Es konnte jedoch nicht gewährleistet werden, dass die komplette Menge des Sealers durch die verschiedenen Applikationsverfahren aufgenommen und in den Wurzelkanal eingebracht werden konnte. Die verbleibenden Reste wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt.

Um die Anzahl an Variablen möglichst gering zu halten, wurden die Obturationstechnik, die Sealerquantität und der Sealertyp standardisiert, um aussagekräftige Ergebnisse über die verschiedenen Placementverfahren zu erhalten. Hierdurch war eine weitere Standardisierung möglich. Um für den klinischen Alltag möglichst aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, wurde als Wurzelfüllmaterial eine Kombination aus Guttapercha und Sealer gewählt.

Da die Guttapercha weder mit dem Dentin der Kanalwand noch mit dem Sealer interagiert, kann keine bakteriendichte Versiegelung des Wurzelkanals gewährleistet werden, da stets die Möglichkeit einer Penetration von Mikroorganismen entlang der Grenzflächen besteht [45].

Obturationstechnik

In den meisten Studien wurde zum Obturieren der Wurzelkanäle die kalte laterale Kompaktionstechnik angewandt. Da bei dieser Technik wesentlich häufiger behandler- und technikabhängige Unterschiede in der Qualität der Wurzelfüllung auftreten, wurde in dieser Arbeit die Einstifttechnik gewählt [21].

Es sollten damit Variabilitäten in der Obturation vermieden werden. So fanden Wu et al. (2000) heraus, dass bei der Einstiftmethode, in Bezug auf die Benetzung der Kanalwand mit Sealer, signifikant höhere Werte erzielt wurden, als bei anderen Techniken [77]. Weiterhin belegt eine weitere Studie

von Jarrett et al. (2004), dass durch die Verwendung von Spreadern bei der lateralen Kompaktion offensichtlich Lufteinschlüsse und Hohlräume zu verzeichnen waren [31]. Ob solche Inhomogenitäten zu einer undichten Wurzelkanalfüllung führen und damit die Möglichkeit einer bakteriellen Kontamination besteht, wird in der Literatur noch kontrovers diskutiert. Während Antonopoulos et al. (1998) keine Unterschiede der Dichtigkeit bei verschiedenen Obturationstechniken beschrieben [2], stellten Wu et al. (2003) signifikante Unterschiede fest [79].

Bei Verwendung eines unlöslichen Sealers und einer korrekten Passform des Masterpoints im apikalen Drittel stellt die Einstiftmethode eine adäquate Abfüllmethode dar [2,33,79]. Hinzu kommt noch, dass sowohl die Single-Cone-Technik als auch die laterale Kondensation ein gleich gutes Abdichtungsverhalten aufweisen [2,79].

Röntgenauswertung

Klinisch erfolgt die qualitative Beurteilung einer endodontischen Behandlung mittels Röntgenaufnahmen nach Fertigstellung der Wurzelkanalfüllung. Dabei werden insbesondere die Homogenität der Wurzelkanalfüllung, wie auch eine ausreichende Penetrationstiefe hinsichtlich der lateralen Extension des Materials in das Kanalsystem bewertet.

Jedoch wird in einigen veröffentlichten Publikationen das Röntgen in oro-vestibulärer Richtung zur Beurteilung und Kontrolle der Wurzelkanalfüllung kritisch betrachtet [62].

Bei der röntgenologischen Beurteilung von Wurzelkanalfüllungen in mesio-distaler Richtung konnten gegenüber den oro-vestibulären Röntgenkontrollaufnahmen insbesondere Porositäten innerhalb der untersuchten Wurzelkanalfüllung signifikant häufiger nachgewiesen werden [62].

Dennoch wurden hier nur Röntgenaufnahmen mit oro-vestibulärem Strahlengang angefertigt. Da die lateralen Extensionen in mesio-distaler Richtung angelegt wurden, ist dies die einzige sinnvolle Einstellung um eventuelle Inhomogenitäten oder die Penetrationstiefe bestimmen zu können.

7.2 Diskussion der Ergebnisse

Arbeitshypothese 1:

Die Lokalisation der Mulden und Rillen hat einen Einfluss auf die Füllung mit Sealer.

Die statistische Auswertung ergab, dass hauptsächlich die koronal gelegenen Mulden und Rillen eine größere Penetrationstiefe von Sealer aufwiesen. Diese Ergebnisse konnten auch Chandra et al. (2012) teilen [10]. Wilcox und Wiemann (1995) zeigten ebenfalls, dass 3 mm vor Apex weniger Sealer und eine geringere Penetrationstiefe in den Dentintubuli zu finden waren als 6 mm vor Apex [73]. Die Autoren erklärten sich dieses Phänomen aufgrund der Restfeuchtigkeit, die nach dem Trocknen im apikalen Drittel verbleibt und somit die Penetration des Sealers behindert.

In dieser Studie wurden künstliche Mulden und Rillen in gleicher Größe und Form in allen Abschnitten des Wurzelkanals angelegt, um so reproduzierbare Ergebnisse zu erzielen. Manche Untersuchungen begründen eine schlechtere Penetration der apikalen Bereiche mit Sealer aufgrund der Tatsache, dass nahe der Wurzelspitze mehr sklerotisiertes Dentin vorhanden ist [10,68]. Als weitere Ursachen werden eine unzureichende Reinigung und Beseitigung von Smear layer und Debris genannt, welche zu schlechteren Ergebnissen führen konnten [22]. Dies kann in diesem Versuchsaufbau ausgeschlossen werden, da in allen Bereichen des Wurzelkanals gleich dimensionierte, standardisierte Mulden und Rillen angelegt wurden. Demnach könnte eine Ursache für eine bessere Penetration in den koronalen Bereichen darin bestehen, dass schon ein Großteil des Sealers bei der Applikation am Kanaleingang abgestreift wird. Weiterhin nimmt das Kanallumen von koronal nach apikal ab, so dass im apikalen Drittel weniger Sealer vorhanden ist und somit sich die Wahrscheinlichkeit der Penetration in diesem Bereich erniedrigt. Weiterhin ist es möglich, dass die Verwirbelungen, die durch die rotierende Einbringung des Sealers entstehen, durch den nach apikal hin kleiner werdenden Querschnitt abnehmen, und somit eine geringere Penetrationstiefe des Sealers in die dortigen Lateralkanäle erreicht wird.

Damit konnte gezeigt werden, dass die Lokalisation sowohl der Mulden als auch der Rillen Einfluss auf die Füllung mit Sealer haben.

Demnach wird die Arbeitshypothese **angenommen**.

Arbeitshypothese 2:

Die verschiedenen Sealer-Applikationstechniken zeigen Unterschiede hinsichtlich der Fülltiefe der gefüllten Lateralkanäle.

Im Rahmen dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, dass es bei artifiziell angelegten Mulden signifikante Unterschiede gab.

Demnach konnte das Einbringen des Sealers mittels eines Lentulos eine größere Penetrationstiefe erreichen, als dies mit einer manuellen Einbringung durch einen K-Räumer der Fall war. Diese Aussage steht in Einklang mit den Untersuchungen von Hall et al. (1996) [27]. Diese Tatsache kann auf die Geometrie des Lentulos zurückgeführt werden. Durch die Form einer Spirale kann eine große Menge an Sealer aufgenommen und nach apikal transportiert werden. Zusätzlich kann angenommen werden, dass durch die rotierende Applikation mittels eines grünen Handstücks höhere Zentrifugalkräfte entstehen, welche zu einer bessern Füllung der lateralen Mulden führen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit thixotroper Eigenschaften des Sealers, da durch die Rotation eine Verbesserung der Fließeigenschaften erreicht wird und somit bessere Penetrationstiefen bei der maschinellen, rotierenden Einbringung erzielt werden können. Unter den anderen Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede ermittelt werden.

Betrachtet man die Fülltiefe bei artifiziell angelegten Rillen, so konnten keine signifikanten Unterschiede berechnet werden.

Demnach wird die Arbeitshypothese **abgelehnt**.

Arbeitshypothese 3:

Die verschiedenen Sealer-Applikationstechniken zeigen Unterschiede hinsichtlich der Homogenität der gefüllten Lateralkanäle.

Im Rahmen dieser Versuchsreihen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Demnach wurden hinsichtlich der Homogenität maximal 55% der Rillen durch eine *EZ-Fill bi-directional spiral* gefüllt. Mit einem Lentulo konnten lediglich 11 der 60 Messpunkte homogen gefüllt werden.

Die *CanalBrush*-Gruppe zeigte in 43% der Fälle eine homogene Füllung der Rillen.

Die Homogenität bei artifiziell angelegten Mulden war annähernd gleich groß. So wurde mit einer *CanalBrush* in 16 Fällen eine gleichmäßige Füllung erreicht. Bei der Applikation des Sealers mit einem K-Räumer wurden 25% der Mulden homogen gefüllt. Die *EZ-Fill*-Gruppe und die Lentulo-Gruppe erzielten mit 21,6% und 20% annähernd gleiche Ergebnisse.

Insgesamt kann festgehalten werden, dass 37,5% der Rillen und 23,3% der Mulden homogen gefüllt wurden. Zwischen den Gruppen konnte jedoch kein wesentlicher Unterschied festgestellt werden.

Demnach wird diese Arbeitshypothese **abgelehnt**.

Die Ergebnisse dieser Versuchsreihe zeigen, dass es keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich der Homogenität oder Vollständigkeit bei der Füllung artifizieller Lateralkanäle gibt.

Offenbar spielt aber die Lokalisation der Mulden und Rillen eine entscheidende Rolle. Die weiter apikal gelegenen Abschnitte konnten schlechter mit Sealer gefüllt werden als die weiter koronal gelegenen.

Kritik kann daran geübt werden, dass das Untersuchungsgut bis zu einer Größe von ISO 80 aufbereitet wurde. Hierdurch können ungewollte Perforationen oder eine übermäßige Schwächung der Wurzel verursacht werden. Zusätzlich nimmt die Steifigkeit der Instrumente mit dem Durchmesser zu, was

zu Kanalwandbegradigungen führen kann. Im Rahmen dieser Studie kam dies jedoch nicht vor.

Bei kleineren Aufbereitungsgrößen ist anzunehmen, dass die Sealerapplikation in das apikale Drittel zusätzlich erschwert wird.

Des Weiteren konnte in dieser Versuchsreihe nicht gewährleistet werden, dass die komplette Menge von 0,05 ml Sealer in den Wurzelkanal eingebracht werden konnte. Der Sealer wurde mit dem Instrument ein- bis zweimal aufgenommen und dann in den Wurzelkanal appliziert. Der verbleibende Rest wurde dabei zur Benetzung des Guttaperchastiftes eingesetzt .

In dieser Arbeit wurden ausschließlich gerade, großlumige Wurzelkanäle herangezogen. Um weitere Variationen der Kanal Anatomie und Geometrie zu berücksichtigen, müssten zudem Studien mit gekrümmten Kanälen durchgeführt werden. Weiterhin sollten auch nicht bearbeitete Areale wie z.B. Isthmen gefüllt werden, welche zusätzlich eine Nische für Mikroorganismen bieten und möglicherweise zu einem Misserfolg der endodontischen Therapie führen.

7.3 Klinischer Ausblick

Als Schlussfolgerung dieser Versuchsreihe ist festzuhalten, dass im koronalen Drittel die Penetration von Seitenkanälen, unabhängig von der Applikationsmethode, bessere Werte lieferte als die im apikalen Drittel.

Zu einem ähnlichen Ergebnis kam auch die Gruppe um Goldberg (2002). Dies ist auch ein wichtiger klinischer Aspekt, da sich der Großteil an Seitenkanälen im apikalen Bereich befindet und das Füllen dieser Regionen maßgeblich zum Erfolg einer endodontischen Behandlung beiträgt. Vertucci et al. (1984) fanden zudem heraus, dass 90-93% der Seitenkanäle im letzten Drittel zu finden sind [69].

Problematisch ist zudem, dass Seitenkanäle je nach Durchmesser eine Kapillare darstellen können, die als luftgefüllter Raum ein Eindringen von Wurzelkanalsealer verhindern können. Die Folge ist ein zurückbleibender Hohlraum, welcher ein Refugium für Bakterien und Restgewebe bietet und somit eine Ursache für Zersetzungsprozesse darstellen kann.

Insofern soll eine bestmögliche Reinigung sowie eine vollständige Obturation dieser Ausbuchtungen angestrebt werden. Im Sinne einer möglichst hohen Erfolgsrate bei der endodontischen Behandlung wäre es von großem Interesse, noch weitere Applikationsmethoden von verschiedenen Sealern als auch Techniken zu untersuchen, etwa Schall- oder Ultraschallaktivierung. Des Weiteren sind hier komplexe Wurzelkanalgeometrien von besonderer Bedeutung, wobei sich diese in ihrer Vielfalt sehr unterscheiden und daher eine Standardisierung der Voraussetzungen kaum zu realisieren ist.

8 Literaturverzeichnis

1. Al-Dewani N, Hayes SJ, Dummer PM. Comparison of laterally condensed and low-temperature thermoplasticized gutta-percha root fillings. *J Endod* 2000;26:733-738.
2. Antonopoulos KG, Attin T, Hellwig E. Evaluation of the apical seal of root canal fillings with different methods. *J Endod* 1998;24:655-658.
3. Aptekar A, Ginnan K. Comparative analysis of microleakage and seal for 2 obturation materials: Resilon/Epiphany and gutta-percha. *J Can Dent Assoc* 2006;72:245.
4. Barbakow F, Lutz F. The 'Lightspeed' preparation technique evaluated by Swiss clinicians after attending continuing education courses. *Int Endod J* 1997;30:46-50.
5. Barbizam JV, Souza M, Cecchin D, Dabbel J. Effectiveness of a silicon-based root canal sealer for filling of simulated lateral canals. *Braz Dent J* 2007;18:20-23.
6. Barkhordar RA, Goodis HE, Watanabe L, Koumdjian J. Evaluation of temperature rise on the outer surface of teeth during root canal obturation techniques. *Quintessence Int* 1990;21:585-588.
7. Baumgartner G, Zehnder M, Paque F. Enterococcus faecalis type strain leakage through root canals filled with Gutta-Percha/AH plus or Resilon/Epiphany. *J Endod* 2007;33:45-47.
8. Baumgartner JC, Brown CM, Mader CL, Peters DD, Shulman JD. A scanning electron microscopic evaluation of root canal debridement using saline, sodium hypochlorite, and citric acid. *J Endod* 1984;10:525-531.

9. Beatty RG, Vertucci FJ, Zakariasen KL. Apical sealing efficacy of endodontic obturation techniques. *Int Endod J* 1986;19:237-241.
10. Chandra SS, Shankar P, Indira R. Depth of penetration of four resin sealers into radicular dentinal tubules: a confocal microscopic study. *J Endod* 2012;38:1412-1416.
11. Chohayeb AA. Comparison of conventional root canal obturation techniques with Thermafil obturators. *J Endod* 1992;18:10-12.
12. Cohen BI, Pagnillo MK, Musikant BL, Deutsch AS. The evaluation of apical leakage for three endodontic fill systems. *Gen Dent* 1998;46:618-623.
13. De Almeida WA, Leonardo MR, Tanomaru Filho M, Silva LA. Evaluation of apical sealing of three endodontic sealers. *Int Endod J* 2000;33:25-27.
14. De Deus QD. Frequency, location, and direction of the lateral, secondary, and accessory canals. *J Endod* 1975;1:361-366.
15. De-Deus G, Coutinho-Filho T, Reis C, Murad C, Paciornik S. Polymicrobial leakage of four root canal sealers at two different thicknesses. *J Endod* 2006;32:998-1001.
16. DGZMK Du. Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 2000;55:9.
17. Drake DR, Wiemann AH, Rivera EM, Walton RE. Bacterial retention in canal walls in vitro: effect of smear layer. *J Endod* 1994;20:78-82.
18. Farzaneh M, Abitbol S, Lawrence HP, Friedman S. Treatment outcome in endodontics-the Toronto Study. Phase II: initial treatment. *J Endod* 2004;30:302-309.

19. Gencoglu N. Comparison of 6 different gutta-percha techniques (part II): Thermafil, JS Quick-Fill, Soft Core, Microseal, System B, and lateral condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003;96:91-95.
20. Gettleman BH, Messer HH, ElDeeb ME. Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. *J Endod* 1991;17:15-20.
21. Gilhooly RM, Hayes SJ, Bryant ST, Dummer PM. Comparison of cold lateral condensation and a warm multiphase gutta-percha technique for obturating curved root canals. *Int Endod J* 2000;33:415-420.
22. Goldberg F, Artaza LP, De Silvio A. Effectiveness of different obturation techniques in the filling of simulated lateral canals. *J Endod* 2001;27:362-364.
23. Green D. A stereomicroscopic study of the root apices of 400 maxillary and mandibular anterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1956;9:1224-1232.
24. Grossmann LI. *Endodontic practice*. Philadelphia: Lea & Febiger 1950;3:
25. Gurgel-Filho ED, Andrade Feitosa JP, Teixeira FB, Monteiro de Paula RC, Araujo Silva JB, Souza-Filho FJ. Chemical and X-ray analyses of five brands of dental gutta-percha cone. *Int Endod J* 2003;36:302-307.
26. Haapasalo M, Ørstavik D. In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. *J Dent Res* 1987;66:1375-1379.
27. Hall MC, Clement DJ, Dove SB, Walker WA, 3rd. A comparison of sealer placement techniques in curved canals. *J Endod* 1996;22:638-642.

28. Harrington GW. The perio-endo question: differential diagnosis. *Dent Clin North Am* 1979;23:673-690.
29. Heidemann D. [Root canal filling--manual and mechanical methods]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1989;44:414-416.
30. Hülsmann M, Bluhm V. Efficacy, cleaning ability and safety of different rotary NiTi instruments in root canal retreatment. *Int Endod J* 2004;37:468-476.
31. Jarrett IS, Marx D, Covey D, Karmazin M, Lavin M, Gound T. Percentage of canals filled in apical cross sections - an in vitro study of seven obturation techniques. *Int Endod J* 2004;37:392-398.
32. Jeffrey IW, Saunders WP, Thomas GE. An investigation into the movement of sealer during placement of gutta-percha points. *Int Endod J* 1986;19:21-28.
33. Kardon BP, Kuttler S, Hardigan P, Dorn SO. An in vitro evaluation of the sealing ability of a new root-canal-obturation system. *J Endod* 2003;29:658-661.
34. Kontakiotis EG, Wu MK, Wesselink PR. Effect of sealer thickness on long-term sealing ability: a 2-year follow-up study. *Int Endod J* 1997;30:307-312.
35. LaCombe JS, Campbell AD, Hicks ML, Pelleu GB, Jr. A comparison of the apical seal produced by two thermoplasticized injectable gutta-percha techniques. *J Endod* 1988;14:445-450.
36. Lipski M, Wozniak K. In vitro infrared thermographic assessment of root surface temperature rises during thermafil retreatment using system B. *J Endod* 2003;29:413-415.

37. Marlin J, Schilder H. Physical properties of gutta-percha when subjected to heat and vertical condensation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1973;36:872-879.
38. Marquis VL, Dao T, Farzaneh M, Abitbol S, Friedman S. Treatment outcome in endodontics: the Toronto Study. Phase III: initial treatment. *J Endod* 2006;32:299-306.
39. McComb D, Smith DC. Comparison of physical properties of polycarboxylate-based and conventional root canal sealers. *J Endod* 1976;2:228-235.
40. Meyer W. [Anatomy of root canals, demonstrated on microscopic reconstruction models]. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970;25:1064-1077.
41. Morfis AS. Vertical root fractures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1990;69:631-635.
42. Ørstavik D, Kerekes K, Eriksen HM. Clinical performance of three endodontic sealers. *Endod Dent Traumatol* 1987;3:178-186.
43. Ørstavik D, Nordahl I, Tibballs JE. Dimensional change following setting of root canal sealer materials. *Dent Mater* 2001;17:512-519.
44. Pécora JD, Ribeiro RG, Guerisoli DM, Barbizam JV, Marchesan MA. Influence of the spatulation of two zinc oxide-eugenol-based sealers on the obturation of lateral canals. *Pesqui Odontol Bras* 2002;16:127-130.
45. Perdigao J, Lopes MM, Gomes G. Interfacial adaptation of adhesive materials to root canal dentin. *J Endod* 2007;33:259-263.
46. Peters LB, Wesselink PR, Moorer WR. The fate and the role of bacteria left in root dentinal tubules. *Int Endod J* 1995;28:95-99.

47. Petschelt A. [Smear layer and dentine moisture after the preparation of the root canal]. Dtsch Zahnärztl Z 1988;43:1139-1147.
48. Petschelt A. [Drying of root canals]. Dtsch Zahnärztl Z 1990;45:222-226.
49. Petschelt A, Oberschachtsiek H. [Fit of various root canal filling materials using the central cone technic (SEM study)]. Dtsch Zahnärztl Z 1985;40:308-311.
50. Petschelt A, Stumpf B, Raab W. [Adhesion of root canal sealers with and without smear layer]. Dtsch Zahnärztl Z 1987;42:743-746.
51. Piskin B, Aydin B, Sarikanat M. The effect of spreader size on fracture resistance of maxillary incisor roots. Int Endod J 2008;41:54-59.
52. Pitts DL, Matheny HE, Nicholls JI. An in vitro study of spreader loads required to cause vertical root fracture during lateral condensation. J Endod 1983;9:544-550.
53. Plotino G, Grande NM, Melo MC, Bahia MG, Somma F. Mechanical properties and dimensional characterisation of Roeko Canal-Brush™. Int Endod J 2009;42:1127–1163.
54. Rangel S, Cremonese R, Bryant S, Dummer P. Shaping ability of RaCe rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. J Endod 2005;31:460-463.
55. Sachs W. Bericht über die Abteilung für Zahnfüllung des zahnärztlichen Instituts der Königl. Univerität Breslau. Dtsch Monatsschrift Zahnheilk 1893;11:271-281
56. Schäfer E. Wurzelkanalfüllmaterialien. Dtsch Zahnärztl Z 2000;55:15-25.

57. Schäfer E, Vlassis M. Comparative investigation of two rotary nickel-titanium instruments: ProTaper versus RaCe. Part 2. Cleaning effectiveness and shaping ability in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J* 2004;37:239-248.
58. Schröder A. Mitteilungen über die Abschlussdichtigkeit von Wurzelfüllmaterialien und ers-ter Hinweis auf ein neuartiges Wurzelfüllmittel. *Schweiz Monatsschr Zahnheilk* 1954;64:921.
59. Shipper G, Teixeira FB, Arnold RR, Trope M. Periapical inflammation after coronal microbial inoculation of dog roots filled with gutta-percha or resilon. *J Endod* 2005;31:91-96.
60. Shipper G, Trope M. In vitro microbial leakage of endodontically treated teeth using new and standard obturation techniques. *J Endod* 2004;30:154-158.
61. Slaus G, Bottenberg P. A survey of endodontic practice amongst Flemish dentists. *Int Endod J* 2002;35:759-767.
62. Slaus G, Vandewijngaert S, Bottenberg P. Qualitätskontrolle von Wurzelkanalfüllungen. Eine in vitro-Studie. *Dtsch Zahnärztl Z* 2001;56:177.
63. Sonntag D, Guntermann A, Kim SK, Stachniss V. Root canal shaping with manual stainless steel files and rotary Ni-Ti files performed by students. *Int Endod J* 2003;36:246-255.
64. Spångberg LS, Barbosa SV, Lavigne GD. AH 26 releases formaldehyde. *J Endod* 1993;19:596-598.
65. Tanzilli JP, Nevins AJ, Borden BG. The reaction of rat connective tissue to polyethylene tube implants filled with Hydron or gutta-percha. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1983;55:507-513.

66. Tepel J, Hoppe W, Darwisch M. Der Einfluß von Wurzelkanalfüllpasten auf das periapikale Gewebe bei tier-experimenteller apikaler Parodontitis. *Endodontie* 1994;2:131.
67. Torabinejad M, Ung B, Kettering JD. In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *J Endod* 1990;16:566-569.
68. Vassiliadis LP, Sklavounos SA, Stavrianos CK. Depth of penetration and appearance of Grossman sealer in the dentinal tubules: an in vivo study. *J Endod* 1994;20:373-376.
69. Vertucci FJ. Root canal anatomy of the human permanent teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1984;58:589-599.
70. Weise M, Roggendorf MJ, Ebert J, Petschelt A, Frankenberger R. Four methods for cleaning simulated lateral extensions of curved root canals: a SEM evaluation. *Int Endod J* 2007;40:991-992.
71. Wennberg A, Ørstavik D. Evaluation of alternatives to chloroform in endodontic practice. *Endod Dent Traumatol* 1989;5:234-237.
72. West LA, LaBounty GL, Keller DL. Obturation quality utilizing ultrasonic cleaning and sealer placement followed by lateral condensation with gutta-percha. *J Endod* 1989;15:507-511.
73. Wilcox LR, Wiemann AH. Effect of a final alcohol rinse on sealer coverage of obturated root canals. *J Endod* 1995;21:256-258.
74. Wrbas K-T, Kielbassa AM, Hellwig E. Histologische Untersuchung des Wurzelspitzenbereichs wurzelkanalbehandeter Zähne mit Parodontitis apicalis. *Dtsch Zahnärztl Z* 1999;54:240-244.

75. Wu MK, Fan B, Wesselink PR. Diminished leakage along root canals filled with gutta-percha without sealer over time: a laboratory study. *Int Endod J* 2000;33:121-125.
76. Wu MK, Kast'akova A, Wesselink PR. Quality of cold and warm gutta-percha fillings in oval canals in mandibular premolars. *Int Endod J* 2001;34:485-491.
77. Wu MK, Ozok AR, Wesselink PR. Sealer distribution in root canals obturated by three techniques. *Int Endod J* 2000;33:340-345.
78. Wu MK, R'Oris A, Barkis D, Wesselink PR. Prevalence and extent of long oval canals in the apical third. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2000;89:739-743.
79. Wu MK, van der Sluis LW, Ardila CN, Wesselink PR. Fluid movement along the coronal two-thirds of root fillings placed by three different gutta-percha techniques. *Int Endod J* 2003;36:533-540.
80. Yilmaz Z, Deniz D, Ozcelik B, Sahin C, Cimilli H, Cehreli ZC, Kartal N. Sealing efficiency of BeeFill 2in1 and System B/Obtura II versus single-cone and cold lateral compaction techniques. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2009;108:e51-55.
81. Zmener O, Dominguez FV. Silver accumulations in periapical granulomas: report of five cases using the scanning electron microscope, the electron microprobe, and other complementary methods. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1988;65:94-100.

9. Anhang

9.1 Geräte und Materialien

Diamantrennscheibe	Coltène/Whaledent GmbH, Langenau, Deutschland
<i>Endo-Stepper VDW Silver</i>	VDW GmbH München, Deutschland
Epoxidharz - <i>Biresin G27</i>	Sika GmbH, Utrecht, Niederlande
Ethanol 70 %	Apotheke des Klinikums Erlangen
<i>EZ-Fill bi-directional spiral</i>	EDS, South Hackensack, New Jersey, USA
Fissurenbohrer	Horico, Berlin, Deutschland
<i>Flex Master VDW</i>	VDW GmbH, München, Deutschland
<i>Grandio Flow</i>	Voco GmbH, Cuxhaven, Deutschland
Guttaperchaspitzen Roeko	Coltène/Whaledent Langenau, Deutschland
Heidemannspatel	Hu-Friedy Leimen, Deutschland
K-Räumer ISO 70	VDW Dentsply, München, Deutschland
Klebewachs <i>Supradent</i>	Oppermann-Schwedler, Bonn, Deutschland
Lentulo	VDW Dentsply, München, Deutschland
Lichtmikroskop <i>Stemi SV 11</i>	Zeiss AG, Oberkochen, Deutschland
<i>Mity Roto-Feile</i>	Losser & Co, Leverkusen, Deutschland
Natriumhypochlorit 5 %	Werkstoffwissenschaftliches Labor der Poliklinik für Zahnerhaltung und

	Parodontologie
Operationsmikroskop	Zeiss OPMI S6, Zeiss, Oberkochen, Deutschland
Papierspitzen	Coltène/Whaledent AG, Langenau, Deutschland
Pinself	Faber-Castell AG, Stein, Deutschland
Polymerisationslampe <i>Polylux II</i>	KaVo GmbH, Biberach, Deutschland
<i>ROEKO CanalBrush</i>	Coltène/Whaledent AG, Altstätten, Schweiz
Scaler	Hu-Friedy, Leimen, Deutschland
Silikonstopper	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Winkelstück grün	KaVo GmbH, Biberach, Deutschland
Winkelstück rot	KaVo GmbH, Biberach, Deutschland
Zitronensäure 40 %	Werkstoffwissenschaftliches Labor der Poliklinik für Zahnerhaltung und Parodontologie

9.2 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1:	Fissurenbohrer mit Silikonstopper auf 2 mm Höhe	19
Abb. 2:	Wurzel in Polyurethanharz eingebettet	20
Abb. 3:	Polyurethanblock geöffnet mit eingebetteten Wurzelhälften	21
Abb. 4:	<i>EZ-Fill bi-directional-spirals</i>	22
Abb. 5:	K-Räumer der ISO Größe 70	23
Abb. 6:	Lentulo der Größe 35 eingesetzt in ein grünes Winkelstück	24
Abb. 7:	<i>CanalBrush</i> der Größe L eingesetzt in grünes Winkelstück	25
Abb. 8:	Detailansicht einer <i>CanalBrush</i> der Größe L	25
Abb. 9:	<i>AH Plus</i> -Sealer in der Paste-Paste-Darreichungsform	26
Abb. 10:	Schematischer Versuchsaufbau	27
Abb. 11:	Beispielröntgenbild: keine Füllung	28
Abb. 12:	Beispielröntgenbild: homogene Füllung < 50 %	29
Abb. 13:	Beispielröntgenbild: inhomogene Füllung > 50 %	29
Abb. 14:	Beispielröntgenbild: homogene Füllung > 50 %	30
Abb. 15:	Mittlere Penetrationstiefe der Mulden bei verschiedenen Applikationstechniken	36

Abb. 16:	Mittlere Penetrationsstiefe der Rillen bei verschiedenen Applikationstechniken	37
Abb. 17:	Mittlere Penetrationstiefe der gesamten Mulden und Rillen	38
Abb. 18:	Homogenität des Sealers der Mulden bei verschiedenen Applikationstechniken	39
Abb. 19:	Homogenität des Sealers der Rillen bei verschiedenen Applikationstechniken	40
Abb. 20:	Vollständigkeit des Sealers der Mulden bei verschiedenen Applikationstechniken	41
Abb. 21:	Vollständigkeit des Sealers der Rillen bzgl. verschiedener Applikationstechniken	42
Tab.1:	Techniken und Geräte für die thermoplastische Obturation	16
Tab.2:	Mittelwerte und Standardabweichungen der Sealerpenetrationstiefen von Rillen und Mulden (Wurzelkanalabschnitt sowie gesamt) und Signifikanzwerte der Vergleich der 4 Gruppen (nicht-parametrische Analyse mittels Kruskal-Wallis-Test)	33
Tab.3:	Paarvergleichsanalyse der Sealerpenetrationstiefen der vier experimentellen Gruppen (nicht-parametrischer Mann-Whitney-Test) in den vier Kanalabschnitten für Mulden und Rillen in den Kanalabschnitten sowie Mulden und Rillen insgesamt.	34

Tab.4: Statistische Analyseergebnisse der Sealerpenetrationstiefen (abhängige Stichproben) in den vier experimentellen Gruppen zwischen den einzelnen Kanalabschnitten (Friedman-Test für alle Kanalabschnitte sowie Wilcoxon-Test für den paarweisen Vergleich der verschiedenen Kanalabschnitte untereinander). **35**

Danksagung

Bedanken möchte ich mich bei Herrn Professor Dr. Roland Frankenberger, Direktor der Abteilung für Zahnerhaltungskunde, für die Möglichkeit, an der Zahnklinik der Philipps-Universität Marburg zu promovieren.

Mein ganz besonderer Dank gilt dem geschäftsführenden Oberarzt Priv.-Doz. Dr. M. J. Roggendorf für die Überlassung und Anregung zur Bearbeitung des Themas, für die sehr gute Unterstützung im experimentellen Teil der Arbeit und für die Durchsicht des Manuskripts.

Ebenso dankbar bin ich Herrn OA Priv.-Doz. Dr. J. Ebert für die Hilfe und Durchführung bei der statistischen Auswertung sowie für die Korrektur meiner Arbeit.

Fernab von dem wissenschaftlichen Bereich möchte ich meiner Familie und meiner Freundin danken, die immer ein offenes Ohr für mich hatten und mir in jeder erdenklichen Art und Weise stets zur Seite gestanden haben.