

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

Geschäftsführende Direktorin: Prof. Dr. Korbmacher-Steiner

Abteilung der Zahnheilkunde

(Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger)

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

Titel der Dissertation:

**Analyse der Effizienz verschiedener Aktivierungssysteme zur
Entfernung von *AH Plus* Sealer aus simulierten Lateralkanälen**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Torben Traub

aus Ludwigsburg

Marburg 2017

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:

.....

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs.

Dekan: Prof. Dr. Harald Schäfer

Referent: Priv.-Doz. Dr. Matthias J. Roggendorf

1. Korreferent:

1 Einleitung.....	1
1.1 Problemstellung	1
1.2 Ziel der Arbeit.....	2
2 Grundlagen.....	3
2.1 Die Wurzelkanalbehandlung	3
2.1.1 Indikation und Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung	3
2.1.2 Ursachen endodontischer Misserfolge.....	5
2.2 Die orthograde Revision.....	7
2.2.1 Indikation für die orthograde endodontische Revision	7
2.2.2 Kontraindikation für endodontische Revisionsbehandlung.....	8
2.2.3 Lösungsmittel.....	8
2.3 Verschiedene Aktivierungsmethoden.....	9
2.3.1 Indikation von Aktivierungsmethoden	9
2.3.2 <i>EndoActivator</i>	11
2.3.3 Schallspitze <i>SF 65</i>	12
2.3.4 Ultraschallaktivierung <i>IRRI S</i>	13
2.3.5 <i>Sonicare</i> mit <i>CanalBrush</i>	15
3 Material und Methode.....	17
3.1 Schematische Darstellung des Versuchsablaufs	17
3.2 Auswahl und Vorbereitung der Probenzähne.....	18
3.3 Die Aufbereitung der Wurzelkanäle.....	19
3.4 Präparieren der simulierten Lateralkanäle	19

3.5 Wurzelkanalfüllung	20
3.6 Die Revision	21
3.7 Aktivierung des Lösungsmittel	22
3.8 Bearbeitung der Röntgenbilder	25
3.9 Ausmessen der Röntgenbilder	28
4 Ergebnisse	30
4.1 Vergleich der Revisionsdauer der einzelnen Gruppen	30
4.2 Vergleich der Sealerdifferenz nach der Revision	31
4.2.1 Apikales Wurzelkanaldrittel	31
4.2.2 Mittleres Wurzelkanaldrittel	33
4.2.3 Koronales Wurzelkanaldrittel	34
4.3 Vergleich der Differenz der ungefüllten Lateralkanalanteile nach der Revision	35
4.3.1 Apikales Drittel	35
4.3.2 Mittleres Drittel	37
4.3.3 Koronales Drittel	38
4.4 Vergleich der Sealerdifferenz nach der Aktivierung	38
4.4.1 Apikales Drittel	38
4.4.2 Mittleres Drittel	40
4.4.3 Koronales Drittel	41
4.5 Vergleich der ungefüllten Lateralkanalanteile nach der Aktivierung	42
4.5.1 Apikales Drittel	42

4.5.2 Mittleres Drittel	43
4.5.3 Koronales Drittel	44
5 Diskussion	45
5.1 Diskussion der Methode.....	45
5.2 Diskussion der Ergebnisse.....	47
5.2.1 Prüfung der Arbeitshypothesen	47
5.2.2 Reinigungswirkung der <i>CanalBrush</i>	49
5.2.3 Reinigungswirkung der Ultraschallaktivierung mit <i>IRRI S</i>	50
5.2.4 Reinigungswirkung der Schallaktivierung mit <i>SF 65</i>	51
5.2.5 Reinigungswirkung des <i>EndoActivator</i>	52
5.3 Schlussfolgerung.....	53
6 Zusammenfassung	54
6.1 Hintergrund und Ziel.....	54
6.2 Material und Methode	54
6.3 Ergebnisse	56
6.4 Schlussfolgerung.....	56
7 Summary	57
7.1 Background and Aim.....	57
7.2 Methods	57
7.3 Results	59
7.4 Conclusion	59
8 Literaturverzeichnis	60

9 Anhang.....	70
9.1 Materialliste.....	70
9.2 Abkürzungsverzeichnis	72
9.3 Abbildungsverzeichnis	73
9.4 Tabellenverzeichnis	75
9.5 Statistik	76
9.6 Verzeichnis akademischer Lehrer.....	81
9.7 Lebenslauf	82
9.8 Danksagung.....	83
9.9 Ehrenwörtliche Erklärung	84

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Im Bereich der Zahnerhaltung gehört die Wurzelkanalbehandlung zu einer sehr oft durchgeführten und für den Erhalt des Zahnes bewährten Behandlungsmethode. Indikation für eine solche Behandlung stellt zumeist eine irreversible Pulpitis und eine Pulpanekrose mit oder ohne apikaler Parodontitis dar. Die Gründe für die Entstehung von Pulpitiden sind jedoch vielfältig und können verschiedene Ursachen haben. Iatrogene Ursachen sind zum Beispiel die Kariesexkavation oder Kronenpräparationen mit zu geringer Wasserkühlung beziehungsweise andere physikalische oder chemische Reize während der Zahnbehandlung. Als nichtiatrogene Ursachen kommen mechanische Reize, wie Traumata mit daraus resultierenden Kronenfrakturen, bis hin zu Folgen absteigender marginaler Parodontitiden in Frage [2]. Das oberste Ziel ist es, den entsprechenden Zahn vital zu erhalten. Gelingt das nicht, ist die Methode der Wahl, um den Zahn zu erhalten, die Wurzelkanalbehandlung [35]. Das Ziel einer solchen Wurzelkanalbehandlung ist es, wenn eine Entzündung der Pulpa vorrausging, den Wurzelkanal zu reinigen, zu desinfizieren, aufzubereiten und zu versiegeln, also die Mikroorganismen aus dem Kanal zu eliminieren, um eine Reinfektion zu verhindern [51]. Bei endodontischen Misserfolgen infolge von Unzulänglichkeiten bei der Instrumentierung, Desinfektion, Obturation und Restauration eines Zahnes ist die endodontische Revisionsbehandlung die Therapie der ersten Wahl. Ziel dabei ist es, die vorhandene Wurzelkanalfüllung möglichst vollständig zu entfernen. Dabei ist eine Erhöhung der Aufbereitungsgröße durch Instrumentierung um mehrere Größen über die ursprüngliche Größe hinaus notwendig. Verbliebenes Wurzelkanalfüllmaterial aus Kanalausbuchtungen, Dentintubuli sowie Seitenkanälen ist aber oftmals alleine durch die Aufbereitung und Spülung auf diese Weise nicht zu entfernen. Hier könnten aktivierte Instrumente wie zum Beispiel die Schall oder Ultraschallaktivierung eine zusätzliche Behandlungsoption darstellen.

1.2 Ziel der Arbeit

In früheren Studien konnte schon gezeigt werden, dass sich das Wurzelkanalsystem um ein verzweigtes System von Pulpakavum, Haupt-, Seiten- sowie lateralen Kanälen mit Verbindung zum Parodont oder akzessorischen Kanälen in Form multipler Ramifikationen vor allem des unteren Wurzeldrittels handelt [25].

Zudem eruierten *Viera et al.* ja 2012, wie bereits erwähnt, dass Misserfolge bei der Revision auch oftmals im Zusammenhang mit persistierenden Mikroorganismen in Lateralkanälen sowie in Dentintubuli stehen [90]. So wiesen *Xu et al.* 2012 in einer rasterelektronenmikroskopischen Studie nach, dass das Füllmaterial je nach Obturationsmethode mehr als 1 mm tief in die Dentintubuli eindringen kann [96]. Darum ist es äußerst wichtig, sich mit der Reinigung der Kanäle zu beschäftigen, neue Techniken und Spülprotokolle zu entwickeln, die eine effizientere und bessere Reinigung von Wurzelkanälen ermöglichen.

In bisherigen Studien wurde vor allem die Entfernung von Dentindebris oder Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanal untersucht [88]. In anderen Studien wurden Kavitäten artifiziell in den Wurzelkanal präpariert und mit Dentindebris gefüllt, um anschließend wiederum die Effektivität des Entfernens des Dentindebris aus den Kavitäten bei verschiedenen Revisions- und Spültechniken zu untersuchen (Grubenmodell) [55,39]. Bislang wurde jedoch in keiner Studie analysiert, in wieweit verschiedene Aktivierungsmethoden in der Lage sind, Wurzelkanalfüllmaterialreste, welche nach der Wurzelfüllung oder nachfolgend im Rahmen der Revision in simulierten Lateralkanäle hineingepresst wurden, entfernen können. Ziel dieser Studie war es, die Effektivität der verschiedenen Aktivierungsmethoden in Bezug auf das Herauslösen des in die simulierten Lateralkanäle penetrierten Wurzelfüllmaterials nach vorangegangener Revision zu vergleichen.

2 Grundlagen

2.1 Die Wurzelkanalbehandlung

2.1.1 Indikation und Ablauf einer Wurzelkanalbehandlung

Die Notwendigkeit zur Durchführung einer Wurzelkanalbehandlung kann verschiedene Ursachen haben. Dies kann eine irreversibel geschädigte oder nekrotische Pulpa mit oder ohne klinische und/oder radiologische Hinweise auf eine Beteiligung periradikulärer Gewebe sein. Des Weiteren kann ein zweifelhafter Pulpazustand vor restaurativen Maßnahmen, drohende Pulpaeröffnung während der Präparation eines Zahnes (in Fehlstellung), eine geplante Wurzelresektion oder Hemisektion, sowie die intentionelle Devitalisation um beispielsweise einen Wurzelstift zu verankern, Ursachen für eine Wurzelkanalbehandlung sein [28].

Das Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die Reinigung und Erweiterung des Kanalsystems, um die Keimanzahl im Wurzelkanal zu verringern und Raum für die Wurzelfüllung zu schaffen. In der Literatur findet man oft den Begriff „cleaning and shaping“ als entscheidenden Erfolgsfaktor der Wurzelkanalbehandlung [67]. Hierzu bedient man sich der mechanischen Erweiterung des Kanals. Da jedoch Bakterien bei alleiniger mechanischer Aufbereitung nicht vollständig aus den infizierten Dentinkanälchen entfernt werden können, muss das Wurzelkanalsystem während der Behandlung zusätzlich mit chemischen und medikamentösen Spüllösungen desinfiziert werden [9]. Die Reinigung mit verschiedenen endodontischen Spüllösungen dient der Ausschwemmung der Dentinspäne und zur Desinfektion und Reinigung des infizierten Zahnhartgewebes. Der Vorgang wird als „chemomechanische Präparation“ bezeichnet [30].

Zur Desinfektion haben sich Spülungen mit Natriumhypochlorit in 1% bis 3%iger Konzentration bewährt [8]. Zur Entfernung des Smear layers eignet sich eine 15%ige EDTA-Lösung, wobei die Entfernung oder das Belassen der Schmier-schicht ein kontroverses Thema bleibt [49,50,69]. Ergänzend wurde in Revisionsfällen eine Spülung mit Chlorhexidinguconat 1% bis 2% empfohlen [98]. Die antimikrobielle Wirkung der Spüllösungen lässt sich durch eine Ultraschallaktivierung signifikant verbessern [1,39,87]. Zur Aktivierung der Spüllösungen

sollte ein feines, nicht schneidendes Ultraschallinstrument verwendet werden. Die Einwirkzeit der Spüllösungen auf das Kanalsystem sollte ausreichend lang bemessen sein (mindestens 30 Minuten). Zur optimalen Wirkung müssen die Desinfektionslösungen möglichst bis in die Nähe des apikalen Foramens gebracht werden [30].

Um die erwünschte Keimfreiheit beziehungsweise Keimarmut zu erreichen, ist außerdem ein aseptisches oder antiseptisches Therapiekonzept notwendig. War die Pulpa entzündet, aber noch nicht infiziert, muss jeder Keimzutritt vermieden werden (Asepsis). Lag bereits eine infizierte Pulpanekrose vor, muss die Keimanzahl, soweit wie möglich, reduziert werden (Antisepsis). Asepsis ist durch die Einhaltung steriler Rahmenbedingungen während und zwischen den Behandlungssitzungen zu erreichen. So bedingt das Konzept unter anderem die Verwendung von Kofferdam und sterilen Arbeitsinstrumenten [29]. Es konnte in zahlreichen Studien nachgewiesen werden, dass die Prognose von Zähnen mit nicht infizierten Wurzelkanälen erheblich besser ausfällt als bei Vorliegen einer bakteriellen Kontamination des Endodonts und Vorliegen einer periradikulären Läsion [36,46]. Die Erfolgsraten sinken dabei um 10% bis 20% [36]. Die Ausdehnung des apikalen Geschehens scheint von großer Bedeutung für die Prognose zu sein [83]. Die Infektionskontrolle soll somit den Zahn als kaufunktionelle Einheit erhalten, periradikuläre Läsionen heilen oder deren Entstehung verhindern [65]. Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung hängt neben einer suffizienten Aufbereitung und Desinfektion des Wurzelkanalsystems aber auch von der Dichtigkeit der Wurzelfüllung und der koronalen Restauration ab [53]. Des Weiteren beeinflussen bestimmte Faktoren, wie zum Beispiel die Erfahrung des Behandlers oder die Ausgangssituation, über den Erfolg beziehungsweise über die Prognose der Behandlung [97].

Das vollständige Abfüllen des Wurzelkanalsystems sowie die Dichtigkeit der Wurzelfüllung sind also ein wichtiger Faktor für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung [77]. Um das zu erreichen, muss die Wurzelkanalfüllung alle Wurzelkanalwände, lateral sowie apikal versiegeln [77]. Die Guttapercha dient dabei als Kernmaterial und der Sealer hat die Aufgabe Inkongruenzen und Unregelmäßigkeiten zwischen Kernmaterial und Wurzelkanalwand auszufüllen [20,28].

Trotz aller Bemühungen, einen optimal abdichtenden Sealer zu entwickeln, gibt es bis dato kein verfügbares Material und keine Fülltechnik, die eine Leakage völlig verhindern kann [17]. Um die abdichtenden Eigenschaften eines Sealers zu verbessern, empfiehlt sich vor der Obturation des Wurzelkanals die Entfernung des sogenannten Smear layers [91]. Diese Schicht entsteht bei der Bearbeitung des Dentins während der Aufbereitung des Wurzelkanals, ist ca. 1 bis 5 µm dick und enthält neben zermahlenem Dentinabrieb und Resten von Pulpagewebe auch Bakterien und deren Toxine, falls die Pulpa bei Beginn der Wurzelbehandlung bereits infiziert war [42]. Von einigen Autoren wird empfohlen, den Smear layer zu belassen, da dieser die Dentinkanälchen blockieren könnte und damit ein Eindringen von Mikroorganismen mit folgender Infektion des Dentins zu verhindern vermag [50,69]. Zum größten Teil kommt man in der Literatur allerdings zu dem Schluss, dass eine Entfernung ratsam ist [48,49,52]. Ein Belassen des Smear layers könnte eine optimale Penetration von Spüllösungen zur Desinfektion, medikamentösen Einlagen und schließlich auch des Sealers in die Dentinkanälchen limitieren [70]. Dies würde dann zu reduzierter Haftung des Sealers am Wurzeldentin und damit zu einer reduzierten Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung führen [23]. Wurde im Rahmen der endodontischen Initialbehandlung diesen Anforderungen nicht adäquat Rechnung getragen, können persistente Beschwerden infolge einer Reinfektion des Periapex eine Revisionsbehandlung erforderlich machen [19,72].

2.1.2 Ursachen endodontischer Misserfolge

Es können allgemein mikrobiologische, anatomische oder technische Ursachen für endodontische Misserfolge unterschieden werden. Zu den wichtigsten Ursachen posttherapeutischer Erkrankungen gehören [19,63,72,84]:

- Persistenz von Mikroorganismen nach der Initialbehandlung
- Unbehandelte Wurzelkanäle bzw. Wurzelkanalabschnitte
- Undichte koronale Restauration bzw. koronales „Mikro-Leakage“ mit Neuzutritt von Mikroorganismen und/oder Substrat
- Fremdkörperreaktionen
- Extraradikuläre Infektionen.

Laut Ingle et al. 1976 ist dabei die häufigste Ursache endodontischer Misserfolge die unvollständige Aufbereitung und Füllung des Wurzelkanals gefolgt von Wurzelperforationen [32]. Basradjian et al. präsentierten eine systematische Literaturübersichtsarbeit über zehn zwischen 1976 und 1993 publizierten Primärstudien [5]. Bei dieser Untersuchung wird festgestellt, dass eine bestehende periapikale Läsion die Erfolgsrate zwischen 8% und 23% reduziert [5].

Nach Angaben von Sjögren et al. findet man die besten Überlebensraten mit einer Wahrscheinlichkeit von 94% bei Wurzelfüllungen, deren Ende sich 0 bis 2 mm innerhalb des radiologischen Apex befindet [73]. Bei zu kurz gefüllten Wurzelkanälen sinken die Erfolgsaussichten signifikant auf 76% [73]. Zu lange und überstopfte Füllungen weisen mit 68% die ungünstigste Prognose auf [73]. Damaschke et al. erklären den negativen prognostischen Effekt einer Wurzelüberfüllung damit, dass dadurch Mikroorganismen in die Gegend der periapikalen Region hineingepresst werden und in diesem Gewebe eine Entzündung verursachen oder ein Vorhandene aufrechterhalten [13]. Die schädigende Wirkung von Füllungsmaterialien kommt außerdem hinzu. Kojima et al. untersuchten über 26 zwischen 1956 und 1995 publizierte Studien um zu bestimmen, wie die Arbeitslänge einer Wurzelfüllung die Prognose einer Wurzelkanalbehandlung beeinflusst [36].

Sie stellen die Erfolgsraten wie folgt dar:

- 70,8% (+/- 1,44) bei überfüllten Wurzelkanälen
- 86,5% (+/- 0,88) bei exakt gefüllten Kanälen und
- 85,5% (+/- 0,98) bei zu kurz gefüllten Kanälen.

Radiologische inhomogene Wurzelfüllungen wirken sich ebenfalls sehr negativ auf die Verweildauer des behandelten Zahnes aus [36]. Dies gilt in besonderem Maße, wenn sich radiologische Aufhellungen im apikalen oder im mittleren Drittel der Wurzelspitze zeigen [36]. Im Rahmen der Revisionsbehandlung kommt daher der möglichst vollständigen Entfernung der vorhandenen Wurzelkanalfüllung und der nachfolgenden effektiven Desinfektion des Kanalsystems eine enorme Bedeutung zu [80]. Verbliebenes Obturationsmaterial kann als Refugium für Keime dienen und somit die nachfolgende Reobturation des Wurzelka-

nals in Frage stellen [80]. Abgesehen von Frakturen der Zahnhartsubstanz sowie einer unzureichenden technischen Ausführung der Wurzelkanalbehandlung ist in den meisten Fällen die persistierende oder rezidivierende endodontale Infektion für den endodontischen Misserfolg verantwortlich zu machen [45,74].

2.2 Die orthograde Revision

2.2.1 Indikation für die orthograde endodontische Revision

Eine endodontische Revisionsbehandlung ist laut Stellungnahme der DGZMK 2004 in folgenden Fällen indiziert [19,63,72,84]:

- Wurzelkanalbehandelte Zähne mit röntgenologischen Symptomen einer persistierenden oder neu entstandenen, endodontisch bedingten Parodontitis apicalis
- Wurzelkanalbehandelte Zähne mit klinischen Symptomen einer endodontisch bedingten Parodontitis apicalis
- Wurzelkanalbehandelte Zähne mit röntgenologisch oder klinisch insuffizienter Wurzelkanalfüllung (z. B. mangelhafte Homogenität der Füllung, nicht behandelte Wurzelkanäle, nicht gefüllte Areale des endodontischen Systems, fragwürdiges und nicht mehr indiziertes Füllmaterial etc.) ohne klinische oder röntgenologische Anzeichen einer Parodontitis apicalis
- Wurzelkanalbehandelte Zähne mit progressiv verlaufenden, externen entzündlichen Resorptionen
- Wurzelkanalfüllungen mit Exposition zum Mundhöhlenmilieu

Falls Wurzelkanalfüllungen beispielsweise durch Trauma oder Sekundärkaries über längere Zeit dem oralen Milieu ausgesetzt waren, ist aufgrund der Rekontamination ebenfalls eine Revision angezeigt [38]. Auch insuffiziente postendodontische Restaurationen tragen dazu bei (Mikroleakage) [94]. Studien von Swanson et al.1987 sowie Torabinejad et al.1990 haben hierbei gezeigt, dass die Penetration von Mikroorganismen dann in diesem Fall auch bei suffizienten Wurzelkanalfüllungen innerhalb weniger Wochen stattfinden kann [77,81]. Im Rahmen der Revisionsbehandlung kommt daher der möglichst vollständigen Entfernung der vorhandenen Wurzelkanalfüllung und der effektiven Desinfekti-

on des Kanalsystems eine enorme Bedeutung zu. Um eine möglichst gründliche Reinigung des Kanals von Wurzelfüllmaterialien zu erreichen, wird eine intentionelle Erhöhung der Aufbereitungsgröße um zwei ISO-Größen über die Apikale Masterfeile (AMF) der Erstaufbereitung empfohlen [58]. Verbliebenes Obturationsmaterial kann als Refugium für Keime dienen und somit die nachfolgende Reobturation des Wurzelkanals in Frage stellen [80].

Ziel der Revision ist somit, Voraussetzungen für eine vollständige Heilung und den dauerhaften Erhalt eines Zahnes zu schaffen. Indem das Wurzelkanalsystem gereinigt und desinfiziert wird, können die klinischen Symptome abklingen und eine apikale oder periapikale Entzündungsreaktion unabhängig von der Dimension abheilen [3].

2.2.2 Kontraindikation für endodontische Revisionsbehandlung

Eine Revisionsbehandlung ist kontraindiziert bei zweifelhafter Erhaltungswürdigkeit des betroffenen Zahnes aus parodontalen oder restaurativen Gründen, sowie bei Beschwerden nicht endodontischer Ätiologie [38,94]. Des Weiteren ist eine endodontische Revision abzulehnen, wenn durch diese keine Verbesserung des Ausgangszustandes zu erwarten ist und die Beseitigung der möglichen Ursache als unrealistisch eingeschätzt werden muss [76].

2.2.3 Lösungsmittel

Lösungsmittel können bei Revisionen eine Rolle spielen, um das teilweise sehr harte und spröde Guttapercha aufzuweichen. Chloroform, welches die größte Effizienz unter den Lösungsmitteln aufweist, wird aber aufgrund seiner potentiellen Kanzerogenität nicht mehr empfohlen [66]. In einer Studie wurde die Effizienz von Chloroform, Eukalyptusöl und Orangenöl in Bezug auf die Entfernung von Wurzelfüllresten untersucht. Es fanden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den drei Gruppen, jedoch wiesen alle drei Gruppen weniger Wurzelfüllreste auf, als in der Kontrollgruppe ohne Lösungsmittel [64]. In einer anderen Studie fanden sich signifikant sauberere Wurzelkanaloberflächen nach

maschineller Revision ohne Lösungsmittel, als bei maschineller Revision mit Lösungsmittel [61]. Als Ursache dafür wird die Schmierschicht genannt, welche bei der Revision mit Lösungsmittel entsteht und sich an die Kanalwand anlegt. Durch die Anwendung maschineller Revisionssystemen kann diese durch die vorhandene Reibungswärme zusätzlich verstärkt werden [7]. Dennoch sind die Ergebnisse was Zeitersparnis und Revisionseffizienz angeht konträr. Es gibt zahlreiche andere Studien die eine bessere Revisionseffizienz mit dem Einsatz eines Lösungsmittels beschreiben [26,99,22]. Bisher liegen jedoch noch keine Studien vor, in welchen Maße Wurzelfüllmaterial bei der Revision in Lateralkanäle, bei dem Einsatz mit oder ohne Lösungsmittel, hineingepresst werden. Auch existieren keine Studien darüber, inwiefern die Aktivierung eines Lösungsmittels zur Reinigungseffizienz von Wurzelfüllmaterial in Lateralkanälen beiträgt.

2.3 Verschiedene Aktivierungsmethoden

2.3.1 Indikation von Aktivierungsmethoden

Kommt es aufgrund der oben genannten Gründe zu einem Misserfolg der endodontischen Initialbehandlung, ist die Revisionsbehandlung das Mittel der Wahl. Wichtig hierbei ist die vollständige Entfernung des Obturationsmaterials aus dem Wurzelkanal sowie aus den nicht zu instrumentierenden Bereichen und Seitenkanälchen. Verbliebene Reste an der Wurzelkanalwand oder in nicht instrumentierbaren Bereichen können später zu Undichtigkeiten der Wurzelkanalfüllung führen. Verbliebene Bakterien in Dentintubuli können entlang einer solchen „Leakage“ zum Wiederaufflammen einer Infektion führen.

Aufgrund dieser komplexen Wurzelkanalanatomie ist zusätzlich zur mechanischen Aufbereitung die Wurzelkanalspülung eine unverzichtbare Ergänzung. Natriumhypochlorit (NaOCl), Chlorhexidin (CHX) und Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) sind die derzeit am häufigsten verwendeten Substanzen. In der Regel werden zwei oder mehr Spüllösungen miteinander kombiniert. Dabei ist auf mögliche Wechselwirkungen und gegenseitige Neutralisierungen zu achten,

die den reinigenden Effekt des Wurzelkanalsystems erheblich reduzieren können [54].

NaOCl ist die Spüllösung der ersten Wahl, da sie als einzige Substanz sowohl nekrotisches, als auch vitales Gewebe auflöst und sehr gut antimikrobiell wirkt, bei verhältnismäßig geringer Toxizität [71]. Ihre praxisrelevante Konzentration liegt zwischen 0,5 bis 5 Prozent, wobei 3 Prozent empfohlen werden [14]. Die erforderliche Einwirkzeit ist abhängig von der gewählten Konzentration [14]. Um eine bessere Wirksamkeit zu erzielen, kann NaOCl kurz vor der Anwendung erwärmt werden [12]. In Kombination mit Ultraschall lässt sich der Biofilm unter Einsatz von NaOCl leichter und effektiver entfernen [89].

CHX wirkt nicht gewebeauflösend, ist aber biologisch verträglich und wie NaOCl gut antimikrobiell wirksam [40]. In einer Konzentration von 0,2 bis 2 Prozent kann CHX als Zusatzspülung eingesetzt werden [98]. Besonders effizient ist der Wirkstoff bei Revisionen, da hier Keime und Fungi auftreten, die gegen NaOCl resistent sein können [18].

EDTA eliminiert hauptsächlich die anorganische Schmierschicht (Smear layer), die bei der mechanischen Aufbereitung der Kanalwände entsteht [42]. Die Schmierschicht setzt sich vor allem aus Bakterien, Pulparesten und Dentin zusammen [42]. Besonders bei komplexer Wurzelmorphologie ist sie ein Schlüsselproblem. Die EDTA Konzentration liegt üblicherweise bei 15 Prozent [4].

Zu vermeiden ist eine Mischung von NaOCl und CHX, da hierbei die krebserregende Substanz Parachloranillin (PCA) gebildet wird und sich die Lösung braun verfärbt [6]. Zudem wird die Dichtigkeit der Wurzelkanalfüllung beeinträchtigt [6]. Die Entstehung von PCA kann durch eine Zwischenspülung mit reinem Alkohol verhindert werden [54]. In einigen mikrobiologischen Studien zeigte sich die schall-oder ultraschallgestützte Spülung gegenüber der konventionellen manuellen Spültechnik überlegen [11]. Die hohe Effektivität lässt sich durch die Strömungsphänomene und den hohen Flüssigkeitsumsatz erklären [11]. Zudem führt die Schall- beziehungsweise Ultraschallaktivierung zu einer Erwärmung der Spüllösung, was wiederum die Effektivität der Spüllösung erhöht [12]. Um eine Stufenbildung an der Wurzelkanalwand, unnötigen Dentinabtrag und eine Dämpfung der Ultraschallschwingungen zu vermeiden, wird eine passive

Schall-beziehungsweise Ultraschallspülung empfohlen [1]. Das heißt die Ultraschallfeile soll sich mit möglichst wenig Wandkontakt frei in der Spüllösung bewegen. Die empfohlene Anwendungszeit für die passive Ultraschallspülung liegt zwischen 10 Sekunden, 30 Sekunden und drei Minuten und variiert in Abhängigkeit von der Technik der Flüssigkeitszufuhr. Zusammenfassend kann die (passive) schall- beziehungsweise ultraschallgestützte Spülung die Reinigungswirkung und die Desinfektionswirkung verbessern und zu Reinigung nicht zu instrumentierender Kanalareale beitragen [30,89].

2.3.2 *EndoActivator*

Der *EndoActivator* ist ein batteriebetriebenes Handstück. Mit einem Schallmotor werden Spreader-ähnliche Polymerspitzen, sog. Activator Tips in Schwingung versetzt und endodontische Spüllösungen so hydrodynamisch im Schallbereich aktiviert. Die Polymerspitzen liegen in den drei farbmarkierten Größen „Small“ (.02/#15), „Medium“ (.04/#25) und „Large“ (.04/#35) in einer Länge von 22 mm vor. Der erste Wert bezeichnet hier den Spitzenquerschnitt 1 mm vor der Instrumentenspitze, der zweite Wert gibt die Konizität des Instrumentes, also 2, 4 oder 6 %, an. Bei 18, 19 und 20 mm sind Längenmarkierungen versehen. Der *EndoActivator* wird mit 2.000, 6.000 oder 10.000 Schwingungen pro Minute betrieben. Laut Hersteller soll der *EndoActivator* ohne Kontakt zur Kanalwand in 2 mm Abstand vom Kanalende im mit Spülflüssigkeit gefüllten Kanal angewendet werden. Dabei sollte er erst aktiviert werden, wenn die Spitze in geeigneter Position in den Kanal eingeführt wurde. Die Spitze sollte dort vertikal 2-3 mm pumpend bewegt werden. Der Hersteller empfiehlt eine wiederholte Anwendung von 30-60 Sekunden. Die Aktivierung mit Schall unterscheidet sich von der Ultraschallaktivierung insofern, dass Schall mit einer niedrigeren Frequenz von 1 bis 6 kHz arbeitet und kleinere Scherspannungen produziert. Wissenschaftliche Artikel zur Effizienz des *EndoActivators* im Rahmen der endodontischen Revisionsbehandlung liegen bislang noch nicht vor. Allerdings konnten Khatib sowie Kleye zeigen, dass Wurzelkanalfüllpasten von der Kanaloberfläche effektiv durch den Einsatz von Eukalyptusöl unter Aktivierung mittels *EndoActivator* entfernt werden konnten [34].

In einer Studie von Townsend und Maki (2009) stellte sich heraus, dass in Bezug auf die Eliminierung von Bakterien im Wurzelkanal keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen Ultraschall und dem *EndoActivator* zu beobachten waren [82]. Diverse Studien bezüglich der Effizienz des *EndoActivators* beziehen sich ausschließlich auf die Entfernung von Smear layer, Debris und Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanal sowie auf die Desinfektion durch die Aktivierung von Spüllösungen während der endodontischen Behandlung. Die Ergebnisse zeigten, dass sowohl gerade als auch gekrümmte Kanäle, welche mit Hilfe des *EndoActivators* behandelt wurden, vom apikalen bis hin zum koronalen Kanaldrittel signifikant sauberer waren als konventionell gespülte Kanäle. Darüber hinaus konnte auch eine verbesserte Reinigung nicht direkt zu instrumentierender Lateralkanäle nachgewiesen werden [24,10].

2.3.3 Schallspitze SF 65

Die Schallspitze SF 65 kann mittels einer endodontischen Spannvorrichtung in Schallhandstücken benutzt werden, wie zum Beispiel dem SF1LM von Komet. Die hohe Elastizität von Nickel-Titan-Legierungen ermöglicht es im Falle der SF 65, sich an alle Kanal anatomien anpassen zu können. Die Spitze kann im Autoklaven sterilisiert werden. Die Spitze ist mit einer dünnen Titan-Nitrid-Beschichtung versehen. Diese soll vor eventuellen Korrosionen durch Kanalspülmittel und wiederholten Sterilisationszyklen vorbeugen. Die Schallspitze SF 65 weist eine Länge von 25 mm auf und ist mit schwarzen Markierungen im Bereich von 16 bis 18 mm und von 20 bis 22 mm versehen, um die Arbeitslänge jederzeit kontrollieren zu können. Der Durchmesser der Spitze (abgerundet) beträgt 0,2 mm, während das Instrument eine Konizität von 2 Prozent aufweist. Diese reduzierten Maße sind dazu gedacht, es der Spitze zu ermöglichen, in alle Kanaltypologien einzudringen. Die SF 65 wird eingesetzt, wenn die Aufbereitungsphase des Kanals abgeschlossen ist. Während der Anwendung im Kanal sollte die Spitze SF 65 in leichten Hubbewegungen auf- und abwärts bewegt werden. Die maximale Arbeitstiefe ist 2 mm geringer als die Länge des Wurzelkanals. Die Spitze darf im SF1LM nur auf der niedrigsten Leistungsstufe „1“ be-

trieben werden. Die aktivierte Spitze sollte nie lange im selben Bereich des Wurzelkanals verbleiben.

Die Wirkung der Aktivierung des Spülmittels zeigt sich mit einem „Schaumeffekt“, der in der Pulpakammer auftritt.

Die klinischen Vorteile beim Gebrauch dieser Spitze zur Aktivierung der Spülflüssigkeit im Wurzelkanal sind wie folgt:

- deutliche Zeitersparnis in der Phase der Reinigung und Desinfektion des Kanalsystems
- Spülung des Kanalsystems bis in die Tiefe (man geht sicher, dass die Spülmittel in das apikale Drittel eingebracht werden)
- eine schnellere Heilung der periradikulären Infektion

Ein Vergleich der Wirksamkeit bei der Entfernung der Schmierschicht mit durch Ultraschall und durch Schall aktivierten Spülmittel hat zu unterschiedlichen Ergebnissen geführt [43,86]. Im Vergleich zur durch Ultraschall aktivierten Spülung arbeitet die schallaktivierte Spülung mit einer niedrigeren Schwingungszahl (5 bis 6 kHz), wodurch weniger Stress auf die Wurzel ausgeübt wird [85]. Die Aktion, die die Entfernung der Schmierschicht von den Kanalwänden hervorruft, wird als „acoustic streaming“ bezeichnet [41]. Das „acoustic streaming“ kann als eine schnelle, strudelreiche Bewegung der vorhandenen Flüssigkeit um eine oszillierende Spitze definiert werden [59].

2.3.4 Ultraschallaktivierung *IRRI S*

Die Anwendung von Ultraschall liegt in der Endodontie schon relativ lange zurück. Ultraschall wurde von Martin und Cunnigham [44] in erster Linie zur Präparation, aber auch zur Spülung des Wurzelkanals eingeführt. Allerdings führte die Verwendung zur Aufbereitung des Wurzelkanals vermehrt zu Perforationen und Stufenbildung im Kanal [75]. Aus diesem Grund konnten sich die Ultraschallsysteme in Bezug auf die Wurzelkanalpräparation wegen gravierender Mängel in der Formgebung insbesondere bei gekrümmten Kanälen sowie verschiedener Probleme bezüglich der Arbeitssicherheit nicht durchsetzen [31].

Es konnte damals schon nachgewiesen werden, dass die Kavitation und die akustische Mikroströmung der Spüllösung zu einer effektiveren und besseren Reinigung des Wurzelkanals führten [11]. Bei der passiven Ultraschallspülung (passive ultrasonic irrigation, kurz PUI) handelt es sich um den nichtschneidenden Einsatz einer durch Ultraschall angeregten kleinen Feile (z.B. ISO 15), die nach Abschluss der Wurzelkanalpräparation in den mit Spülflüssigkeit gefüllten Wurzelkanal eingebracht wird. Das Instrument soll so eingesetzt werden, dass es keinen Wandkontakt hat und somit die Wurzelkanalwand mechanisch nicht bearbeitet wird [95].

Ahmad et al. haben gezeigt, dass die Schmierschicht infolge vermehrter akustischer Mikroströmung durch eine passive Ultraschallspülung, effektiver reduziert wird als durch eine ultraschallgestützte Spülung während der Wurzelkanalpräparation [1]. Denn gerade in Bereichen, in denen die Wurzelkanalinstrumente nicht in Kontakt mit dem Wurzelkanalsystem gekommen sind, ist dessen Reinigung sehr problematisch. Die Reinigung sowie die Entfernung von organischen wie anorganischen Anlagerungen und Biofilmen können nur chemisch mit ausreichend konzentriertem NaOCl erfolgen. Paqué et al. berichteten, dass sich in unberührten Bereichen des Wurzelkanalsystems, insbesondere in Anastomosen zwischen Wurzelkanälen, während der Wurzelkanalpräparation häufig Gewebereste sowie anorganisches Material anlagern [47]. Nur durch mechanische Agitation der Spüllösung (Ultraschall) und der Anwendung demineralisierender Agenzien kann eine Entfernung dieser Anlagerungen angestrebt werden [47].

Einige Studien haben gezeigt, dass die Wirkung des EDTA, wenn es durch Ultraschall aktiviert wird, bei der Entfernung der Schmierschicht größer ist als bei der reinen, einfachen Einbringung des Spülmittels durch Spülungsspritzen. Es wurde auch gezeigt, dass die Reinigungswirkung in Bezug auf den Dentindebris in simulierten Ausbuchtungen und Lateralkanälen effektiver ist. Eine solche verbesserte Reinigungswirkung wird in den Bereichen beobachtet, in denen die Anatomie der Wurzel komplexer ist und wo die Maße des Kanals und die Eindringtiefe der Nadel und somit des EDTA schwieriger sind [39]. Eine vorliegende Studie zeigt zum Beispiel, dass ultraschallaktivierte Instrumente zeitabhängig eine effektive Reduktion von Wurzelkanalsealerresten bewirken und eine nahezu vollständige Reinigung erzielen können [93].

2.3.5 Sonicare mit CanalBrush

Die *CanalBrush* (Coltène Whaledent, Altstätten) ist eine im Winkelstück zu verwendende Bürste. Von einem zentralen Polypropylen-Stift zeigen im Winkel von 90° in Abständen von 0,4 mm jeweils zwei Bürstenhaare nach außen. Die Arbeitselemente sind um 180° versetzt angeordnet und besitzen eine Länge von 0,4 bis 0,5 mm. Die Bürstenhaare berühren in jedem Fall im unteren bis mittleren Kanaldrittel die Wand des Wurzelkanals. Es gibt die *CanalBrush* in drei verschiedenen Größen „S“, „M“ und „L“ (.02/#20, .02/#25 und .02/#30). Der Einsatz der *CanalBrush* soll nach Herstellerangaben mit maximal 600 Umdrehungen pro Minute erfolgen. Sie ist bei 134° C autoklavierbar und soll folgendermaßen einsetzbar sein:

- Applikation von Zement und Adhäsiven zur Stiftinsertion
- In Kombination mit Spülflüssigkeiten zur Reinigung des Wurzelkanals
- Aktivierung von Spülflüssigkeiten

Dabei ist die Reinigungswirkung in Bezug auf den Dentindebris im Wurzelkanal besser als bei der einfachen Handspülung [57]. Der verarbeitete Kunststoff ist äußerst flexibel und sehr stabil. Die Bürstenhaare streifen die Kanalwand ohne Kraft auszuüben. Durch die gleichmäßige Länge der Bürstenhaare wird lateraler Druck gedämpft, da sich die Arbeitselemente dann zu biegen beginnen.

Garip et al. (2010) untersuchten die Reinigungswirkung bezüglich der Entfernung des „Smear layers“ beim Einsatz der *CanalBrush*, welches zusätzlich zur Abschlussspülung 30 Sekunden mit EDTA angewandt wurde. Es fanden sich zwar sauberere Kanäle im mittleren und apikalen Kanaldrittel, jedoch war der Unterschied nicht signifikant. Im koronalen Drittel konnte kein Unterschied festgestellt werden [21]. In einer anderen Studie wurde die *CanalBrush* als Aufsatz zu einer *Sonicare*-Schallzahnbürste verwendet, welche mit 31.000 Schwingungen pro Minute arbeitet. Es wurde gezeigt, dass sowohl der Dentindebris als auch der Smear layer im Wurzelkanal in allen Dritteln der Wurzelkanäle, deutlich reduziert werden konnte [62]. Auch in Bezug auf die Entfernung von Kalziumhydroxid aus dem Wurzelkanal erzielte der *CanalBrush* signifikant sauberere Kanäle als mit der reinen Handspülung mit NaOCl sowie EDTA [79].

Festzuhalten ist also, dass alle der genannten Aktivierungsmethoden zur besseren Reinigung der Wurzelkanalwände führen, als die alleinige Kanülen-spülung. Vor allem in Bezug auf die Desinfektion, die Entfernung von Kalziumhydroxid, von Dentindebris, Smear layer und der Sealerreste aus dem Wurzelkanal sind sie effektiver. Die genannten Aktivierungstechniken wurden bislang nahezu ausschließlich zur Entfernung von Debris, Smear layer oder Kalziumhydroxid eingesetzt und für diesen Einsatz untersucht. Noch keine Studie aber hat untersucht, in wieweit diese Techniken Wurzelfüllmaterial aus Lateralkanälen entfernen können.

Im Rahmen der vorliegenden Studie sollten folgende Arbeitshypothesen beantwortet werden:

1. "Der Einsatz von Eukalyptusöl im Rahmen der endodontischen Revision beeinflusst den Füllungsgrad ungefüllter peripherer Lateralkanalanteile stärker als die Revision ohne den Einsatz eines Lösungsmittels".
2. "Die Aktivierung von Eukalyptusöl im Rahmen der endodontischen Revision reduziert den Anteil von Obturationsmaterial in den zentralen Lateralkanalanteilen".
3. "Der Einsatz von Eukalyptusöl reduziert die erforderliche Revisionszeit deutlich".

3 Material und Methode

3.1 Schematische Darstellung des Versuchsablaufs

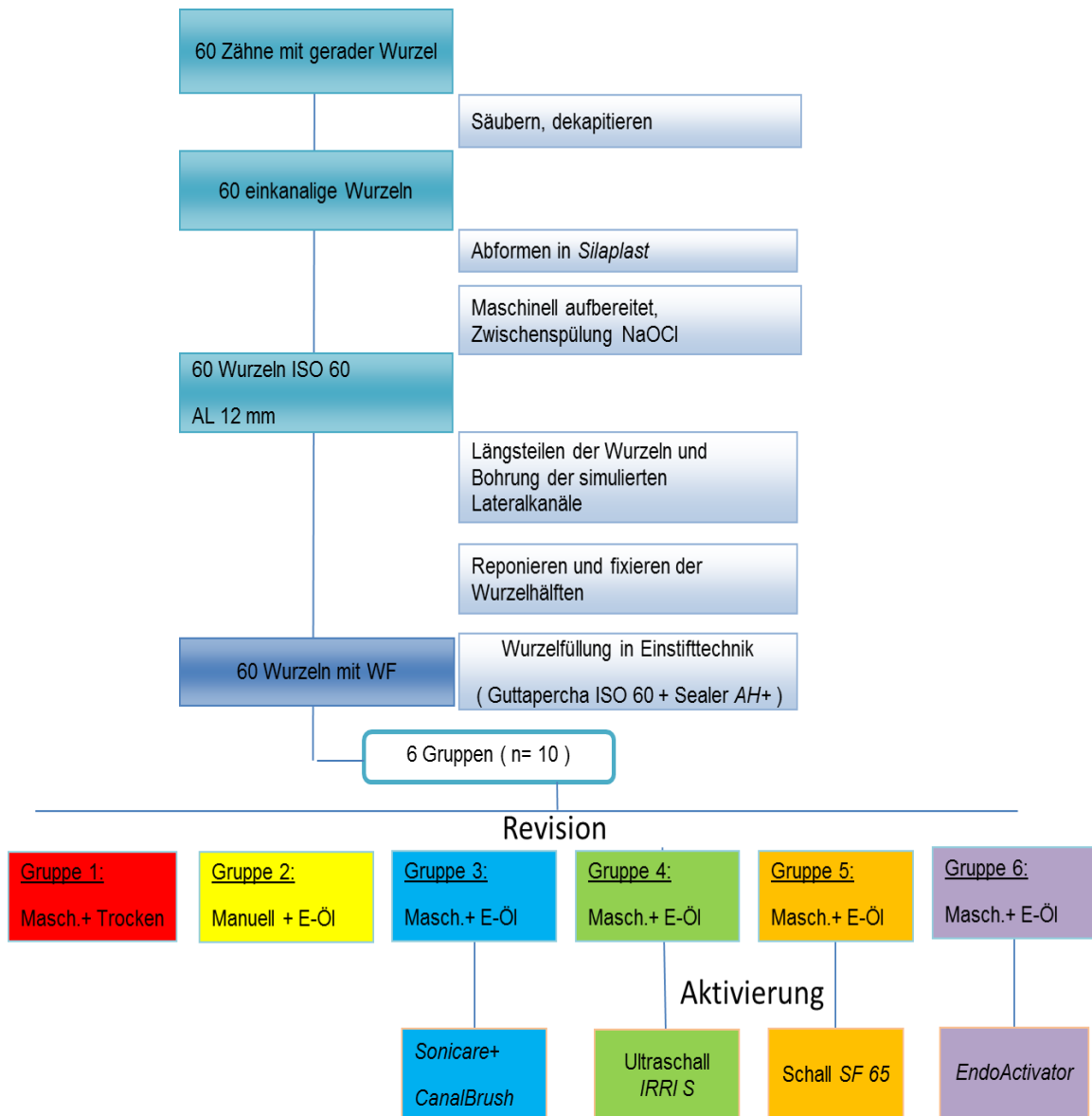


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsablaufs

3.2 Auswahl und Vorbereitung der Probenzähne

Für die vorliegende Arbeit wurden 60 einkanalige Wurzeln extrahierter humaner Zähne in sechs Gruppen zu je 10 Zähne randomisiert verteilt. Die Zähne wurden im Vorfeld röntgenologisch beurteilt. Die Wurzeln wurden nach folgenden Kriterien ausgesucht: gerader Kanalverlauf, keine vorherig erfolgte endodontische Behandlung, runder Kanalverlauf, kleines Kanallumen und nicht zu kleine Wurzel (mindestens 12 mm). Die dafür verwendeten Zähne wurden direkt nach der Extraktion bis Ende des Versuchs in 0,001 % Natriumazid gelagert.

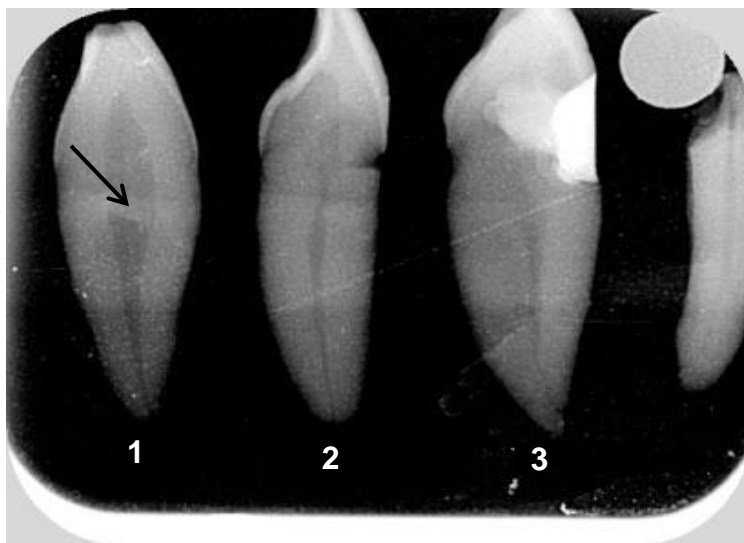


Abbildung 2: Ausschlusskriterien von Zähnen: 1 = zu ausgedehntes Kanallumen, 2 und 3 = zu gekrümmter Wurzelkanal)

Nach Auswahl der Zähne wurden die Wurzeln mittels Bürstchen sowie Scaler (Hu-Friedy) von Konkrementen, Granulationsgewebe und Resten von parodontalen Fasern gesäubert. Die Kronen wurden zunächst unter Wasserkühlung mit einem Diamanten gekürzt (Henry Schein). Die tatsächliche Kanallänge wurde mit einer ISO 15 Feile ermittelt. Dabei wurde die Feile in den Kanal eingeführt bis die Spitze der Feile am Foramen apicale sichtbar war. Die Wurzeln wurden so auf eine Länge von 13 mm gekürzt. Die Arbeitslänge betrug somit 12 mm. Anschließend wurden die Wurzeln in *Silaplast* (Fa. Detax) eingebettet, um für die späteren Wurzelkanalfüllungen und Revisionen das Parodont zu simulieren.

3.3 Die Aufbereitung der Wurzelkanäle

Die Kanalaufbereitung erfolgte maschinell mit *Crown-down*-Technik mit einem drehmomentkontrollierenden VDW *silver-Motor* (VDW) und dem *BioRaCe*-Set (FKG) auf eine Arbeitslänge von 12 mm bis ISO 40. Anschließend wurde mit *FlexMaster* NiTi-Feilen vollrotierend (VDW) schrittweise über ISO 50 bis ISO 60 maschinell erweitert. Während der Aufbereitung wurde regelmäßig mit NaOCl 3 % gespült.

3.4 Präparieren der simulierten Lateralkanäle

Im nächsten Schritt wurden die Wurzeln mithilfe einer 0,15 mm dicken, doppelseitig belegten Diamantscheibe *Superdiaflex* (Horico Dental) längs angeschliffen. Mit einem Schmelzbeil (Henry Schein) konnten die Wurzeln in zwei Teile axial gespalten werden. Die so entstandenen Wurzelhälften waren dadurch eindeutig wieder zu reponieren. In jede Wurzelhälfte wurden drei Bohrungen, möglichst im rechten Winkel zur Längsachse, gemacht. Diese wurden in einem Abstand von 3, 6 und 9 Millimetern von apikal noch koronal angebracht, sodass man im zervikalen, mittleren und koronalen Wurzeldrittel simulierte Lateralkanäle hatte. Die Bohrungen erfolgten mit einem diamantierten Fissurenbohrer, welcher 3 mm lang und 0,8 mm breit war (Henry Schein). Anschließend ließen sich die Wurzelhälften in zuvor hergestellten Silaplastformen wieder reponieren. Um diese fest miteinander zu fixieren, wurden sie im Bereich der Längsbohrungen mit einem Self-Etch Adhäsiv *iBond Self-Etch* (Heraeus Kulzer) konditioniert und mit einem lichthärtenden Komposit *Venus Flow* (Heraeus Kulzer) miteinander verbunden. Da die Wurzelhälften nicht mehr eröffnet werden mussten, ermöglichte diese Methode eine ausreichende Fixierung der Wurzelhälften. Damit die Wurzel später beim Röntgen immer in der gleichen Position liegt, wurde auf einer Seite eine Auflage mit Komposit anpolymerisiert (*G-aenial*, GC Corporation).

Die 60 Wurzeln wurden anschließend randomisiert 6 Gruppen (n=10) zugeordnet.

3.5 Wurzelkanalfüllung

Vor jeder Wurzelkanalfüllung wurden die Kanäle nochmals mit 3% NaOCl-Lösung gespült und anschließend mit Papierspitzen der Größe ISO 60 (VDW) getrocknet. Die Obturation der Wurzelkanäle fand mit der Einstifttechnik statt. Ein Guttaperchastift der Größe ISO 60 (Henry Schein) wurde mit dem Sealer *AH Plus* (Dentsply) leicht bestrichen umso vorab, vor der eigentlichen Wurzelfüllung, schon einmal den Wurzelkanal mit dem Sealer zu beschicken. In einem zweiten Schritt wurde der Guttaperchapoint nochmals mit dem Sealer bestrichen und unter leichtem Fingerdruck in den Kanal eingebracht. Überschüssiges Material wurde mit einem Schaumstoffpellet am Kanaleingang entfernt. Alle 60 Wurzelfüllungen wurden identisch durchgeführt. Die Proben wurden anschließend eine Woche bei 100% Luftfeuchtigkeit und 37° C gelagert.

Danach wurden die Wurzeln einzeln geröntgt. Die Wurzel wurde auf den Röntgenfilm mittig platziert. Durch das vorher angebrachte Kompositteil lagen die Wurzeln immer in gleicher Position. Die Röntgenröhre wurde so eingestellt, dass sie etwa einen Abstand von 5 cm zur Wurzel hatte und die Proben mit 120 ms belichtet wurden.

3.6 Die Revision

Nach dem ersten Röntgen wurden die Wurzeln gruppenweise revidiert (s. Abbildung 3).

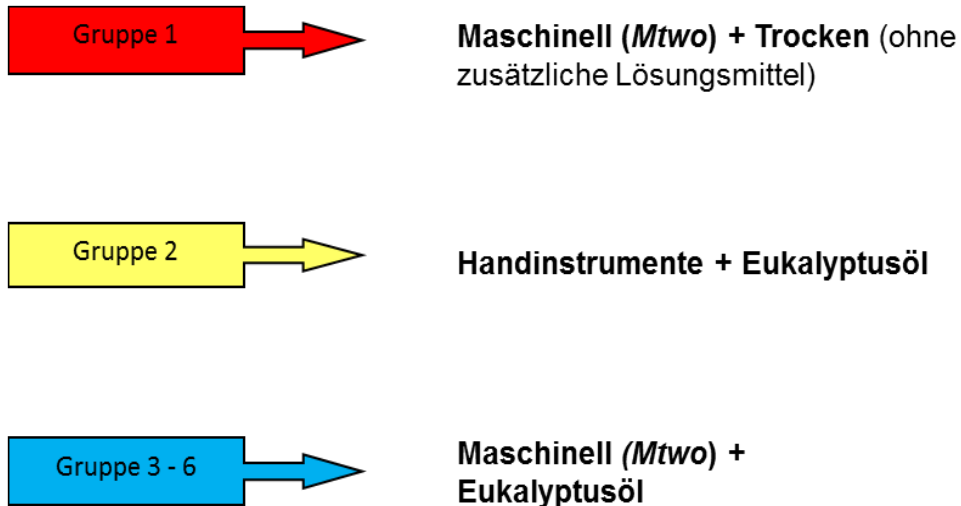


Abbildung 3: Gruppeneinteilung für die Revision

Gruppe 1 wurde mit *Mtwo-Retreatment*-Feilen (VDW) der Größe ISO 15 und ISO 25 bei 280 U x min⁻¹ revidiert und anschließend mit *FlexMaster* NiTi-Feilen bis ISO 70 maschinell unter Spülung von NaOCl erweitert. Dabei wurde kein Eukalyptusöl verwendet. Die durchschnittliche Revisionsdauer betrug 4,49 Minuten (Abb.13). Die Zeit wurde gemessen vom ersten Feilenkontakt mit der Guttapercha bis zur visuell vollständigen Revision der Guttapercha. Bei den Gruppen 2 bis 6 wurde vor der Revision Eukalyptusöl (Caesar & Loretz) appliziert und hat es 2 Minuten einwirken lassen. Die Wurzeln der Gruppe 2 wurden manuell mit K-Feilen und Hedström-Feilen ISO 15 und ISO 25 revidiert (VDW). Die durchschnittliche Revisionszeit betrug 10,27 Minuten. Bei den Gruppen 3 bis 6 wurde mit den an ihren Spitzen aktiv schneidenden *Mtwo*-Revisionsfeilen (VDW) .05/#25 und .05/#15 bei 280 U x min⁻¹ sukzessive die Guttaperchafüllung entfernt und anschließend mit *FlexMaster*-NiTi-Feilen (VDW) auf ISO 70 maschinell erweitert. Hier betrug die durchschnittliche Revisionszeit 4,0 Minuten.

Die Revisionen erfolgten auch wieder in den *Silaplast*-Formen. Anschließend wurde geröntgt. Dies erfolgte wie bereits oben nach der Wurzelfüllung beschrieben.

3.7 Aktivierung des Lösungsmittel

Die Gruppen 3 bis 6, die alle identisch revidiert worden sind, wurden nochmals in 4 Gruppen aufgeteilt.

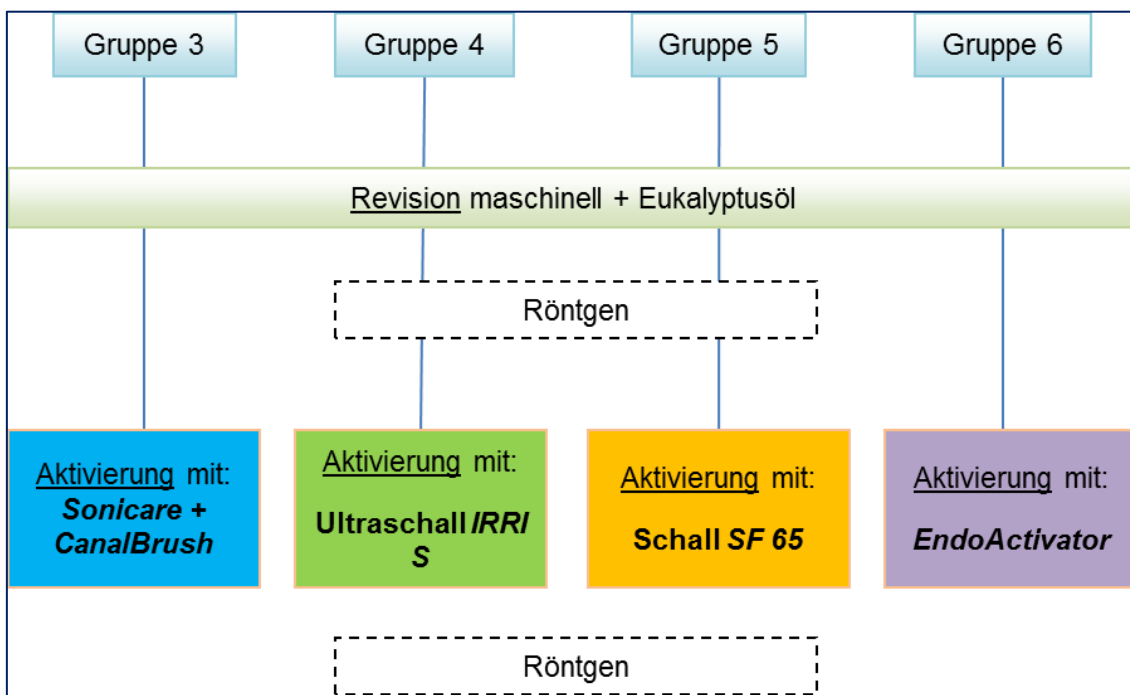


Abbildung 4: Aufteilung der Gruppen 3 bis 6 für die Aktivierung

Bei den Aktivierungen ließ man wiederum 2 Minuten Eukalyptusöl einwirken und es wurde 2 Minuten mit den jeweiligen Methoden aktiviert. Die Feilen wurden 1 mm kürzer als die Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingebracht, um maximale Schwingungsamplituden zu gewährleisten.

Bei der Gruppe 3 wurde mit einer *Sonicare*-Schallzahnbürste (Philips) gearbeitet. Der Kopf der Schallzahnbürste wurde umgebaut um den *CanalBrush* (Coltène/Whaledent AG) zu fixieren. Normalerweise wird sie im Handstück bei 600 cpm benutzt. In dieser Studie wurde sie modifiziert als Aufsatz auf einer *Sonicare* Schallzahnbürste verwendet. Zum Einsatz kam die *CanalBrush* der Größe „M“ (25 /.02). Nach der Einwirkzeit von 2 Minuten mit Eukalyptusöl wurde

2 Minuten bei 31.000 cpm aktiviert. Die *CanalBrush* wurde 1 mm kürzer als die Arbeitslänge in den Kanal eingebracht und ohne pumpende Bewegungen angewandt.



Abbildung 5: a) *Sonicare* mit modifiziertem Aufsatz mit *CanalBrush* b) *CanalBrush* im Winkelstück

Gruppe 4 wurde mit einem Stahl-Ultraschallaufsatz *IRRI S* ISO-Größe 25 (VDW) und Endo-Multifunktionsgerät *EndoPilot* und dem Ultraschall-Handstück „*Newtron*“, *Saletec* (Schlumbohm) aktiviert (Abb.6). Nach 2 minutiger Einwirkdauer des Lösungsmittels, wurde anschließend während der Aktivierung wieder auf ein ausreichendes Volumen des Lösungsmittels geachtet. Die Feile wurde 2 mm kürzer als die Arbeitslänge eingeführt. Es wurde auf eine „passive“ Arbeitsweise geachtet, das heißt die Feile wurde nicht aktiv im Kanal hin und her bewegt, sondern nur im Kanal gehalten ohne Bewegung und ohne Kontakt zur Kanalwand, angewendet. Somit wurde gewährleistet, dass die Feile frei im Kanal schwingen konnte.



Abbildung 6: Ultraschallaufsatz *IRRI S*

Gruppe 5 wurde mit einem *SF65*-Schallansatz (Komet Dental) mit einem *SonicSys*-Handstück (KaVo) an der Behandlungseinheit mit Einstellung 300.000 eingesetzt. Die Schallspitze wurde erst im Wurzelkanal aktiviert und mit leichten Auf- und Abwärtsbewegungen angewendet. Dabei wurde sie 2 mm kürzer als die Arbeitslänge in den Kanal eingebracht (Abb. 7).

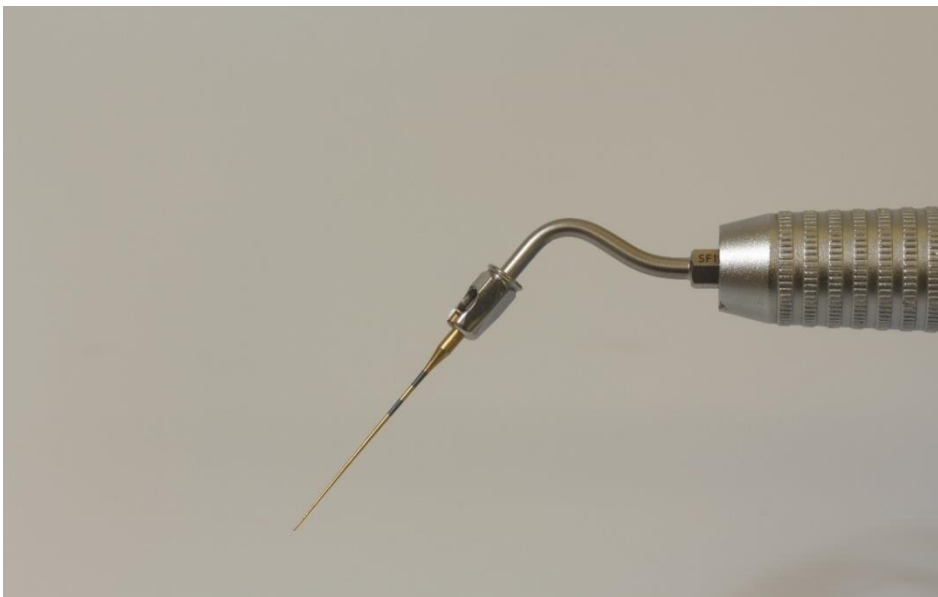


Abbildung 7: *SF 65*-Schallspitze

Gruppe 6 wurde mit dem *EndoActivator* (Dentsply Tulsa Dental Specialties) aktiviert. Zunächst wurde der Wurzelkanal mit Eukalyptusöl geflutet. Die Einwirkzeit betrug wiederum 2 Minuten. Der *Activator-Tip* der Größe „L“ (.04/#35) wurde 2 mm kürzer als die Arbeitslänge in den Wurzelkanal eingebracht. Es wurde darauf geachtet, dass diese keinen Wandkontakt aufwies. Anschließend wurde unter vertikal pumpenden Bewegungen (2 mm bis 3 mm) mit 10.000 Zirkulationen (cpm) 2 Minuten lang aktiviert. Der *EndoActivator* wurde erst eingeschaltet, nachdem sich der *Activator-Tip* im Kanal befand. Abschließend wurde der Kanal nochmals mit NaOCl (2,5%) gespült, mit Papierspitzen getrocknet und die Wurzeln abschließend geröntgt.



Abbildung 8: *EndoActivator*-Handstück mit aufgesetzter Schallspitze der Größe „M“ (.04/#25)

3.8 Bearbeitung der Röntgenbilder

Die digitalen Röntgenbilder wurden aus der Datenbank der *Digora*-Software (Soredex) als jpg-Dateien exportiert. Dann wurden diese Dateien zunächst angeschärft und gruppenweise sortiert. Um die Darstellung zu verbessern, wurden alle Bilder mit der Software *PhotoZoom Pro 5* (Franzis Verlag GmbH) um 500%

vergrößert und mittels der Option "S-Spline Pro" neu berechnet (von 560 x 414 auf 2800 x 2080 Pixel).

Um die Sealerpenetration in den simulierten Lateralkanälen der verschiedenen Gruppen, also nach der Wurzelfüllung, nach der Revision, nach der Aktivierung, miteinander vergleichen zu können, wurden sie mit *Adobe Photoshop CS5* (Adobe Systems Software) wie folgt bearbeitet. Die Röntgenbilder wurden in Photoshop übereinandergelegt. Durch Verstellung der Transparenz der einzelnen Bilder war es möglich, diese durch Superposition zu überlagern.

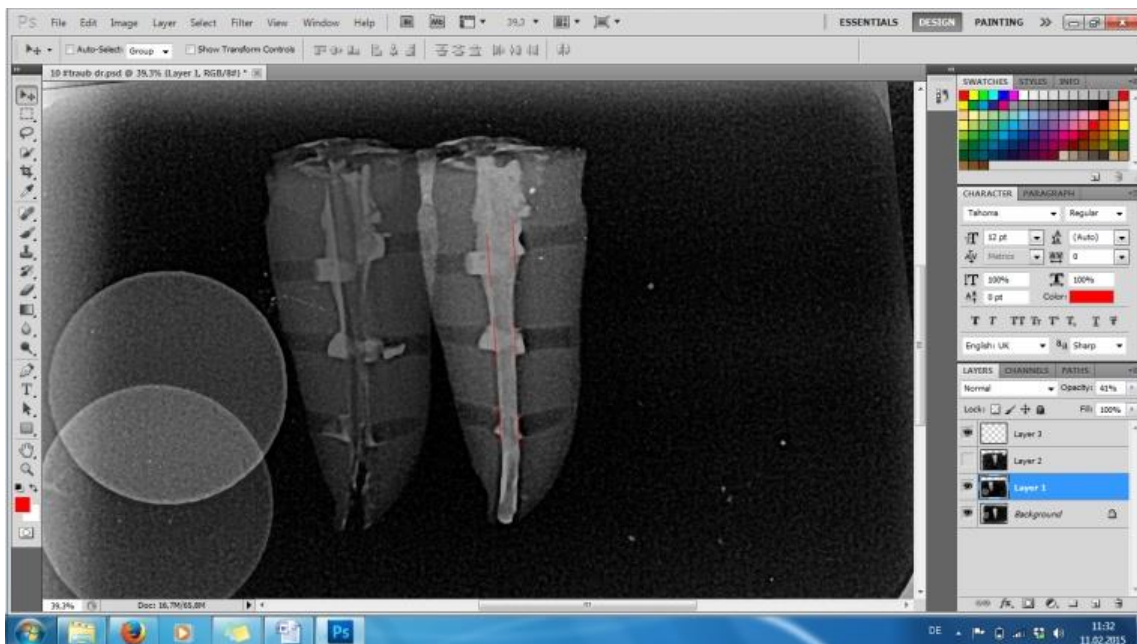


Abbildung 9: Screenshot von Photoshop: Röntgenbild nach der Wurzelkanalfüllung (rechts) sowie nach erfolgter Revision der Wurzelkanalfüllung (links)

Nachdem die Bilder deckungsgleich waren, wurde eine rote Linie gezogen, die den Eingang der Lateralkanäle begrenzte. Diese Linien wurden unter Photoshop auf einer allen Bildern überdeckenden Ebene gezeichnet. So war gewährleistet das die Linien bei allen Bildern an der gleichen Position sind.

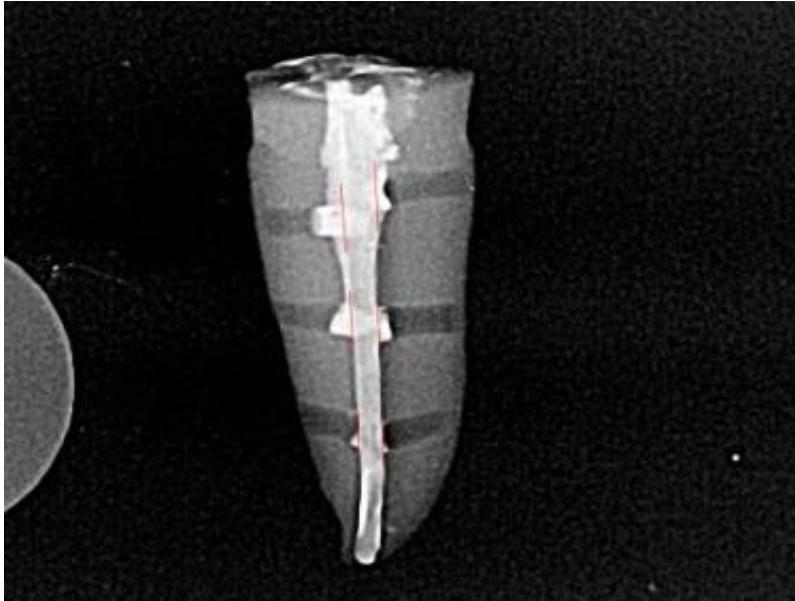


Abbildung 10: Röntgenbild nach erfolgter Wurzelkanalfüllung

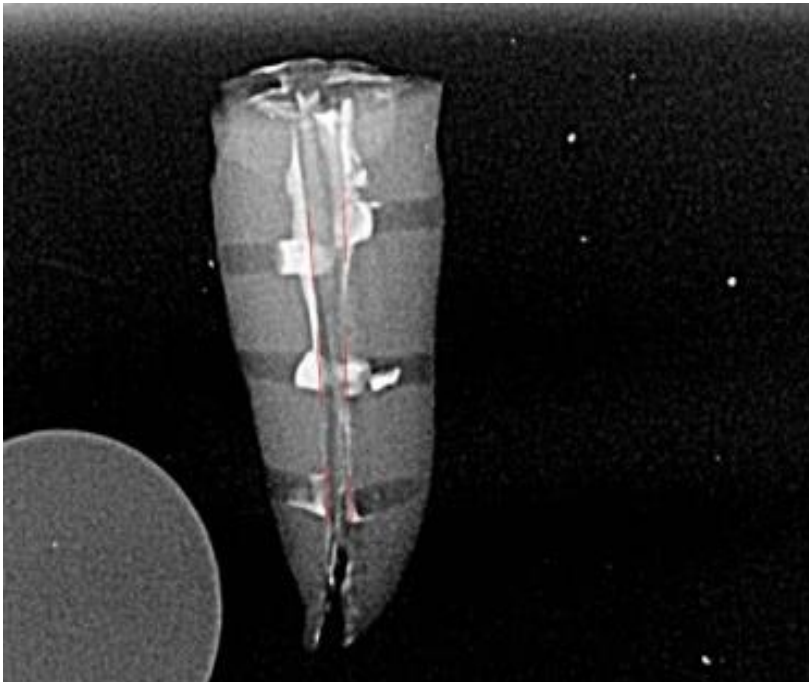


Abbildung 11: Röntgenbild nach erfolgter Revision

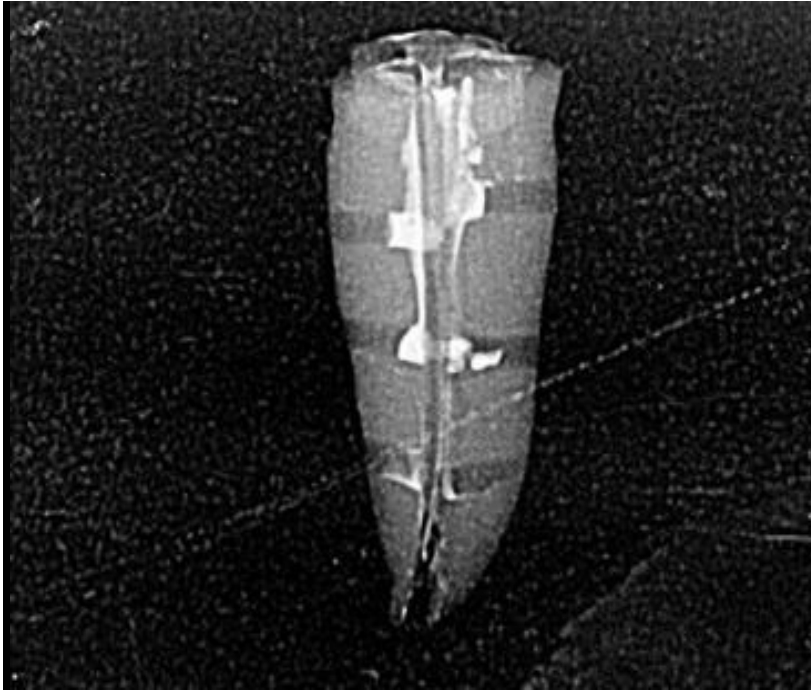


Abbildung 12: Röntgenbild nach Aktivierung des Lösungsmittels Eukalyptol

3.9 Ausmessen der Röntgenbilder

Das Ausmessen der Sealerpenetration in den simulierten Lateralkanälen erfolgte mit der Bildauswertungssoftware *Leica Qwin* (Leica Microsystems). Pro Lateralkanal wurde, nach erfolgter Kalibrierung, die Sealerfläche und die restliche Kanalfläche markiert und vermessen. Die Kalibrierung erfolgte mit einer ISO 25 K-Feile (VDW), die auf 19 mm markiert wurde.

Die Messwerte der jeweiligen Schritte, also nach der Wurzelfüllung, nach der Revision und nach der Aktivierung wurden mittels *Microsoft Excel* tabellarisch erfasst und für die statistische Auswertung gespeichert. Um die Werte miteinander vergleichen zu können wurden folgende Prozentwerte ausgerechnet:

1. Prozentwert der mit Sealer gefüllten Lateralkanalfläche gegenüber der Gesamtkanalfläche
2. Prozentwert der leeren wurzelkanalfernen Lateralkanalfläche zur Gesamtkanalfläche (bei den Fällen bei denen sich der Sealerpropf in Richtung Wurzeloberfläche verschoben hat).

Die statistische Auswertung erfolgte schließlich mit dem Statistikprogramm *SPSS Win 19.0* (Firma IBM, Armonk, NY, USA). Dazu wurden nichtparametrische Tests (Kruskal-Wallis-Test und Mann-Whitney-Test) verwendet und der Signifikanzwert auf $p \leq 0,05$ gesetzt. Die drei Kanalabschnitte (apikal, mittig, koronal) wurden jeweils nach der Revision, nach erfolgter Aktivierung und nach der gesamten Behandlung gruppenweise miteinander verglichen. Zunächst wurde die Sealerdifferenz zwischen Obturation und Revision für jeden Kanalabschnitt ermittelt.

4 Ergebnisse

4.1 Vergleich der Revisionsdauer der einzelnen Gruppen

Zunächst wurde über die Gesamtheit der revidierten Wurzelkanäle geprüft, ob es einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen gab (Kruskal-Wallis-Test). Dies ergab eine statistische Signifikanz ($p < 0,001$). Anschließend wurde mittels Paarvergleichstests (Mann-Whitney-Test) die Gruppen 1 bis 6 paarweise verglichen. Tabelle 1 fasst die statistischen Ergebnisse des Mann-Whitney-Test für die Revisionszeiten zusammen.

Tabelle 1: Paarvergleiche der Revisionszeiten (rot = signifikant)

Paarvergleich (Gruppe)	P-Wert
1 vs. 2	0,00
1 vs. 3	0,03
2 vs. 3	0,00

Die Auswertung der gesamten Revisionszeit ergab einen deutlich höheren Zeitbedarf bei der manuellen Revision mit Handinstrumenten (Gruppe 2 = gelb) gegenüber allen anderen Gruppen ($p < 0,001$). Bei den maschinellen Revisionen ergaben sich auch Unterschiede bezüglich der Revisionszeiten. Gruppe 1 (rot) welche maschinell und ohne Einsatz von Lösungsmittel revidiert worden ist, hatte längere Revisionszeiten als die Gruppen welche mit Lösungsmittel revidiert worden sind (Gruppen 3 bis 6). Trotzdem waren alle maschinellen den manuellen überlegen.

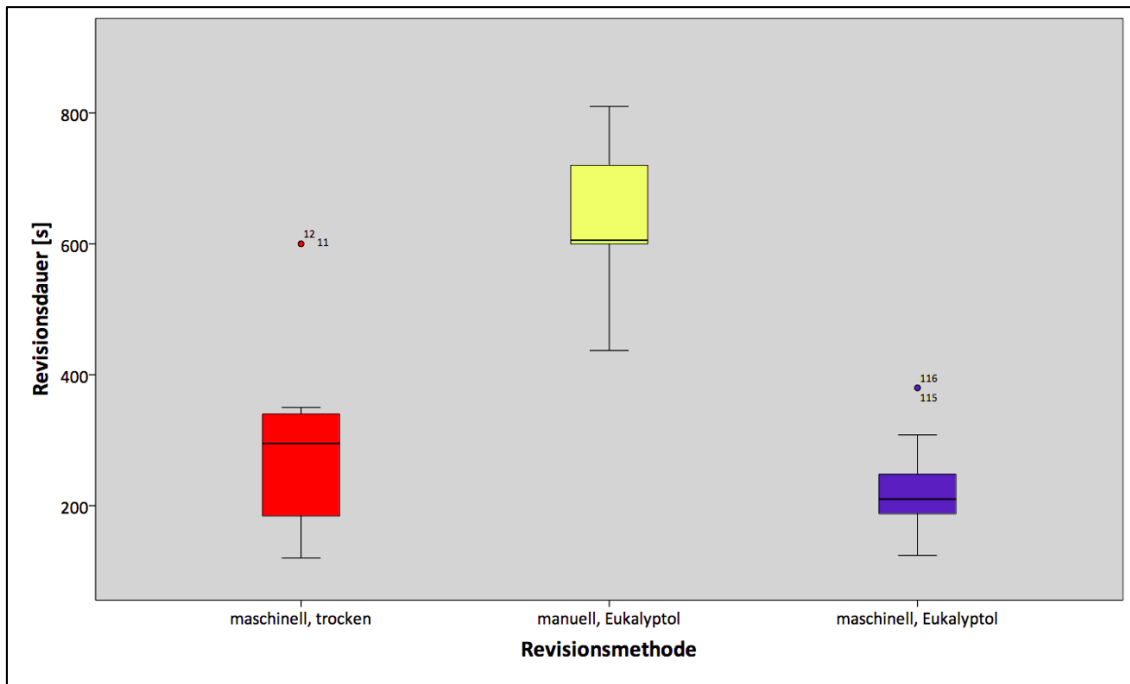


Abbildung 13: Verschiedene Revisionsmethoden rot: maschinell, trocken; gelb: manuell, Eukalyptol; blau: maschinell, Eukalyptol

4.2 Vergleich der Sealerdifferenz nach der Revision

4.2.1 Apikales Wurzelkanaldrittel

Der Kruskal-Wallis-Test ergab einen signifikanten Unterschied zwischen den Gruppen ($p=0,018$). Die Gruppen wurden mit Paarvergleichstest (Mann-Whitney-Test) analysiert. Bei Gruppe 2 (gelb), welche mit Handinstrumenten und Eukalyptusöl revidiert worden ist, wurde signifikant mehr Sealer in die Lateralkanäle hineingepresst als in den restlichen Gruppen ($p<0,0001$). Im Mittel waren dies +35,45% mehr als nach der Obturation. Gruppe 1 (rot), welche maschinell aber ohne Lösungsmittel revidiert worden ist, wurde signifikant weniger Sealer in die Lateralkanäle hineingepresst als in den restlichen Gruppen. Im Mittel war dies +14,50% mehr als nach der Obturation. Gruppe 3 bis 6 unterschieden sich nicht signifikant (Tab. 2).

Tabelle 2: Paarvergleiche der Gruppen 1 bis 6 miteinander (rot = signifikant)

Paarvergleiche (Sealer/WF-Differenz nach Revision)	Apikal	Mittig	Koronal
1 vs. 2	0,01	0,38	0,07
1 vs. 3	0,04	0,48	0,06
1 vs. 4	0,00	0,11	0,68
1 vs. 5	0,17	0,29	0,03
1 vs. 6	0,68	0,57	0,02
2 vs. 3	0,51	0,84	0,64
2 vs. 4	0,86	0,46	0,09
2 vs. 5	0,14	0,15	0,78
2 vs. 6	0,03	0,13	0,80
3 vs. 4	0,68	0,50	0,07
3 vs. 5	0,48	0,14	0,38
3 vs. 6	0,11	0,27	0,36
4 vs. 5	0,13	0,03	0,03
4 vs. 6	0,03	0,04	0,01
5 vs. 6	0,41	0,68	0,93

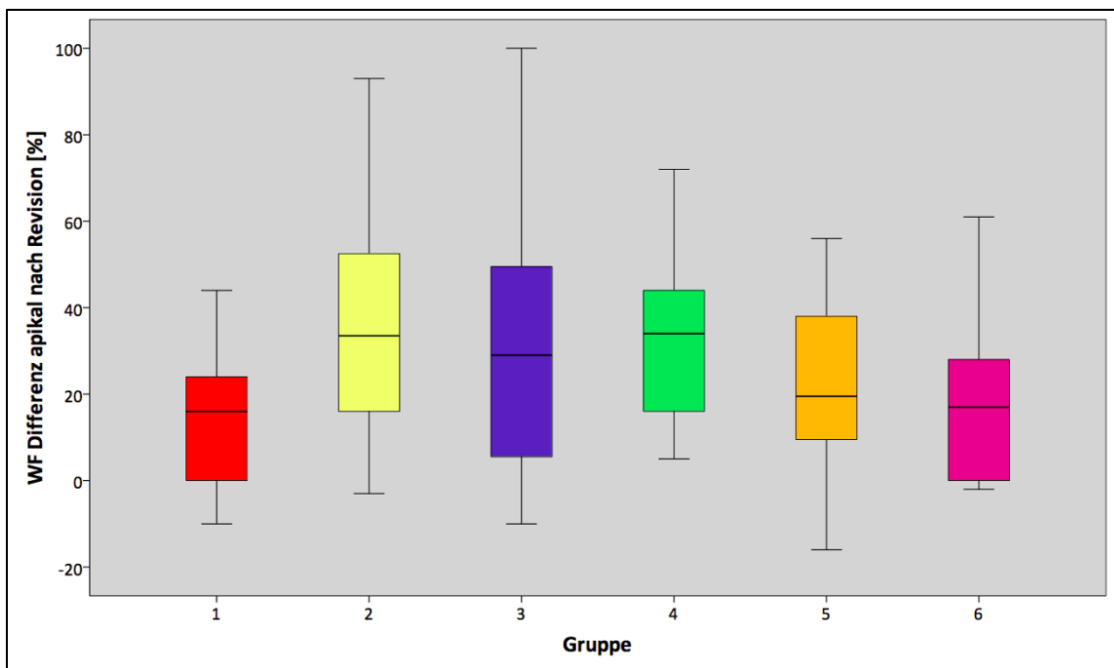


Abbildung 14: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Revision apikal in [%]

4.2.2 Mittleres Wurzelkanaldrittel

Im mittleren Kanaldrittel zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen bezüglich der Sealerdifferenz (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,164$). Bei allen Gruppen wurde jedoch mehr Sealer in die Lateralkanäle hineingepresst. Im Schnitt waren dies +22,08%. Bei der Gruppe 5 (Orange) und 6 (Lila) zeigten sich die geringsten Sealerdifferenzen (+13,70% und +18,70%) Gruppe 4 (grün) hatte mit +28,25% die höchsten Werte. Die Mittelwerte reichten von +13,70% (Gruppe 5) bis +28,25% (Gruppe 4). Die paarweise Analyse mittels Mann-Whitney-Test sind in Tabelle 2 dargestellt.

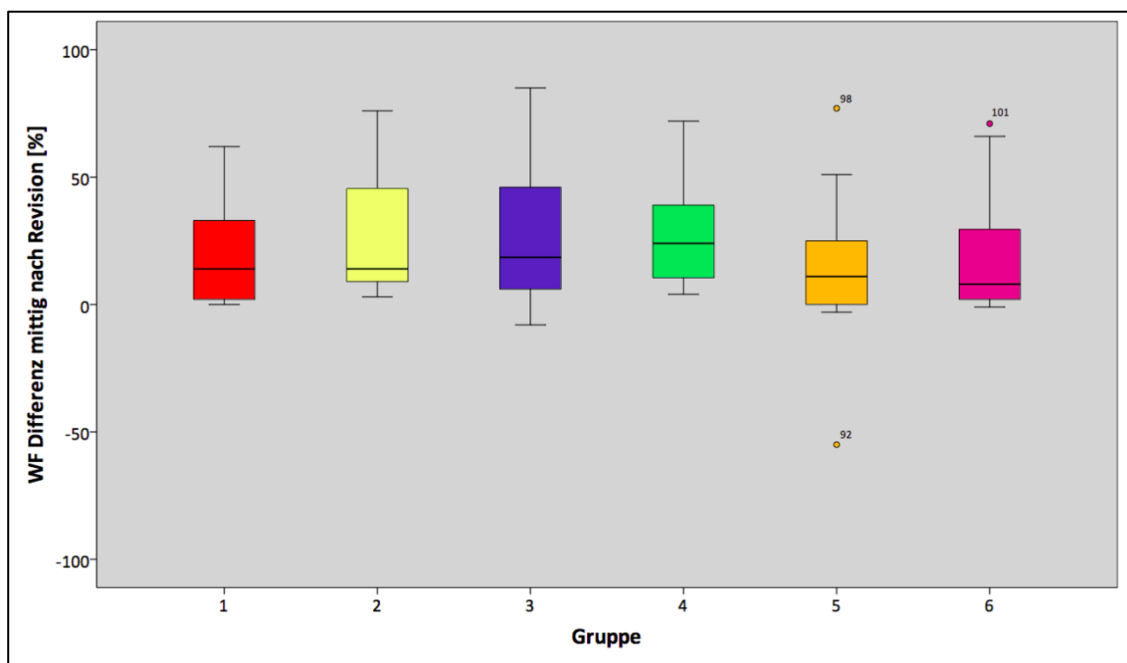


Abbildung 15: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Revision mittig in [%]

4.2.3 Koronales Wurzelkanaldrittel

Im koronalen Wurzelabschnitt zeigten sich signifikante Unterschiede bezüglich der Sealerdifferenz (Kruskal-Wallis-Test, $p=0,031$). Gruppe 3 und 6 zeigten die geringsten Sealerdifferenzen (+6,00% und +5,25%). Es ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen Gruppe 1 und 5 ($p=0,026$) beziehungsweise der Gruppe 1 und 6 ($p=0,015$). Gruppe 1 (*Mtwo trocken*) wies im Mittel die höchsten Werte auf (+18,40%).

Im koronalen Abschnitt wurde also bei der Gruppe ohne Lösungsmittel am meisten Sealer in die Lateralkanäle gepresst. Die paarweise Analyse mittels Mann-Whitney-Test sind in Tabelle 2 dargestellt.

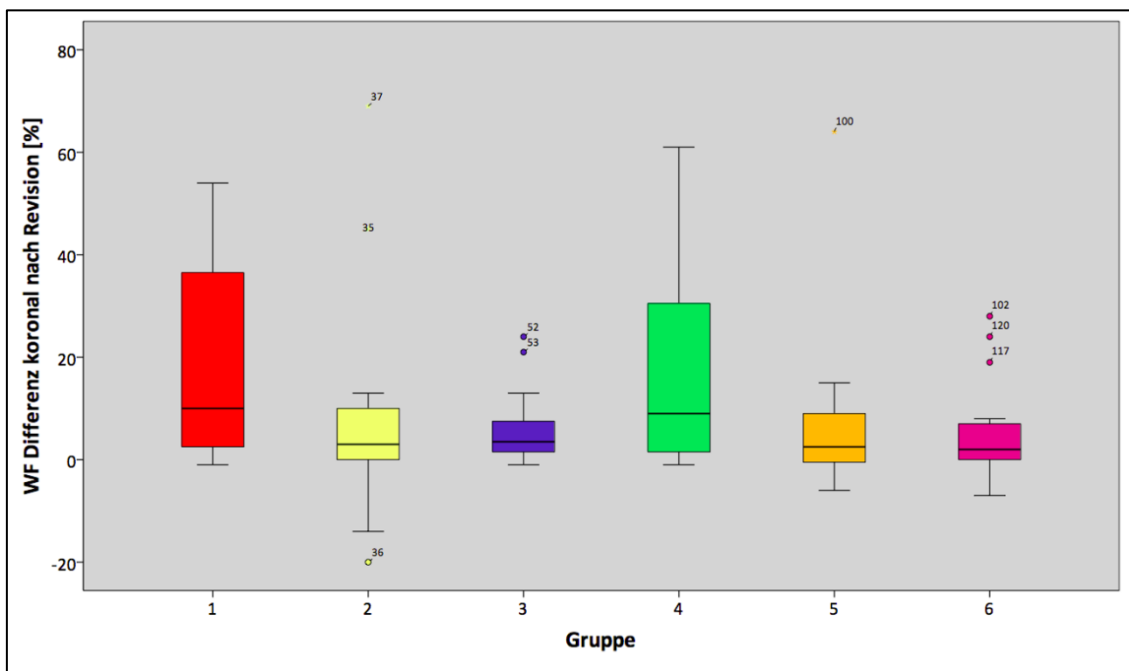


Abbildung 16: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Revision koronal in [%]

4.3 Vergleich der Differenz der ungefüllten Lateralkanalanteile nach der Revision

4.3.1 Apikales Drittel

In den apikalen Lateralkanälen ergaben sich signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,025$). Der paarweise Vergleich der Gruppen mittels Mann-Whitney-Test ergab folgende Werte:

Tabelle 3: Paarvergleich der Gruppen 1 bis 6 (rot = signifikant)

Paarvergleiche (Differenz ungefüllt nach Revision)	Apikal	Mittig	Koronal
1 vs. 2	0,01	0,36	0,09
1 vs. 3	0,04	0,57	0,04
1 vs. 4	0,00	0,10	0,70
1 vs. 5	0,12	0,29	0,03
1 vs. 6	0,78	0,57	0,02
2 vs. 3	0,64	0,86	0,90
2 vs. 4	0,88	0,45	0,16
2 vs. 5	0,21	0,13	0,74
2 vs. 6	0,05	0,11	0,80
3 vs. 4	0,80	0,46	0,09
3 vs. 5	0,57	0,16	0,58
3 vs. 6	0,10	0,31	0,56
4 vs. 5	0,17	0,03	0,06
4 vs. 6	0,04	0,04	0,03
5 vs. 6	0,29	0,70	0,93

Hier unterschieden sich die Gruppen entsprechend der Gruppen bei der Sealerdifferenz. Gruppe 1 (maschinell/trocken) weist demnach die geringste prozentuale Differenz auf. Es ergab sich eine Reduzierung der ungefüllten Lateralkanalanteile entsprechend der Sealerzunahme (+14,50%) um -14,55%. Das Gleiche gilt für Gruppe 2 (manuell/Eukalyptol). Hier wurde die Fläche der ungefüllten Lateralkanalanteile signifikant kleiner -34,5%, entsprechend der Zunahme der Sealerfläche (+35,45%) (Abb. 17 und 14).

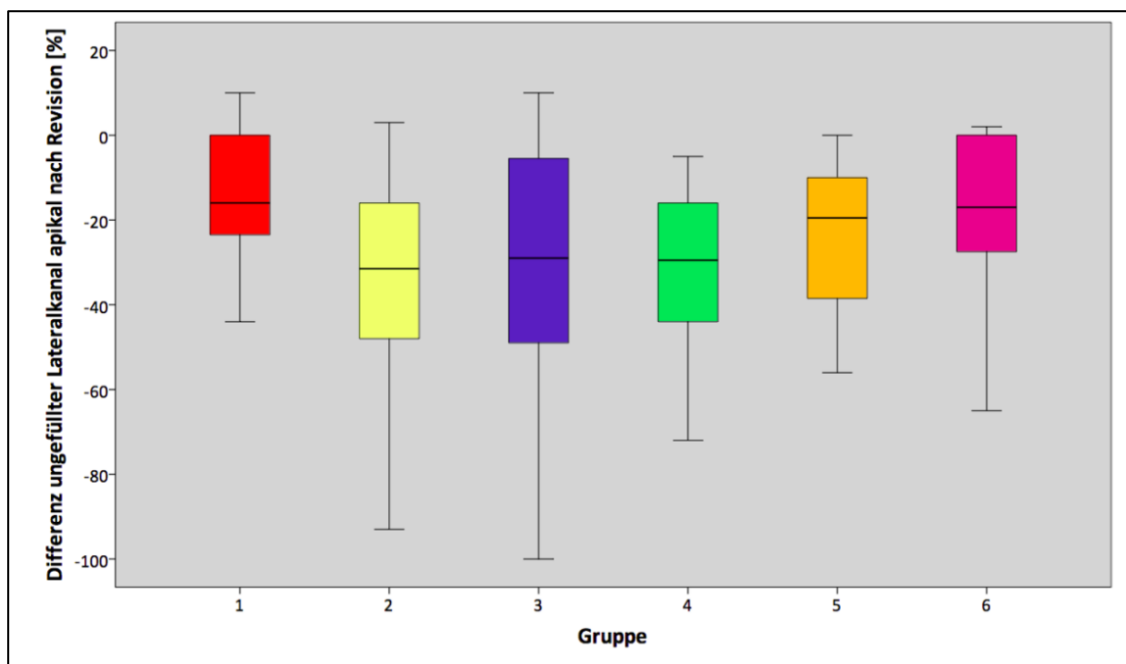


Abbildung 17: Differenz der ungefüllten Kanalanteile nach der Revision apikal [%]

4.3.2 Mittleres Drittel

Im mittleren Abschnitt waren keine signifikanten Unterschiede zu erkennen (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,166$). In allen Gruppen wurden die ungefüllten Lateralkanalanteile kleiner. Die Reduzierung der ungefüllten Lateralkanalflächen entsprechen auch hier den Zunahmen der Sealerflächen (Tab. 7 und 8). Es ergaben sich aber keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen (Tab. 3).

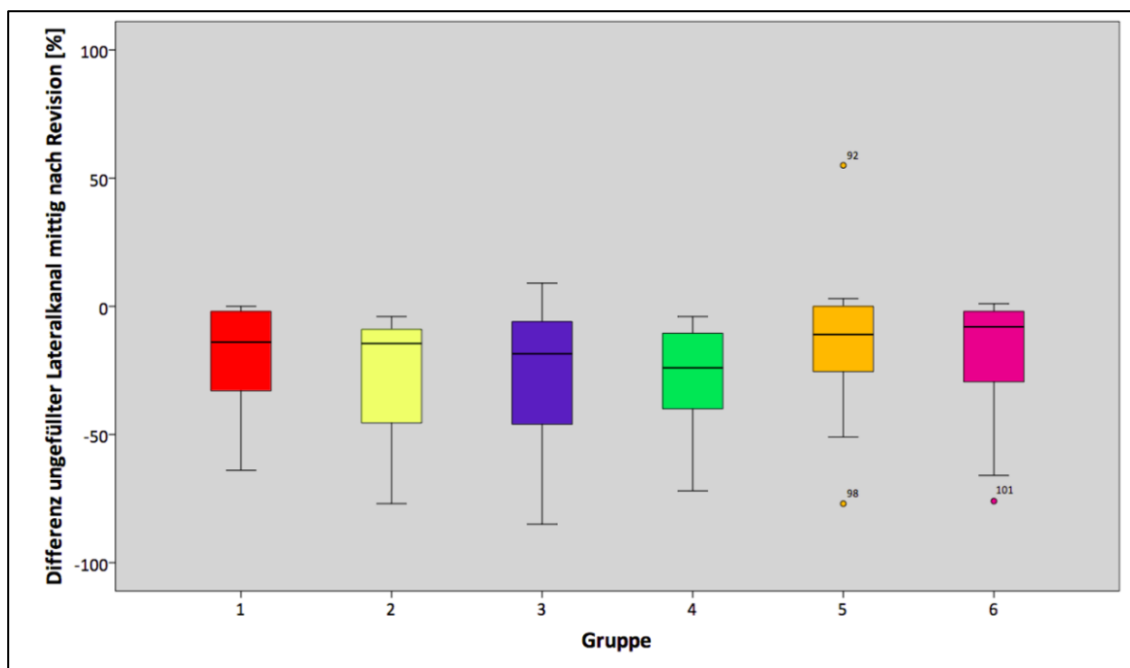


Abbildung 18: Differenz der ungefüllten Kanalanteile nach der Revision mittig [%]

4.3.3 Koronales Drittel

In den koronalen Lateralkanälen ergaben sich wiederum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,059$). Gruppe 1 wies hier die höchsten Werte auf. Im Mittel waren dies $-16,70\%$. Gruppe 3 und 6 wiesen die geringsten Werte auf ($-5,55\%$ und $-5,30\%$). Auch hier entsprechen die Werte den der Sealerzunahme (Abb. 16 und 19). Es erfolgte somit bei allen Gruppen und Kanalabschnitten während der Revision zu einem Hineinpressen und einer Zunahme des Obturationsmaterial in die Lateralkanäle (Tab. 7 und 8).

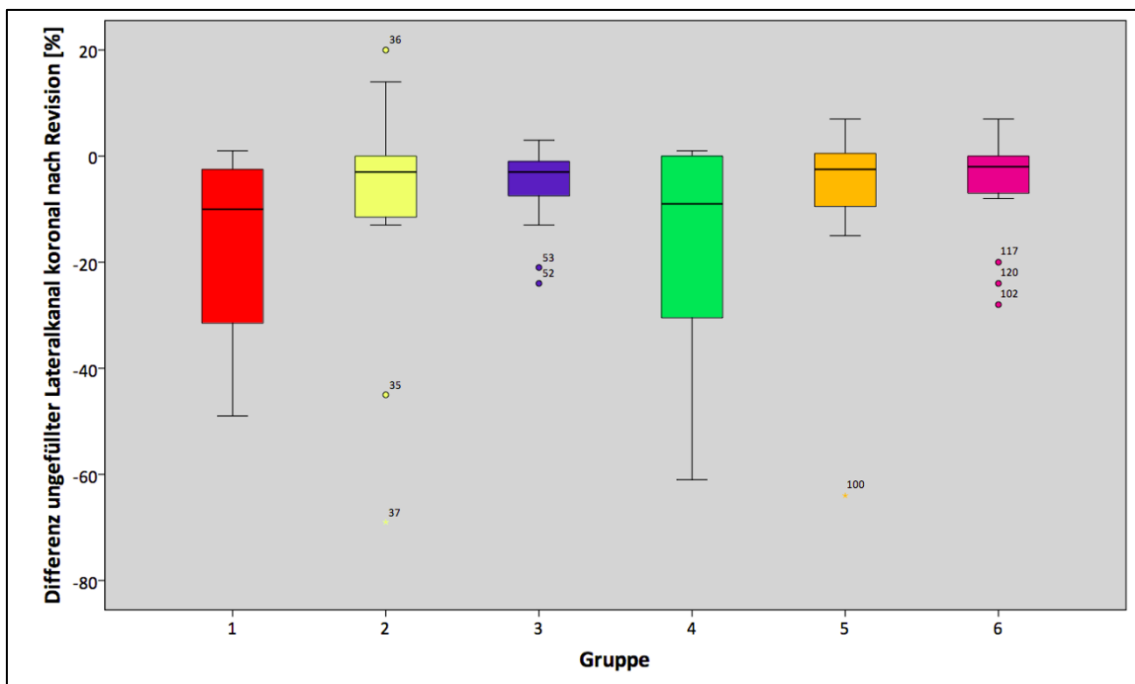


Abbildung 19: Differenz der ungefüllten Kanalanteile nach der Revision koronal [%]

4.4 Vergleich der Sealerdifferenz nach der Aktivierung

4.4.1 Apikales Drittel

Tabelle 4 fasst die statistischen Ergebnisse des Mann-Whitney-Test für den apikalen, mittigen und koronalen Kanalabschnitt zusammen. Es fällt auf, dass keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen vorhanden waren. Keines der Aktivierungsmethoden konnte signifikant mehr Sealer /WF-Material aus den Lateralkanälen ausspülen (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,732$). Alle Aktivierungsmethoden konnten aber Obturationsmaterial aus den Lateralkanälen her-

auslösen (Tab. 9). Gruppe 3 (*CanalBrush*) wies im Mittel eine Reduzierung der Sealerfläche um -10,25% auf. Die geringsten Werte wiesen Gruppe 4 und 6 (Ultraschall *IRRI S* und *EndoActivator*) mit -4,50% und -4,0% auf (Abb. 20).

Tabelle 4: Paarvergleiche der Gruppen 3 bis 6

WF Differenz nach Aktivierung	Apikal	Mittig	Koronal
3 vs. 4	0,31	0,88	0,82
3 vs. 5	0,74	0,68	0,72
3 vs. 6	0,66	0,68	0,66
4 vs. 5	0,62	0,55	0,66
4 vs. 6	0,36	0,50	0,36
5 vs. 6	0,99	0,15	0,17

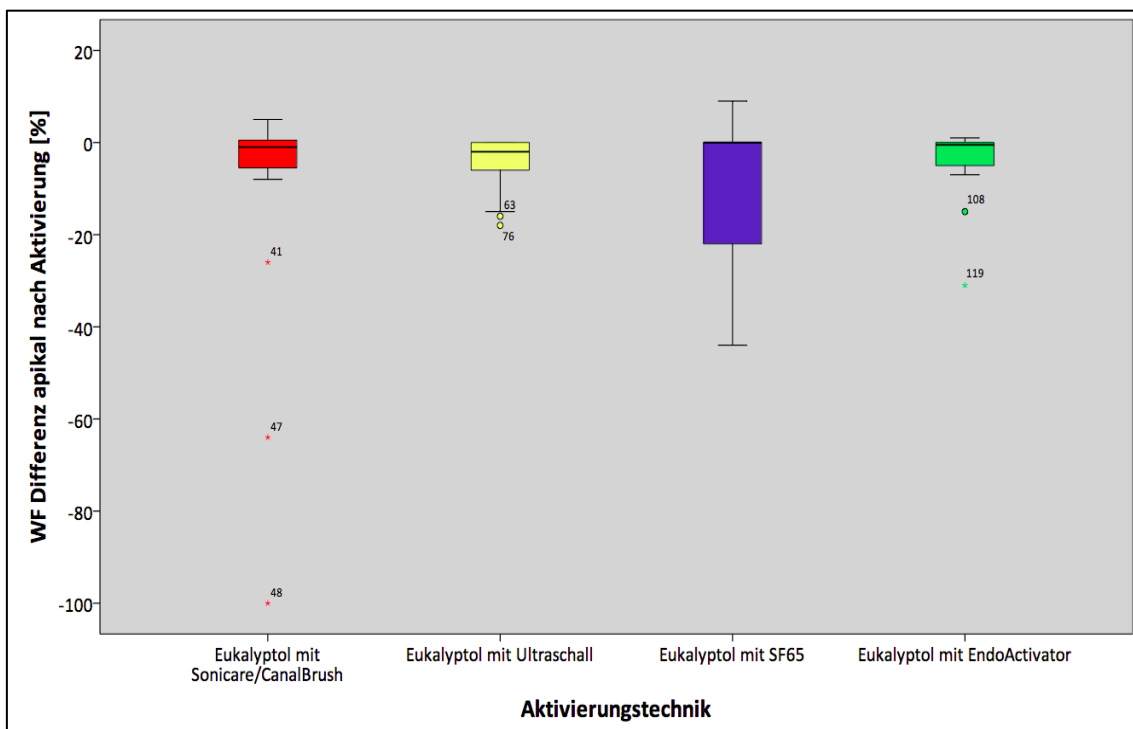


Abbildung 20: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Aktivierung apikal [%]

4.4.2 Mittleres Drittel

Auch im mittleren Kanaldrittel waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen vorhanden (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,640$). Die Werte reichen von -3,85% bei der Gruppe 4 (Ultraschall *IRRI S*) bis -1,80% bei der Gruppe 3 (*CanalBrush*) (Tab.9).

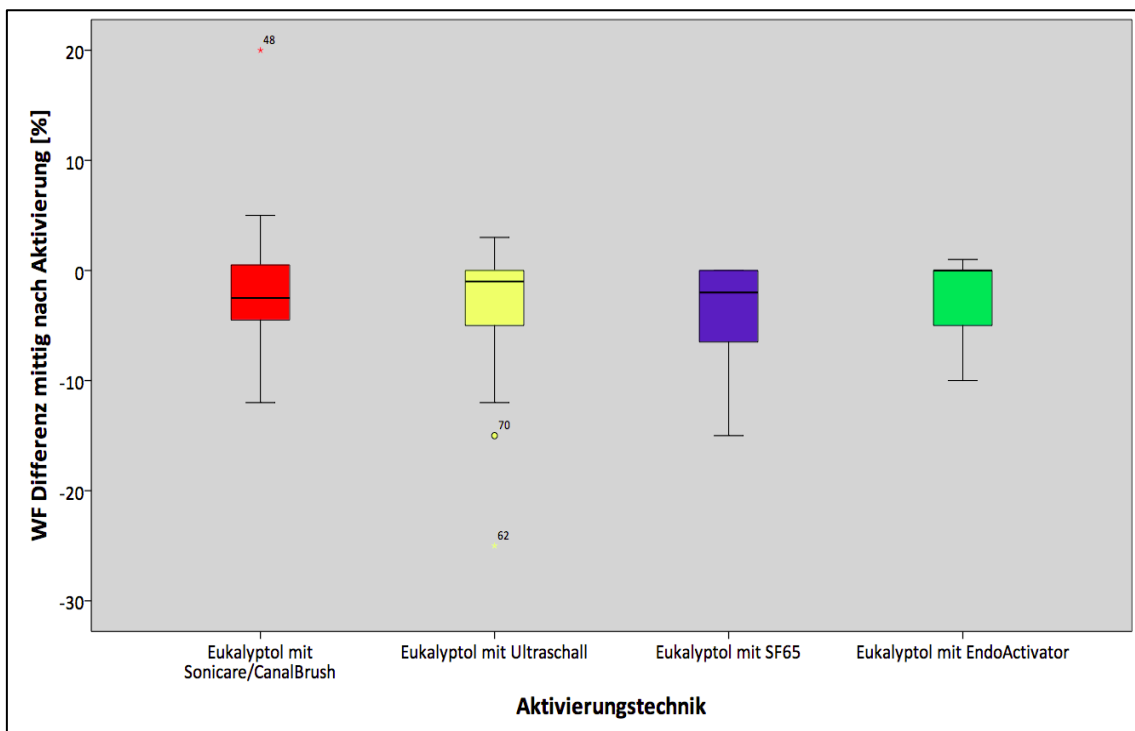


Abbildung 21: : Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Aktivierung mittig [%]

4.4.3 Koronales Drittel

Im koronalen Kanaldrittel waren wiederum keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen vorhanden (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,623$). Die geringsten Werte wies Gruppe 6 (*EndoActivator*) mit -1,55% auf. Bei Gruppe 4 (Ultraschall *IRRI S*) ergaben sich die höchsten Werte mit -2,25% (Tab.9).

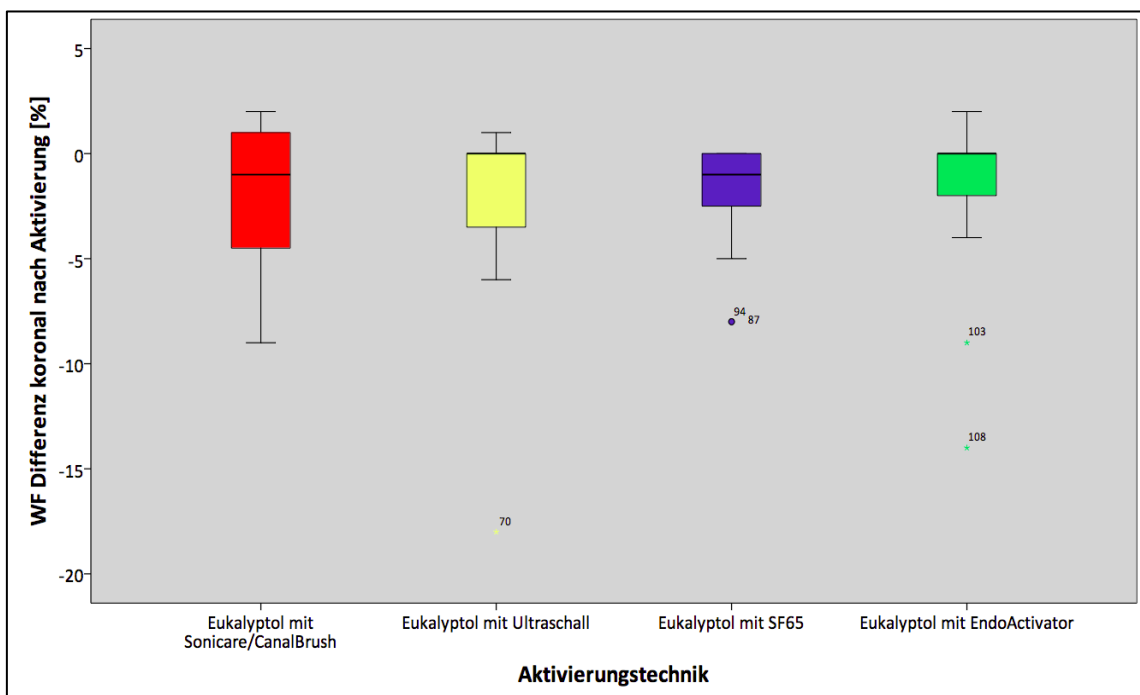


Abbildung 22: : Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Aktivierung koronal [%]

In keinen der Wurzelkanaldritteln waren signifikante Unterschiede zwischen den Gruppen vorhanden (Tab. 4). Jedoch führte die Aktivierung in allen Gruppen zu einer Reduzierung der Sealerfläche, sprich zu einem Herauslösen von Obturationsmaterial aus den Lateralkanälen.

4.5 Vergleich der ungefüllten Lateralkanalanteile nach der Aktivierung

4.5.1 Apikales Drittel

Nach der Aktivierung waren keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen zu erkennen (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,810$). Die Mittelwerte reichten von 9,55% bei der Gruppe 3 (*CanalBrush*) bis 3,90% bei der Gruppe 6 (*EndoActivator*) (Tab. 10). Tabelle 5 fasst die Ergebnisse des Mann-Whitney-Test der Gruppen 3 bis 6 zusammen.

Tabelle 5: Paarvergleiche der Gruppen 3 bis 6: Differenz der ungefüllten Lateralkanalanteile nach Aktivierung [%]

Differenz ungefüllter Lateralkanal nach Aktivierung	Apikal	Mittig	Koronal
3 vs. 4	0,43	0,48	0,99
3 vs. 5	0,70	0,27	0,72
3 vs. 6	0,88	0,82	0,70
4 vs. 5	0,78	0,57	0,45
4 vs. 6	0,36	0,23	0,60
5 vs. 6	0,78	0,05	0,23

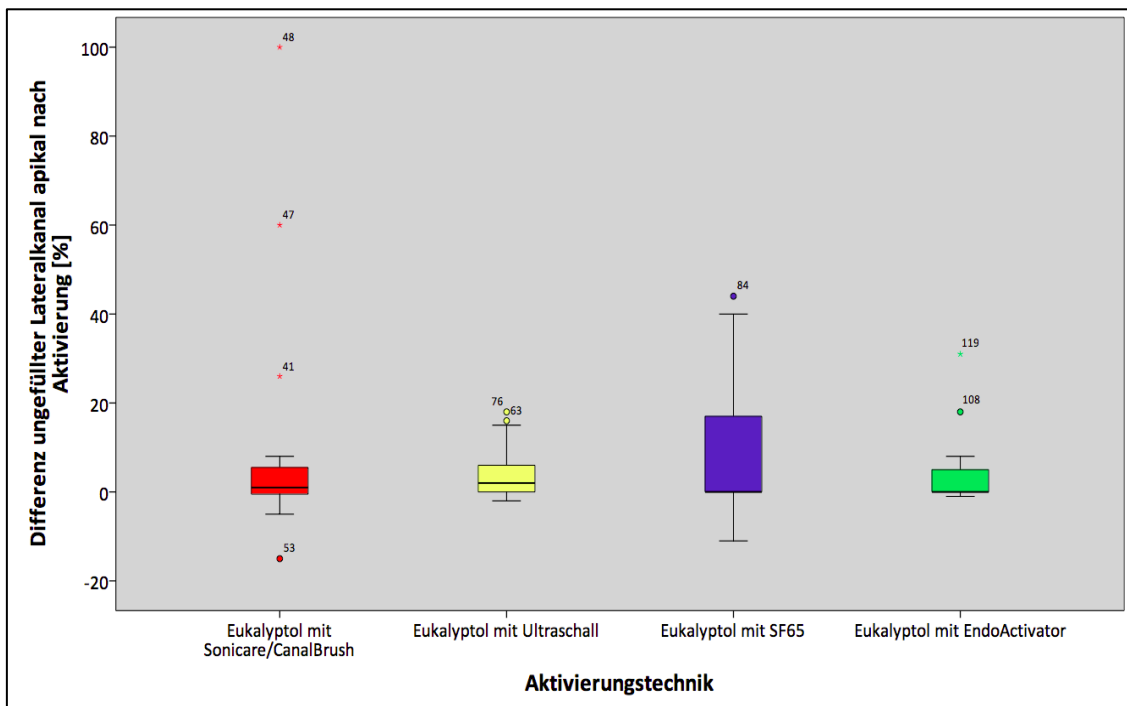


Abbildung 23: Differenz der ungefüllten Lateralkanalanteile nach Aktivierung apikal [%]

4.5.2 Mittleres Drittel

Auch im mittleren Drittel ergaben sich keine signifikanten Unterschiede (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,271$). Der paarweise Vergleich der einzelnen Gruppen ergab auch keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen 3 bis 6 (Tab. 5). Die Mittelwerte reichten von 1,20% Gruppe 3 bis 3,95% bei Gruppe 4 (Tab. 10).

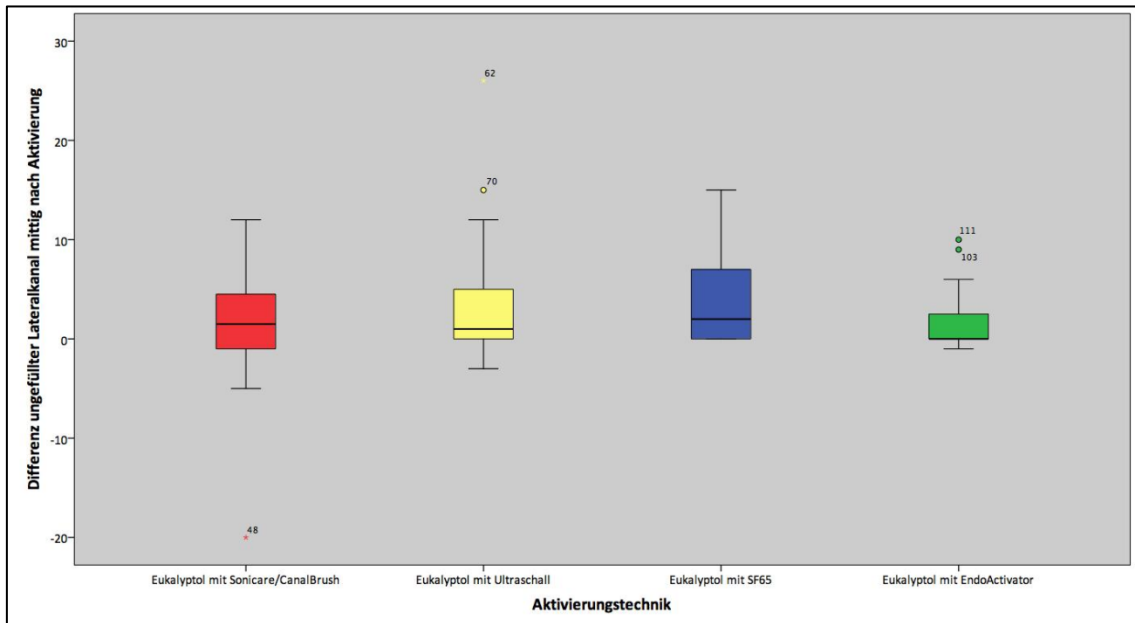


Abbildung 24: Differenz ungefüllter Lateralkanalanteile nach Aktivierung mittig [%]

4.5.3 Koronales Drittel

Nach der Aktivierung ergaben sich auch in den koronalen Lateralkanälen keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen (Kruskal-Wallis-Test: $p=0,708$). Der Paarvergleich mittels Mann-Whitney-Test ist in Tabelle 5 dargestellt. Die Mittelwerte reichten im koronalen Abschnitt von 1,60% bei Gruppe 6 (*EndoActivator*) bis 2,05% bei Gruppe 4 (Ultraschall *IRRI S*). Es zeigten sich keine signifikanten Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen.

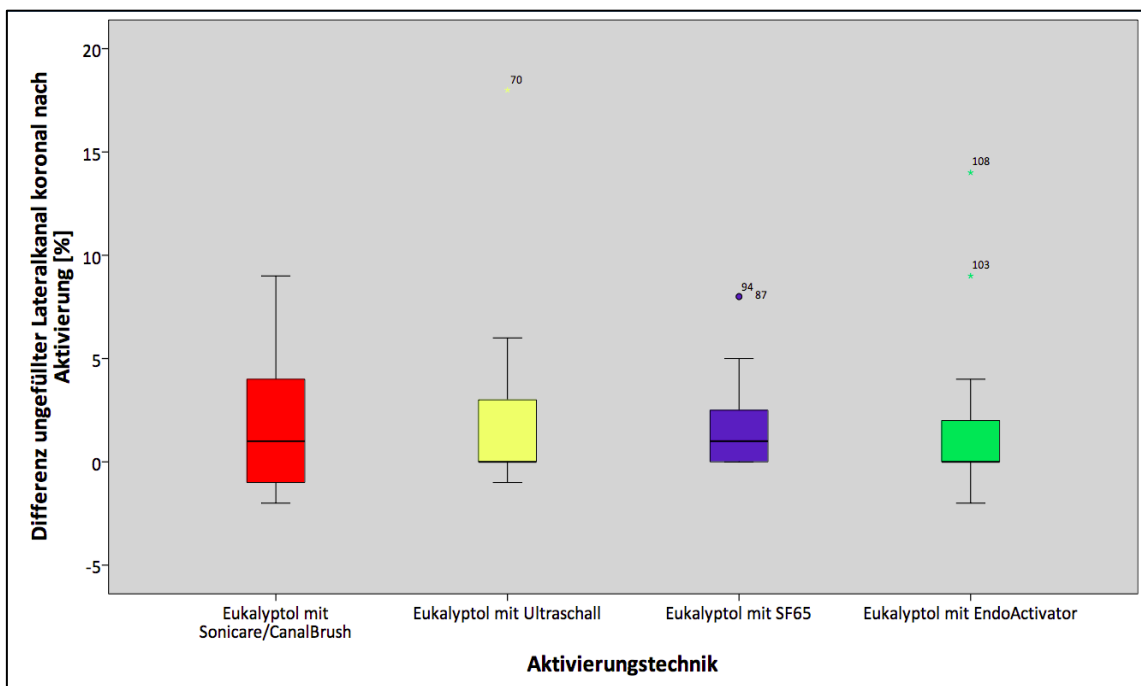


Abbildung 25: Differenz ungefüllter Lateralkanalanteile nach Aktivierung koronal [%]

5 Diskussion

5.1 Diskussion der Methode

Grundbedingung um eine Vergleichbarkeit der einzelnen Gruppen zu ermöglichen war es einheitliche Voraussetzungen zu schaffen. Um die Praxisnähe der Studie zu gewährleisten, fanden ausschließlich gerade, runde, einwurzelige Wurzelkanäle von bleibenden menschlichen Zähnen Verwendung. Diese mussten eine Gängigkeit bis zur apikalen Konstriktion aufweisen, was im Vorfeld mittels Handinstrumenten kontrolliert wurde. Zähne, die ein besonders großes Kanallumen aufwiesen, fanden im Rahmen dieser Studie keine Verwendung. Die Dekapitierung der Zähne ermöglichte es, eine gleiche Arbeitslänge aller Proben zu erhalten. Die Aufbereitung, die Obturation, die Revision, die Aktivierung und die abschließende Auswertung der Proben wurden jeweils von einem einzigen Untersucher durchgeführt. Somit ist gewährleistet, dass untersucherabhängige Fehlerquellen geringgehalten werden und dass die Anzahl möglicher Variablen minimiert werden [58]. An den Wurzeln wurden mithilfe einer Trennscheibe Sollbruchstellen angelegt, um bei der Spaltung zwei kongruente und wieder eindeutig reponierbare Bruchstücke zu erhalten. Somit wurde ein zu breiter Sägespalt und eine ungewollte, fehlerhafte Reponierung der Wurzelhälften verhindert. Mögliche Undichtigkeiten nach der Reponierung verhinderte die Verwendung von Komposit, welches adhäsiv im Bereich des Sägespalts appliziert wurde. Somit wurde auch ein Auseinanderbrechen der Bruchstücke bei der Revision verhindert, da diese sehr stabil miteinander fixiert waren. Analog zur Verwendung praxisüblicher Spülvolumina wurden in dieser Studie auch Einwirk- und Aktivierungszeiten praxisnah gewählt. Mit der Standardisierung der Parameter Spülflüssigkeit, Einwirkzeit und Aktivierungsdauer wurde bewirkt, dass diese als Einflussfaktoren bei dieser Studie ausschieden.

In dieser Studie wurde Eukalyptusöl dem Lösungsmittel Chloroform vorgezogen. Chloroform, was hinsichtlich der Erweichung der Wurzelkanalfüllmaterialien, als effizienteres Lösungsmittel gilt, wurde wegen seiner potenziellen Kanzerogenität nicht verwendet [64]. Chloroform wird deswegen in Europa nicht als Lösungsmittel empfohlen und hätte somit auch eine geringere klinische Relevanz. Als Revisionsinstrument wurden die *Mtwo* Revisionsfeilen benutzt, welche

ein aktives Schneidedesign besitzen und somit auch für Revisionen ohne Lösungsmittel geeignet sind. Somit wird eine leichtere Penetration der Guttapercha auch im apikalen Bereich ermöglicht. Die Wurzelkanäle wurden bis ISO 70 revidiert, das entspricht eine Erweiterung des Kanals um 2 Größen (AMF ISO 60). Diverse Studien belegten eine höhere Revisionseffizienz nach Instrumentierung mit Revisionsfeilen, welche die ISO-Größe der AMF überschritten. Es wurde gezeigt, dass die Revision um mindestens zwei Instrumentengrößen über die apikale Masterfeile der vorangegangenen Aufbereitungsgröße erfolgen sollte, um im Rahmen der Revision ein Minimum an Wurzelkanalfüllmaterialresten auf der Kanaloberfläche zurück zulassen [58,27].

Duarte und Schirrmeister et al. stellten bei ihren Ergebnissen fest, welche sie sowohl radiologisch als auch mikroskopisch auswerteten, dass die mikroskopische Analyse effektiver in der Auswertung von Wurzelfüllungsresten ist als die radiologische [16,68]. Dies war aber in dieser Studie nicht möglich da man mit dem Mikroskop keine Einsicht in die Lateralkanäle bekommt. Eine andere Methode stellt das Mikro-CT-Verfahren dar. Die Beurteilung der obturierten, revidierten sowie aktivierten Lateralkanäle anhand von 3D-Darstellungen durch das Mikro-CT ist aber im Vergleich zum Röntgen sehr zeitaufwändig und kostenintensiv [26,58]. Bei den hochauflösenden Mikro- oder Nano-CTs kommt es außerdem zu langwierigen Scanzeiten und zu nicht mehr regulär praktikablen Dateigrößen. Außerdem lassen sich mit dem Mikro-CT nur kleine Proben mit hoher Auflösung scannen. Somit war dieses Verfahren für diese Studie eher ungeeignet. Das konventionelle Röntgen als nicht destruktive Methode stellt hiermit einen guten Kompromiss zwischen Preis, Zeit und Praktikabilität dar. Um das Auflösungsvermögen der Röntgenbilder zu erhöhen und somit auch die Messgenauigkeit zu erhöhen wurden die Bilder mit *PhotoZoom Pro 5* (Franzis Verlag) um 500% vergrößert (von 560 x 414 auf 2800 x 2080 Pixel).

Zu den am weitesten verbreiteten Wurzelkanalfüllmaterialien gehören heute Guttapercha, in der Kombination mit einem Wurzelkanalsealer. Als Sealer wurde hier ein auf Epoxidharz basierender Sealer (*AH Plus*) verwendet, da dieser als Goldstandard in der Wurzelkanalfülltherapie zählt [15]. Diese Materialien werden auch in Zukunft eine wichtige Rolle in der Revision wurzelkanalbehandelter Zähne spielen. Abgefüllt wurde mit der Einstifttechnik, welche in runden

Kanälen zu einer gleichmäßigen Sealerschicht und zu einer guten Adaption des Guttaperchastiftes im gesamten Wurzelkanal führt [37]. Die laterale Kompaktion wäre für diesen Versuch nicht notwendig und sinnvoll gewesen, da sie die Revision nur unnötig erschwert hätte. Da die Einstifttechnik in der Praxis eine oft verwendete Methode ist, besitzt sie eine hohe klinische Relevanz.

Ein Grund für die hohen residualen Sealeranteile könnte sein, dass *AH Plus* im Gegensatz zu manchen anderen Wurzelkanalfüllpasten anstelle einer Schrumpfung eine leichte Expansion aufweist, wodurch die Wandständigkeit der Wurzelkanalfüllung ermöglicht wird [17]. Diese Tatsache ist ein zusätzlicher Faktor dafür, dass sich das Material schwerer von der Wurzelkanaloberfläche sowie Lateralkanälen entfernen lässt.

5.2 Diskussion der Ergebnisse

5.2.1 Prüfung der Arbeitshypothesen

Arbeitshypothese 1:

"Der Einsatz von Eukalyptusöl im Rahmen der endodontischen Revision beeinflusst den Füllungsgrad ungefüllter peripherer Lateralkanalanteile stärker als die Revision ohne den Einsatz eines Lösungsmittels".

Bei der statistischen Auswertung verdeutlichte sich, dass bei der Revision ohne Einsatz von Lösungsmittel (Gruppe 1) im apikalen Wurzel Drittel signifikant weniger Sealer/ Obturationsmaterial in die Lateralkanäle hineingepresst wurde, als in den Gruppen mit Einsatz von Lösungsmittel (Gruppen 2 bis 6). Signifikant mehr Obturationsmaterial wurde bei der Revision mit Handinstrumenten und mit dem Einsatz von Lösungsmittel (Gruppe 2) als in allen anderen Gruppen hineingepresst. Im mittleren Wurzel Drittel ergaben sich keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Hineinpressens von Obturationsmaterial in die Lateralkanäle zwischen den einzelnen Gruppen. Gruppe 1 (ohne Lösungsmittel) wies im Mittel geringere Differenzen auf (+19,90%) als die Gruppen 2 bis 6 (mit Lösungsmittel) (+22,51%). Es wurde somit tendenziell mehr Material bei dem Ein-

satz von Lösungsmittel in die Lateralkanäle hineingepresst als ohne. Diese waren jedoch nicht signifikant. Im Gegensatz zum apikalen Wurzel Drittel, wo mehr Obturationsmaterial mit Einsatz von Lösungsmittel hineingepresst wurde, zeigten sich im koronalen Wurzel Drittel signifikant höhere Werte bei der Gruppe 1, also ohne Einsatz von Lösungsmittel, als bei allen anderen Gruppen. Mit Ausnahme vom koronalen Wurzel Drittel wurde mehr Obturationsmaterial in die peripheren Lateralkanalanteile hineingepresst mit dem Einsatz von Eukalyptusöl als ohne Einsatz von Eukalyptusöl.

Diese Hypothese wird **angenommen**.

Arbeitshypothese 2:

"Die Aktivierung von Eukalyptusöl im Rahmen der endodontischen Revision reduziert den Anteil von Obturationsmaterial in den zentralen Lateralkanalanteilen".

In keinem der 3 Wurzelkanalabschnitte kam es zu signifikanten Unterschieden zwischen den einzelnen Gruppen. Im apikalen Drittel wies die Gruppe 3 (*Sonicare* mit *CanalBrush*) mit -10,25% im Mittel den höchsten Wert auf, hat also am effektivsten Obturationsmaterial aus den Lateralkanälen herausgelöst. Die geringsten Werte wiesen Gruppe 4 und 6 (Ultraschall und *EndoActivator*) mit -4,50% und -4,0% auf. Im mittleren Drittel wies die Ultraschallaktivierung im Mittel die höchsten Werte mit -3,85% (Gruppe 4: *US*) auf. Die Aktivierung mit der *CanalBrush* ergaben die niedrigsten Werte mit -1,80%. Koronal reichten die Werte von -1,60% bei Gruppe 6 (*EA*) bis -2,05% bei Gruppe 4 (*US*). Festzuhalten ist demnach, dass alle Aktivierungstechniken in allen 3 Wurzel Dritteln eine gewisse Reinigungseffizienz aufweisen. Die Gruppen unterschieden sich jedoch nicht signifikant voneinander. Insgesamt waren die verschiedenen Aktivierungsmethoden im apikalen Wurzel Drittel im Mittel effizienter (-6,91%) als im mittleren und koronalen Wurzel Drittel (-1,93% / -2,87%).

Diese Hypothese wird **angenommen**.

Arbeitshypothese 3:

"Der Einsatz von Eukalyptusöl reduziert die erforderliche Revisionszeit deutlich".

Bei der Revision ergaben sich signifikant unterschiedliche Zeiten bis zum vollständigen Entfernen des Wurzelfüllmaterials. Die maschinelle Revision mit dem Einsatz von Lösungsmittel (Gruppe 3 bis 6) erwies sich am effektivsten und hatte signifikant kürzere Revisionszeiten als die anderen Gruppen (3,2 min). Die maschinelle Revision ohne den Einsatz von Lösungsmittel (Gruppe 1) benötigte im Mittel 4,48 min, hatte also längere Revisionszeiten als mit Lösungsmittel. Dennoch ergaben sich signifikant kürzere Revisionszeiten als bei der manuellen Revision mit Lösungsmittel (Gruppe 2) (10,2 min). Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die maschinellen Methoden den manuellen überlegen sind und dass der Einsatz von Lösungsmittel zu einer schnelleren Revision beiträgt. Diese Ergebnisse decken sie mit denen von Takahashi, welche auch eine signifikante Zeitersparnis mit maschinellen Systemen gegenüber Handfeilen beschreiben [78].

Diese Hypothese wird **angenommen**.

5.2.2 Reinigungswirkung der *CanalBrush*

Die Reinigungswirkung durch Aktivierung mit der *Sonicare* mit *CanalBrush* war im apikalen Drittel nicht signifikant, aber tendenziell den anderen Gruppen überlegen. Dies kann mit einer höheren Auslenkung der *CanalBrush* an der Bürstchenspitze erklärt werden, wodurch mehr Kontakt an den Kanalwänden durch die Borstenhaare entsteht. In einer Studie von Salman et al. (2010) wurde die *Sonicare* hinsichtlich ihrer Eignung für den aktivierten Einsatz der *CanalBrush* im Rahmen des Debridements der Wurzelkanaloberflächen untersucht. Es konnten signifikant sauberere apikale Kanaldrittelle erreicht werden [62]. In einer anderen Studie wurde die Entfernung von Calciumhydroxid in den Gruben untersucht. Die *CanalBrush* reinigte die apikalen Gruben signifikant besser als die Handspülung und *RinsEndo* [79]. Lediglich die Aktivierung mit Ultraschall war der *CanalBrush* überlegen. Insgesamt wurde mit der *CanalBrush* eine höhere

Sauberkeit in den apikalen Gruben erreicht als in den koronalen. Auch in der vorliegenden Studie wies die *CanalBrush* apikal eine tendenziell höhere Reinigungswirkung auf, als koronal beziehungsweise mittig. Es wurden während der Aktivierung mit der *CanalBrush* keinerlei Frakturen des Bürstchens oder Frakturen der lateralen Borstenhaare beobachtet. Das hier verwendete Polypropylen ist nicht röntgenopak, das heißt im Falle einer Fraktur von lateralen Borstenhaaren werden diese im Röntgenbild nicht sichtbar werden. In dieser Studie kam es lediglich zu geringfügigen Deformationen der lateralen Borsten. Eine sichtbare Deformation des Bürstchens war nicht zu erkennen, was eventuell auf die geraden und weitleumigen (ISO 70) Wurzelkanälen zurückzuführen ist. In gekrümmten oder weniger weit präparierten Wurzelkanälen könnte die Gefahr der Fraktur einzelner Borstenhaare, aufgrund der stärkeren Friktion, höher sein. Ein Entfernen dieser Fragmente könnte auch unter Anwendung eines OP-Mikroskops schwierig sein. Dennoch dürfte die Zähigkeit des verwendeten Material Polypropylen eine Fraktur von Bürstchenbestandteilen verhindern.

5.2.3 Reinigungswirkung der Ultraschallaktivierung mit *IRRI S*

In den mittleren und koronalen Wurzel Dritteln erreichte die passive Ultraschallaktivierung mittels *IRRI S* die besten Werte. Sie war allen anderen Gruppen (*CanalBrush*, *SF 65*, *EndoActivator*) tendenziell aber nicht signifikant überlegen. Im apikalen Drittel war sie vergleichbar mit dem *EndoActivator* tendenziell den anderen Gruppen unterlegen. In verschiedenen Studien wurde die Reinigungswirkung der passiven Ultraschallaktivierung in Bezug auf die Entfernung von Dentindebris, des Smear layers oder von Calciumhydroxid untersucht. In den meisten Fällen führte die Aktivierung von Natriumhypochlorit oder EDTA zu besseren Ergebnissen als die Handspülung [60]. De Gregorio et al. (2009) untersuchten die Eindringtiefe der Spüllösung Natriumhypochlorits in simulierte Seitenkanälchen und zeigten, dass sowohl Schall als auch Ultraschall besser reinigen als die dynamische Handspülung [24]. Bei der Aktivierung mit Ultraschall wird die Energie auf das Spülmedium übertragen und als Schallwellen weitergeleitet. Es entstehen akustische Mikroströmungen und Kavitationen, durch welche die Reinigungswirkung verbessert wird [59]. In dieser Studie wur-

de untersucht, ob die verbesserte Reinigungswirkung auch in Bezug auf verbliebenes Sealer oder Obturationsmaterial in lateralen Kanälen gilt. Als Spülmedium wurde bewusst Eukalyptusöl verwendet, welches sich gut eignet Obturationsmaterial anzulösen [64]. Trotz der konsensuell guten Reinigungsleistung der passiven Ultraschallspülung (PUI), fiel diese in der vorliegenden Studie insgesamt relativ gering aus. Es war nur möglich einen geringen Anteil der Wurzelfüllreste wieder aus den Lateralkanälen herauszulösen. Die Reinigungswirkung nahm in dieser Studie von koronal nach apikal ab. Dies steht im Widerspruch zu der Tatsache, dass die Auslenkung der Feile und somit die Entstehung von Mikroströmungen und Kavitationen an der Spitze am größten ist [92]. Bei weitulmigen Kanälen oder weit aufbereiteten Kanälen ist die Gefahr, Kontakt mit der Kanalwand zu bekommen geringer und somit das Risiko von Stufenbildung oder gar Perforationen niedriger.

5.2.4 Reinigungswirkung der Schallaktivierung mit *SF 65*

Die Schallaktivierung mit der Schallspitze *SF 65* zeigte im apikalen Wurzel Drittel eine tendenziell bessere Reinigungsleistung als der *EndoActivator* und die ultraschallaktivierte Spülung. Lediglich die *CanalBrush* reinigte im apikalen Wurzel Drittel tendenziell besser als die *SF 65*. Im mittleren Drittel zeigte nur die Ultraschallaktivierung tendenziell bessere Ergebnisse als die *SF 65*. Im koronalen Abschnitt war sie jedoch nur dem *EndoActivator* überlegen. Die Ergebnisse waren wieder nicht signifikant. Jedoch zeigen im koronalen Wurzel Drittel die schallaktivierte Methoden *SF 65* sowie der *EndoActivator* eine tendenziell schlechtere Reinigung als alle anderen Methoden. Dies kann mit einem geringeren acoustic streaming, also einer geringeren Strömung begründet werden. Die Schallaktivierung ist somit weniger effektiv, da es sich um eine niedrigere Schwingungsfrequenz mit weniger Energie handelt [87].

5.2.5 Reinigungswirkung des *EndoActivator*

Der *EndoActivator* reinigte im koronalen und apikalen Wurzeldrittel nicht signifikant, aber tendenziell schlechter als alle anderen Gruppen. Das widerspricht den Ergebnissen von Rödiger et al. 2010, wonach der *EndoActivator* koronal signifikant besser reinigte als Ultraschall und *CanalBrush* [56]. Allerdings gilt das in Bezug auf die Entfernung von Debris und Smear layer in gekrümmten Wurzelkanälen [56]. In einer Studie von Jiang et al. 2010 wurde versucht, die bessere Reinigungswirkung in den koronalen Anteilen zu erklären [33]. Die Auslenkung des *Activator-Tip* an der Spitze beträgt demnach ungefähr einen Millimeter, während der Durchmesser des Wurzelkanals apikal nur etwa $< 0,5$ mm beträgt. Das bedeutet, dass es apikal zu einem Wandkontakt des *Activator-Tips* kommt und somit die freie Schwingung der Spitze und damit die Aktivierung der Spüllösung reduziert wird. Des Weiteren konnte weder ein Kavitationseffekt an dem *Activator-Tip*, noch an der Kanalwand festgestellt werden. Dies könnte eine Erklärung der schlechteren Reinigungswirkung gegenüber der Ultraschallaktivierung sein [33]. In dieser Studie schaffte es der *EndoActivator*, in allen Kanaldritteln Obturationsmaterial aus den Lateralkanälen herauszulösen, auch wenn dies sehr gering ausfiel. Tendenziell war er in allen Kanaldritteln der Ultraschallaktivierung unterlegen. Allerdings löste er im Mittel mehr Obturationsmaterial apikal als koronal aus den Seitenkanälchen heraus. Aufgrund der Materialeigenschaft des *Activator-Tips*, welcher aus Polymer besteht, ist die Gefahr von Perforationen, Stufenbildung oder Abtrag von Dentin von der Wurzelkanaloberfläche nicht gegeben. Auch Frakturen der Spitze wurden bisher noch nicht beobachtet. Sollte die Spitze trotzdem im Kanal frakturieren, wäre sie röntgenologisch nicht darstellbar.

5.3 Schlussfolgerung

Bei der endodontischen Revision ist es notwendig, möglichst vollständig das alte Wurzelfüllmaterial aus dem Kanal zu entfernen. Das gilt auch für Material in Lateralkanälen. Problem ist, dass persistente Keime, etwa bei einer koronalen Leakage, das gesamte Wurzelkanalsystem inklusive der Lateralkanäle kontaminieren können. Damit ist eine bloße Revision des Hauptkanals zu wenig und es könnte zu persistenten Beschwerden auch nach einer Reobturation kommen. Dies könnte klinisch oder röntgenologisch durch laterale Knochenläsionen, Taschen oder Fisteln sowie gegebenenfalls auch durch persistente Beschwerden manifest werden.

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse dieser Studie, dass keine der getesteten Aktivierungsmethoden eine vollständige Reinigung der Lateralkanäle ermöglichte.

6 Zusammenfassung

6.1 Hintergrund und Ziel

Die Endodontie stellt einen wichtigen Bestandteil der konservierenden Zahnmedizin dar. Dabei spielen die gewissenhafte mechanische Aufbereitung, das Spülen des Wurzelkanalsystems, sowie die Wurzelkanalfüllung eine entscheidende Rolle für die Überlebensdauer des Zahnes. Kommt es zum endodontischen Misserfolg aufgrund der Nichtbeachtung dieser Maßnahmen, ist die Revision der Wurzelfüllung die Therapie der Wahl. Ziel dabei ist, die alte Wurzelkanalfüllung möglichst vollständig zu entfernen. Misserfolge bei der Revision sind oftmals auf verbliebene Mikroorganismen in Dentintubuli oder Lateralkanälen zurückzuführen. Verbliebenes Wurzelfüllmaterial aus Ausbuchtungen, Dentintubuli sowie Seiten- oder Lateralkanälen ist aber auf konventionellem Wege mit maschinellen Revisionsinstrumenten alleine nicht zu entfernen. Hier können aktivierte Instrumente eine zusätzliche Option darstellen.

Ziel war herauszufinden, ob die Entfernung von Wurzelkanalfüllungen mit oder ohne Lösungsmittel zu Unterschieden hinsichtlich des Hineinpressens von Obturationsmaterial in die simulierten Lateralkanäle führt.

6.2 Material und Methode

60 extrahierte, humane Zähne mit geradem Wurzelverlauf wurden gereinigt und radiologisch auf die gewünschte Kanalanatomie kontrolliert. Die Kanallänge wurde mit einer ISO 15 Feile ermittelt. Dabei wurde die Feile in den Kanal eingeführt bis die Spitze der Feile am Foramen apicale sichtbar war. Die Wurzeln wurden so auf eine Länge von 13 mm gekürzt. Die Arbeitslänge betrug somit 12 mm. Die Kanäle wurden anschließend mit Hilfe des *BioRace* Aufbereitungssystems bis .04/#40 auf die festgelegte Arbeitslänge aufbereitet. Anschließend wurden sie mit *FlexMaster* NiTi-Feilen vollrotierend schrittweise über .02/#50 bis .02/#60 maschinell erweitert. Nach abschließender Spülung und Trocknung wurden die Zähne mittels Diamantscheibe longitudinal gespalten. Die simulierten Lateralkanäle wurden mit einem Fissurenbohrer bei 3, 6 und 9 mm vom Apex aus gebohrt. Anschließend erfolgte die randomisierte Aufteilung der Pro-

ben auf 6 Gruppen (n=10). Im Bereich der Längsbohrungen wurde mit einem Self-Etch-Adhäsiv konditioniert und mit einem lichthärtenden Komposit die Wurzelhälften miteinander verbunden und fixiert.

Die Wurzelfüllung wurde bei allen Gruppen identisch durchgeführt. Mit Gutta-perchapoints ISO 60 und dem Sealer *AH Plus* wurde nach der Einstifttechnik gefüllt und die Wurzeln einzeln geröntgt. Die Proben wurden anschließend eine Woche bei 100% Luftfeuchtigkeit und 37° C gelagert.

Bei der Revision wurden die Proben in folgende Gruppen aufgeteilt:

- Gruppe 1: Revision maschinell ohne Lösungsmittel
- Gruppe 2: Revision manuell mit Handinstrumenten und Lösungsmittel
- Gruppen 3 bis 6: Revision maschinell mit Lösungsmittel

Als Lösungsmittel diente Eukalyptusöl, welches 2 min Einwirkzeit bekam. Die maschinellen Revisionen wurden mit einer *Mtwo* Retreatment-Feile ISO 25 durchgeführt und anschließend mit *FlexMaster* Ni-Ti-Feilen bis ISO 70 erweitert. Die manuellen Revisionen wurden mit Handinstrumenten K-Feile, Hedströmfeilen bis ISO 70 erweitert. Bei jeder Probe wurde die Revisionszeit notiert. Nach abschließender Spülung und Trocknung wurden die Wurzeln wieder geröntgt.

Das Eukalyptusöl wurde in den **Gruppen 3 bis 6** in einem nächsten Schritt zusätzlich noch wie folgt aktiviert.

- **Gruppe 3:** schallaktiviert mittels *Sonicare* und *CanalBrush*
- **Gruppe 4:** ultraschallaktiviert mittels *EndoPilot/Satelec Newtron* und *IRRI S*
- **Gruppe 5:** schallaktiviert mittels *SonicSys*-Handstück und *SF 65* Spitze
- **Gruppe 6:** schallaktiviert mittels *EndoActivator* und *Activator-Tips*

Dabei bekam das Eukalyptusöl wieder eine Einwirkzeit von 2 Minuten und anschließend wurde mit der jeweiligen Methode 2 Minuten aktiviert. Nach abschließender Spülung und Trocknung wurden die Proben erneut einzeln geröntgt. Die Auswertung wurde anhand der Röntgenbilder mit dem Bildbearbeitungsprogramm *Leica Qwin* vorgenommen. Vorher wurden mit Photoshop die einzelnen Proben (nach WF, nach Revision und nach Aktivierung) deckungsgleich gelegt um die Penetrationstiefe des Sealers nach jedem Arbeitsschritt

beurteilen zu können. Die statistische Auswertung erfolgte mit dem Statistikprogramm *SPSS Win 19.0* (Firma IBM, Armonk, NY, USA).

6.3 Ergebnisse

Im apikalen Wurzeldrittel wurde bei der Revision des Wurzelfüllmaterials signifikant weniger Obturationsmaterial in die Lateralkanäle gepresst ohne den Einsatz von Lösungsmittel (Gruppe 1) als bei allen anderen Gruppen. Bei den Gruppen 2 bis 6, welche alle mit Lösungsmittel revidiert worden sind, wurde bei Gruppe 2, welche mit Handinstrumenten und mit Einsatz von Lösungsmittel revidiert worden ist, am meisten WF-Material in die Lateralkanäle hineingepresst. Im mittleren Kanaldrittel wurde in Gruppe 1 (ohne Lösungsmittel) nicht signifikant, aber tendenziell weniger WF-Material in die Lateralkanäle hineingepresst. Anders als im apikalen Drittel, wurde im koronalen Drittel signifikant mehr WF-Material hineingepresst ohne den Einsatz von Lösungsmittel (Gruppe 1).

6.4 Schlussfolgerung

Bezüglich der Revisionszeiten kann man zusammenfassen, dass die maschinelle Revision signifikant geringere Revisionsdauer aufwies als die manuelle. Der Einsatz von Lösungsmittel trägt zu einer schnelleren Revision bei. Trotzdem war die maschinelle Revision ohne Lösungsmittel der manuellen Revision mit Lösungsmittel signifikant überlegen. Bei der Aktivierung des Lösungsmittels war keine Methode der anderen signifikant, hinsichtlich des Herausspülens von WF-Material aus den Lateralkanälen, überlegen. Alle Gruppen wiesen jedoch eine gewisse Reinigungseffizienz auf. Die US-Aktivierung war im mittleren und koronalen Drittel den anderen Methoden tendenziell überlegen. Im apikalen Drittel war die *CanalBrush* tendenziell den anderen Methoden überlegen.

7 Summary

7.1 Background and Aim

Endodontics is an important discipline of conservative dentistry. The conscientious mechanical treatment, the rinsing of the root canal system and the root canal filling play a decisive role for the survival period of the tooth. In case of endodontic failure due to non-compliance with these measures, the retreatment of the root filling is the treatment of choice. The aim is to remove the root canal filling as completely as possible. Failures in the retreatment are often due to remaining microorganisms in dentin tubules or lateral canals. However, residual root filling material from bulges, dentinal tubules, and lateral canals cannot be removed by conventional means with mechanic desobturation instruments alone. Here, activated instruments can be an additional option.

The aim was to find out whether the removal of root canal fillings with or without solvents leads to differences in the injection of obturation material into the simulated lateral canals.

7.2 Methods

60 extracted human teeth with straight root canals were cleaned and radiographically controlled for the desired canal anatomy. The canal length was determined with an ISO 15 file. The file was inserted into the canal until the tip of the file was visible on the foramen apicale. The roots were cut to a length of 13 mm. A working length of 12 mm was established. The canals were instrumented to the defined working length using the *BioRace* instrument system up to .04/#40. Subsequently, they were expanded mechanically with the aid of *FlexMaster* niti files step by step over ISO 50 to ISO 60. The teeth were then split longitudinally with a diamond disk. The lateral canals were created by using a fissure drill at 3 mm, 6 mm and 9 mm from the apex. Samples were then randomly assigned into six groups (n=10). In the area of the longitudinal bores, a self-etch adhesive was conditioned and the root halves were bonded and fixed with a light-curing composite. The root canals were obturated with gutta-percha points ISO 60 and the sealer *AH Plus* using the single cone obturation tech-

nique and the roots were individually radiographed. The samples were then stored for one week at 100% humidity and 37 °C.

During retreatment, the samples were divided into the following groups:

- **Group 1:** retreatment with rotary files without solvent
- **Group 2:** retreatment with hand instruments and solvent
- **The groups 3 to 6:** retreatment with rotary files and solvent

The mechanic retreatments were performed with an *Mtwo Desobturation File* ISO 25 and then extended with *FlexMaster* niti files up to ISO 70. The manual retreatment was extended using hand instruments K-Files, Hedström files up to ISO 70. The retreatment time was recorded for each sample. After the final rinsing and drying, the roots were radiographed again.

Groups 3 to 6 were additionally activated as follows:

- **Group 3:** with *Sonicare* with *CanalBrush*
- **Group 4:** ultrasonic activation using *EndoPilot* and *IRRI S*
- **Group 5:** sonic activation using *sonicsys* handpiece and *SF 65 tip*
- **Group 6:** sonic activation using the *EndoActivator* and activation-tip

The eucalyptol was again allowed to react for 2 minutes, and the respective method was then activated for 2 minutes. After final rinsing and drying, the samples were again individually radiographed. The evaluation was performed using the x-ray images with the image processing program *Leica Qwin*. Beforehand, the individual samples (after obturation, after retreatment and after activation) were laid equal to each other with *Photoshop*, in order to be able to assess the depth of penetration of the sealer after each working step. Statistical evaluation was performed with the statistics program *SPSS Win 19.0*.

7.3 Results

Within the apical third of the canal, significantly less obturation material was pushed into the lateral canals during the retreatment of the root filling material without the use of solvent (group 1) than in all other groups. Groups 2 to 6, all of which have been retreated with solvents, have most of the obturation material pressed into the lateral canals in Group 2, which has been retreated with hand instruments and with the use of solvent. In the middle third of the canal, not significant, but less obturation material was pressed into the lateral canals in group 1 (without solvent).

7.4 Conclusion

Regarding the retreatment times, it can be summarized that the mechanic retreatment is significantly faster than the manual retreatment. The use of solvents contributes to a faster retreatment. Nevertheless, the mechanic retreatment without solvent was significantly superior to the manual retreatment with solvent. Regarding the activation of the solvent, no method of the others was significantly superior in terms of removal of obturation material from the lateral canals. However, all groups showed a certain cleaning efficiency. Ultrasonic activation was superior in the middle and coronal thirds to other methods (not significantly). Within the apical third, the *CanalBrush* tended to be superior to the other methods.

8 Literaturverzeichnis

1. Ahmad M, Pitt Ford T, Crum L: Ultrasonic debridement of root canals: acoustic streaming and its possible role. *J Endod* 13 1987: 490-499
2. Angeland K: Tissue changes in dental pulp. *Odont Tidskr* 65 1957: 239
3. Arnold M: Die Revision endodontischer Misserfolge. In: Zahnmedizin up2date. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2014, 363-387
4. Barthel C, Georgi M, Schäfer E et al.: Die Wurzelkanalspülung, Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK und der DGZ. *Deutsche zahnärztliche Zeitschrift* 61 2006
5. Basmadjian-Charles CL, Farge P, Burgeois DM, Lebrun T: Factors influencing the long-term results of endodontic treatment: a review of the literature. *Int Dent J* 52 2002: 81-86
6. Basrani BR, Manek S, Sodhi RN, Fillery E, Manzur A.: Interaction between sodium hypochlorite and chlorhexidine gluconate. *J Endod* 33; 2007: 966-969
7. Betti LV, Bramante CM, Moraes IG de, Bernadineli N, Garcia RB: Comparison of GPX with or without solvent and hand files in removing filling materials from root canals – an ex vivo study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2010: 675-680
8. Buttler T, Crawford J: The toxyfying effect of varying concentrations of sodium hypochlorite on endotoxins. *J Endod* 8; 1982: 59-66
9. Bystrøm A, Happonen RP, Sjögren U, Sundquist G: Healing of periapical lesions of pulpless teeth after endodontic treatment with controlled asepsis. *Endod Dent Traumatol* 1987: 58-63
10. Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P: Final Irrigant Activation Protocols for Smear Layer Removal in Curved Canals. *J Endod* 2010: 1361-1366

11. Cunningham W, Martin H, Forrest W: Evaluation of root canal débridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53 1982: 401-404
12. Cunningham WT BAY: Effect of temperature on collagen dissolving ability of sodium hypochlorite endodontic irrigant. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 49; 1980: 175-177
13. Damaschke T, Steven D, Kaup M, Ott: Long-term survival of root-canal-treated teeth: a retrospective study over 10 years. *J Endod* 29 2003: 638-643
14. Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde. Autoren: Barthel C, Georgi M, Schäfer E, Petschelt A, Flachsenberg S, Neuber T, Kockapan C, Weiger R, Hülsmann M: Die Wurzelkanalspülung. *Dtsch Zahnärztl Z* 61; 2006: 448-449
15. DGZMK Sd: Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 9 2000
16. Duarte MA, Cimadon VB, Zucatto C, Vier-Pelisser FV, Kuga MC: Effectiveness of rotary or manual techniques for removing a 6-year-old filling material. *Braz Dent J* 21; 2010: 148-152
17. Eldeniz A, Ørstavik D: A laboratory assessment of coronal bacterial leakage in root canals filled with new and conventional sealers. *Endod J* 42 2009: 303-312
18. Emilson CG: Susceptibility of various microorganisms to chlorhexidine. *Scand J Dent Res* 85; 1977: 255-265
19. Friedmann S: Considerations and concept of case selection in the management of post-treatment endodontic disease (treatment failure). *Endodontic Topics* 1 2002: 54-78
20. Gängler P: Konservierende Zahnheilkunde und Parodontologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart 2005

21. Garip Y, Sazak H, Gunday M, Hatipoglu S: Evaluation of smear layer removal after use of a canal brush: an SEM study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 110 2010: e62-66
22. Gergi R, Sabbagh C: Effectiveness of two nickel-titanium rotary instruments and a hand file for removing gutta-percha in severely curved root canals during retreatment: an ex vivo study. *Int Endod J* 2007: 532-537
23. Gettleman B, Messer H, ElDeeb M: Adhesion of sealer cements to dentin with or without the smear layer. *J Endod* 17 1991: 15-20
24. Gregorio C de, Estevez R, Cisneros R: Effect of EDTA, sonic, and ultrasonic activation on the penetration of sodium hypochlorite into simulated lateral canals: an in vitro study. *J Endod* 2009: 891-895
25. Haapasalo M, Ørstavik D: In vitro infection and disinfection of dental tubules. *J Dent Res* 66 1987: 1375-1379
26. Hammad M, Qualtrough A, Silikas N: Threedimensional evaluation of effectiveness of hand and rotary instrumentation for retreatment of canals filled with different materials. *J Endod* 34 2008: 1370-1373
27. Hassanloo A, Watson P, Finer Y, Friedman S: Retreatment efficacy of the Epiphany soft resin obturation system. *Int Endod J* 2007: 633-643
28. Hellwig E, Attin T: Einführung in die Zahnerhaltung. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln 2009
29. Hülsmann M: Die Wurzelkanalspülung. In: Hülsmann M (Hrsg): Endodontie 6. Georg Thieme Verlag 1997, 47-62
30. Hülsmann M: Die Desinfektion des endodontischen Systems. In: Klimm W (Hrsg): Endodontologie. Deutscher Zahnärzterverlag 2006, 147-168
31. Hülsmann M, Hahn W: Complications during root canal irrigation-literature review and case reports. *Int Endod J* 33 2000: 186-193
32. Ingle JI, Beveridge EE, Glick DH, J.A. W: Modern endodontic therapy. *Endodontics* 1976: 34-56

33. Jiang L, Verhaagen B, Versluis M, van der Sluis LW: Evaluation of a sonic device designed to activate irrigant in the root canal. *J Endod* 2010: 143-146
34. Kleve C: Vergleich zweier maschineller Nickel-Titan-Revisionsysteme hinsichtlich der Revisionseffizienz von Wurzelkanalfüllungen in ovalen Wurzelkanälen mit und ohne Einsatz des Lösungsmittel Eukalyptol. *Med. Diss.*, Marburg 2014
35. Koçkapan C: *Endodontie*. Quintessenz-Verlag, Berlin 2003
36. Kojima K, Inamoto K, Nagamatsu K et al.: Success rate of endodontic treatment of teeth with vital and nonvital pulps. A meta-analysis. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 97 2004: 95-99
37. Krug R, Krastl G, Jahreis M.: Technical quality of a matching-taper single-cone filling technique following rotary instrumentation compared with lateral compaction after manual preparation: a retrospective study. *Clinical Oral Investigations* 21; 2017: 643-652
38. Kvist T: Endodontic retreatment. Aspects of decision making and clinical outcome. *Swed Dent J* 144; 2001: 1-57
39. Lee S, Wu M, Wesselink P: The effectiveness of syringe irrigation and ultrasonic to remove debris from simulated irregularities within prepared root canal walls. *Int Endod J* 37 2004: 672-678
40. Lin S, Zuckerman O, Weiss EI, Mazor Y, Fuss Z: Antibacterial efficacy of a new chlorhexidine slow release device to disinfect dentinal tubules. *J Endod* 29; 2003: 416-418
41. Lumley P, Walmsley A, WR. L: Streaming patterns produced around endo-sonic files. *Int Endod J* 24 1991: 290-297
42. Mader CL, Baumgartner JC, Peters DD: Scanning electron microscopic investigation of the smeared layer on root canal walls. *J Endod* 10; 1984: 477-483

43. Mancini M, Cerroni L, Iorio L, Armellini E, Conte G, Cianconi L.: Smear layer removal and canal cleanliness using different irrigation systems (EndoActivator, EndoVac, and passive ultrasonic irrigation): field emission scanning electron microscopic evaluation in an in vitro study. *J Endod* 39; 2013: 1456-1460
44. Martin H, Cunningham W, Norris J, Cotton, WR: Ultrasonic versus hand filling of dentin: a quantitative study. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 49 1980: 79-81
45. Nair P, Sjögren U, Krey G, Kahnberg KE, Sundquist G: Intraradicular bacteria and fungi in root-filled, asymptomatic human teeth with therapy-resistant periapical lesions: a long term light and electron microscopy follow-up study. *J Endod* 16 1990: 580
46. Ng Y, Mann V, Gulabivala K: A prospective study of the factors affecting outcomes of nonsurgical root canal treatment. *Int Endod J* 44 2011: 583-609
47. Paqué F, Laib A, Gautschi H, Zehnder M: Hard-tissue debris accumulation analysis by high-resolution computed tomography scans. *J Endod* 35 2009: 1044-1047
48. Pashley DH, Livingston MJ, Greenhill JD: Regional resistances to fluid flow in human dentine in vitro. *Arch Oral Biol* 23; 1978: 807-810
49. Peters L, Wesselink P, Buijs J, van Winkelhoff A: Viable bacteria in root dentinal tubules of teeth with apical periodontitis. *J Endod* 27; 2001: 76-81
50. Peters L, Wesselink P, Moorers W: Penetration of bacteria in bovine root dentine in vitro. *Int Endod J* 33; 2000: 28-36
51. Peters O, CI P: Cleaning and shaping of the root canal system. In: Cohen S, Hargreaves KM (Hrsg): *Pathway of the pulp*, 9 Edition. Elsevier Mosby 2006, 290-357
52. Pintor AV, Dos Santos MR, Ferreira DM, Barcelos R, Primo LG, Maia LC.: Does Smear Layer Removal Influence Root Canal Therapy Outcome? A Systematic Review. *Journal of Clinical Pediatric Dentistry* Vol.40; 2016: 1-7

53. Ray HA TM: Periapical status of endodontically treated teeth in relation to the technical quality of the root filling and the coronal restoration. *IntEndod* 1995: 28, 12-18
54. Rödiger T: Literatur-Rundschau; Interaktionen endodontischer Spülflüssigkeiten. *Endodontie* 19 2010: 311-316
55. Rödiger T, Bozkurt M, Konietschke F, Hülsmann M: Comparison of the Vibringe system with syringe and passive ultrasonic irrigation in removing debris from simulated root canal irregularities. *J Endod* 36 2010: 1410-1413
56. Rödiger T, Döllmann S, Konietschke F, Drebenstedt S, Hülsmann M: Effectiveness of different irrigant agitation techniques on debris and smear layer removal in curved root canals: a scanning electron microscopy study. *J Endod* 2010: 1983-1987
57. Roggendorf M, Kraus F, Lohbauer U, Frankenberger R, Petschelt A, Ebert J: Apical debris removal of CanalBrushes with different tip modifications. *Quintessence Int* 2015
58. Roggendorf MJ, Legner M, Ebert J, Fillery E, Frankenberger R, Friedman S: Micro CT evaluation of residual material in canals filled with Activ GP or GuttaFlow following removal with NiTi instruments. *Int Endod J* 43 2010: 200-209
59. Roy R, Ahmad M, Crum L: Physical mechanisms governing the hydrodynamic response of an oscillating ultrasonic file. *Int Endod J* 24 1994: 197-207
60. Sabins RA, Johnson JD, Hellstein JW: A comparison of the cleaning efficacy of short-term sonic and ultrasonic passive irrigation after hand instrumentation in molar root canals. *J Endod* 2003: 674-678
61. Sae-Lim V, Rajamanickam I, Lim BK, Lee HL: Effectiveness of ProFile .04 taper rotary instruments in endodontic retreatment. *J Endod* 2000: 100-104
62. Salman M, Baumann M, Hellmich M, Roggendorf M, Termaat S: SEM evaluation of root canal debridement with Sonicare CanalBrush irrigation. *Int Endod J* 43 2010: 363-369

63. Saunders W, Saunders E: Coronal leakage as a cause of failure in root-canal therapy. *Endod Dent Traumatol* 10 1994: 105-108
64. Scelza MF, Coil JM, Maciel AC, Oliveira LR, Scelza P: Comparative SEM evaluation of three solvents used in endodontic retreatment: an ex vivo study. *J Appl Oral Sci* 16 2008: 24-29
65. Schäfer E: Irrigation of the root canal. *ENDO-Endodontic Practice Today* 2007: 1, 11-28
66. Schäfer E, Zandbiglari T: A comparison of the effectiveness of chloroform and eucalyptus oil in dissolving root canal sealers. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002: 611-616
67. Schilder H: Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 18 1974: 269
68. Schirrmeyer JF, Hermanns P, Meyer KM, Goetz F, Hellwig E: Detectability of residual Epiphany and gutta-percha after root canal retreatment using a dental operating microscope and radiographs – an ex vivo study. *Int Endod J* 39; 2006: 558-565
69. Sen B, Wesselink P, Türkün M: The smear layer: a phenomenon in root canal therapy. *Int Endod J* 28; 1995: 141-148
70. Shahravan A, Haghdoost A, Ad IA, Rahimi H, Shadifar F: Effect of smear layer on sealing ability of canal obturation: a systematic review and meta-analysis. *J Endod* 33 2007: 96-105
71. Siqueira JF, Rocas IN, Favieri A, Lima KC: Chemomechanical reduction of the bacterial population in the root canal after instrumentation and irrigation with 1%, 2.5%, and 5.25% sodium hypochlorite. *J Endod* 26; 2000: 331-334
72. Siqueira jr J: Aetiology of root canal failure: why well-treated teeth can fail. *Int Endod J* 34 2001: 1-10
73. Sjögren U, Hagglund B, Sundquist G, Wing K: Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. *J Endod* 16 1990: 498-504

74. Sögren U, Figdor D, Persson S, Sundquist G: Influence of infection at the time of root filling on the outcome of endodontic treatment of teeth with apical periodontitis. *Int Endod J* 30 1997: 297
75. Stamos D, Sadeghi E, Haash G, Gerstein H: An in vitro comparison study to quantitate the debridement ability of hand, sonic and ultrasonic instrumentation. *Journal of Endodontics* 13 1987: 434-440
76. Stock C, Ng Y-L: Revision der Wurzelkanalbehandlung. In: Stock C, Walker R, Gulavivala K (Hrsg): *Endodontie*. Urban & Fischer, München 2005, 269-278
77. Swanson K, Madison L: An evaluation of coronal microleakage in endodontically treated teeth. Part I Time Periods. *J Endod* 13 1987: 56-59
78. Takahashi CM, Cunha RS, Martin AS de, Fontana CE, Silveira CF, da Silveira Bueno CE: In vitro evaluation of the effectiveness of ProTaper universal rotary retreatment system for gutta-percha removal with or without a solvent. *J Endod* 2009: 1580-1583
79. Taşdemir T, Celik D, Er K, Yildirim T, Ceyhanli K, Yeşilyurt C: Efficacy of several techniques for the removal of calcium hydroxide medicament from root canals. *Int Endod J* 44 2011: 505-509
80. Thiele L, Hickel R, Folwaczny M.: Der endodontische Misserfolg - von der Definition zur Strategie. *Dtsch Zahnärztl Z* 58; 2003: 144-150
81. Torabinejad MUBKJ: In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *J Endod* 16 1990: 566-569
82. Townsend C, Maki J: An in vitro comparison of new irrigation and agitation techniques to ultrasonic agitation in removing bacteria from a simulated root. *J Endod* 35 2009: 1040-1043
83. Tronstad L: *Clinical Endodontics - a textbook*. Georg Thieme Verlag, Stuttgart/ New york 1991

84. Tronstad L, Barnett F, Riso K, Slots J: Extraradicular endodontic infections. *Endod Dent Traumatol* 3 1987: 86-90
85. Tronstad L, Barnett F, Schwartzben L, Frasca P: Effectiveness and safety of a sonic vibratory endodontic instrument. *Endod Dent Traumatol* 1 1985: 69-76
86. Urban K, Donnermeyer D, Schäfer E, Bürklein S.: Canal cleanliness using different irrigation activation systems: a SEM evaluation. *Clinical Oral Investigations*; 2017: 1-7
87. van der Sluis LW, Versluis M, Wu MK, Wesselink PR: Passive ultrasonic irrigation of the root canal: a review of the literature. *Int Endod J* 2007: 415-426
88. van der Sluis LW, Wu MK, Wesselink PR: A comparison between a smooth wire and a K-file in removing artificially placed dentine debris from root canals in resin blocks during ultrasonic irrigation. *Int Endod J* 38 2005: 593-596
89. van Sluis der L: Die passive Ultraschallspülung des Wurzelkanalsystems. *Endodontie* 15 2006: 177-185
90. Viera AR, Siqueira JF, Ricucci D, Lopes WS: Dentinal tubule infection as the cause of recurrent disease and late endodontic treatment failure: a case report. *J Endod* 38 2012: 250-254
91. Vivacqua-Gomes N, Ferraz CC, Gomes B, Zaia AA, Teixeira FB, Souza-Filho: Influence of irrigants on the coronal microleakage of laterally condensed gutta-percha root fillings. *Int Endod J* 35; 2002: 791-795
92. Walmsey A: Ultrasound and root canal treatment: the need for scientific evaluation. *Int Endod J* 1987: 105-111
93. Weber K, Serbezova M, Roggendorf M et al.: Effizienz von wiederholter Anwendung verschiedener aktivierter Instrumente zur Entfernung von Sealerresten im Rahmen der endodontischen Revisionsbehandlung. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 67 2012

94. Weiger R, Löst C, Hülsmann M: Die Revision von Wurzelkanalbehandlungen. Indikationsstellung. Endodontie 3; 1994: 27-37
95. Weller R, Brady J, Bernier W: Efficacy of ultrasonic cleaning. J Endod 6 1980: 740-743
96. Xu LL, Zhang L, Zhou XD, Wang R, Deng YH, Huang DM: residual filling material in dentinal tubules after gutta-percha removal observed with scanning electron microscopy. J Endod 38 2012: 293-296
97. YL. N, V. M, S. R, J. L, K. G: Outcome of primary root canal treatment: systematic review of the literature-Part 1. Int Endod J 40 2007: 921-939
98. Zamany A, Safavi K, Spångberg L: The effect of chlorhexidine as an endodontic disinfectant. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 96; 2003: 578-581
99. Zanettini PR, Barletta FB, Mello Rahde N de: In vitro comparison of different reciprocating systems used during endodontic retreatment. Aust Endod J 2008; 34: 80-85

9 Anhang

9.1 Materialliste

Produkt/Material	Hersteller	Stadt, Land
Scaler	Hu-Friedy	Chicago, USA
<i>Silaplast</i>	Fa. Detax	Ettlingen, Deutschland
<i>BioRaCe-Set</i>	FKG Dentaire Sa	Switzerland
<i>FlexMaster</i> Ni-Ti Feilen	VDW GmbH	München, Deutschland
Diamantscheibe Superdiaflex	Horico Dental	Berlin, Deutschland
Schmelzbeil	Henry Schein	Melville, USA
Fissurenbohrer	Henry Schein	Melville, USA
<i>iBond</i> Self-Etch	Heraeus Kulzer GmbH	Hanau, Deutschland
Komposit <i>G-aenial</i>	GC Corporation	Tokyo, Japan
Papierspitzen ISO 60	VDW	München, Deutschland
Sealer <i>AH Plus</i>	Dentsply DeTrey GmbH	Konstanz, Deutschland
Guttapercha ISO 60	Henry Schein	Melville, USA
<i>Mtwo</i> -Revisionsfeilen	VDW	München, Deutschland
Eukalyptusöl	Caesar & Loretz GmbH	Hilden, Deutschland
K-Feilen ISO 15 / ISO 25	VDW GmbH	München, Deutschland

Hedströmfeilen ISO 15 / ISO 25	VDW GmbH	München, Deutschland
Philips <i>Sonicare</i> Schallzahnbürste	Philips, Amsterdam	Niederlande
<i>CanalBrush</i>	Coltène/Whaledent AG	Altstätten, Schweiz
<i>Endopilot</i>	Schlumbohm	Brokstedt, Deutschland
SF 65 Aufsatz	Komet Dental	Lemgo, Deutschland
<i>SonicSys</i> -Handstück	KaVo	Biberach, Deutschland
<i>EndoActivator</i>	Dentsply Tulsa Dental Specialties	Tulsa, USA
Microsoft Excel	Microsoft Corp.	Redmond, WA, USA
Bildauswertungssoftware <i>Leica QWin</i>	Leica Microsystems	Wetzlar, Deutschland
Statistikprogramm <i>SSPS 20.0</i>	IBM Inc.	Armonk, NY, USA
Ultraschallaufsatz <i>IRRI S</i>	Franzis Verlag GmbH	Haar, München
Ultraschall-Handstück „ <i>Newtron</i> “, <i>Saletec</i>	VDW	München, Deutschland
Adobe Photoshop CS 5	Adobe Systems Incorporated	San José (Kalifornien), USA

9.2 Abkürzungsverzeichnis

%	Prozent
EDTA	Ethylendiamintetraacetat
CHX	Chlorhexidin
WF-Material	Wurzelfüllmaterial
AMF	Apikale Masterfeile
NaOCl	Natriumhypochlorit
PCA	Parachloranillin
PUI	Passive ultrasonic irrigation
kHz	Kilohertz
NiTi	Nickel-Titan
cpm	Cycles per minute

9.3 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsablaufs	17
Abbildung 2: Ausschlusskriterien von Zähnen: 1 = zu ausgedehntes Kanallumen, 2 und 3 = zu gekrümmter Wurzelkanal)	18
Abbildung 3: Gruppeneinteilung für die Revision	21
Abbildung 4: Aufteilung der Gruppen 3 bis 6 für die Aktivierung	22
Abbildung 5: a) <i>Sonicare</i> mit modifiziertem Aufsatz mit <i>CanalBrush</i> b) <i>CanalBrush</i> im Winkelstück	23
Abbildung 6: Ultraschallaufsatz <i>IRRI S</i>	24
Abbildung 7: <i>SF 65</i> -Schallspitze	24
Abbildung 8: <i>EndoActivator</i> -Handstück mit aufgesetzter Schallspitze der Größe „M“ (.04/#25) 25	
Abbildung 9: Screenshot von Photoshop: Röntgenbild nach der Wurzelkanalfüllung (rechts) sowie nach erfolgter Revision der Wurzelkanalfüllung (links)	26
Abbildung 10: Röntgenbild nach erfolgter Wurzelkanalfüllung	27
Abbildung 11: Röntgenbild nach erfolgter Revision	27
Abbildung 12: Röntgenbild nach Aktivierung des Lösungsmittels Eukalyptol.....	28
Abbildung 13: Verschiedene Revisionsmethoden rot: maschinell, trocken; gelb: manuell, Eukalyptol; blau: maschinell, Eukalyptol	31
Abbildung 14: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Revision apikal in [%]	32
Abbildung 15: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Revision mittig in [%]	33
Abbildung 16: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Revision koronal in [%]	34
Abbildung 17: Differenz der ungefüllten Kanalanteile nach der Revision apikal [%]	36
Abbildung 18: Differenz der ungefüllten Kanalanteile nach der Revision mittig [%]	37
Abbildung 19: Differenz der ungefüllten Kanalanteile nach der Revision koronal [%]	38
Abbildung 20: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Aktivierung apikal [%]	39
Abbildung 21: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Aktivierung mittig [%].....	40

Abbildung 22: Differenz von Wurzelkanalfüllmaterial nach der Aktivierung koronal [%].....	41
Abbildung 23: Differenz der ungefüllten Lateralkanalanteile nach Aktivierung apikal [%]	42
Abbildung 24: Differenz ungefüllter Lateralkanalanteile nach Aktivierung mittig [%]	43
Abbildung 25: Differenz ungefüllter Lateralkanalanteile nach Aktivierung koronal [%]	44

9.4 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Paarvergleiche der Revisionszeiten (rot = signifikant)	30
Tabelle 2: Paarvergleiche der Gruppen 1 bis 6 miteinander (rot = signifikant)	32
Tabelle 3: Paarvergleich der Gruppen 1 bis 6 (rot = signifikant)	35
Tabelle 4: Paarvergleiche der Gruppen 3 bis 6	39
Tabelle 5: Paarvergleiche der Gruppen 3 bis 6: Differenz der ungefüllten Lateralkanalanteile nach Aktivierung [%]	42
Tabelle 6: Revisionszeiten der Gruppen 1 bis 3 in [s]	76
Tabelle 9: Differenz der ungefüllten Lateralkanalflächen nach der Revision apikal, mittig und koronal in [%]	78
Tabelle 10: Differenz des WF-Materials in den Lateralkanälen nach der Aktivierung apikal, mittig und koronal in [%]	79
Tabelle 11: Differenz der ungefüllten Lateralkanalfläche nach der Aktivierung apikal, mittig und koronal in [%]	80

9.5 Statistik

Tabelle 6: Revisionszeiten der Gruppen 1 bis 3 in [s]

Gruppe 1 bis 3	Mittelwert (%)	SD (%)	Median	Minimum	Maximum	Interquartil
<i>Mtwo</i> maschinell/ trocken (Gruppe 1)	289	131	295	120	600	156
K-Feile manuell Eukalyptol (Gruppe 2)	620	109	605	437	810	120
<i>Mtwo</i> maschinell Eukalyptol (Gruppen 3-6)	196	48	210	124	380	61

Tabelle 7: Sealerdifferenzen der Gruppen 1 bis 6 nach der Revision apikal, mittig und koronal in [%]

Sealerdifferenz nach der Revision apikal [%]	Mittelwert (%)	SD (%)	Median	Minimum	Maximum	Interquartil
<i>Mtwo/trocken</i>	14,50	14,45	16,00	-10	44	25
K Feile/Eukalyptol	35,45	25,52	33,50	-3	93	38
<i>Mtwo/Eukalyptol (CanalBrush)</i>	31,65	29,06	29,00	-10	100	50
<i>Mtwo/Eukalyptol (Ultraschall IRRIS)</i>	33,15	19,72	34,00	5	72	29,60
<i>Mtwo/Eukalyptol (SF65)</i>	22,44	19,41	19,50	-16	56	30
<i>Mtwo/Eukalyptol (EndoActivator)</i>	19,25	19,93	17	-2	61	28
Mittig						
<i>Mtwo/trocken</i>	19,90	19,06	14	0	62	32
K Feile/Eukalyptol	25,40	22,63	14	3	76	37
<i>Mtwo/Eukalyptol (CanalBrush)</i>	26,50	26,23	18,50	-8	85	49
<i>Mtwo/Eukalyptol (Ultraschall IRRIS)</i>	28,25	19,64	24	4	72	29
<i>Mtwo/Eukalyptol (SF65)</i>	13,70	26,11	11	-55	77	26
<i>Mtwo/Eukalyptol (EndoActivator)</i>	18,70	22,63	8	-1	71	29
Koronal						
<i>Mtwo/trocken</i>	18,40	18,91	10	-1	54	35
K Feile/Eukalyptol	7,50	19	3	-20	69	11
<i>Mtwo/Eukalyptol (CanalBrush)</i>	6	6,74	3	-1	61	30
<i>Mtwo/Eukalyptol (Ultraschall IRRIS)</i>	15,50	16,60	9	-1	61	30
<i>Mtwo/Eukalyptol (SF65)</i>	6,60	14,70	2,50	-6	64	10
<i>Mtwo/Eukalyptol (EndoActivator)</i>	5,25	5,25	2	-7	28	7

Tabelle 7: Differenz der ungefüllten Lateralkanalflächen nach der Revision apikal, mittig und koronal in [%]

Differenz ungefüllte Fläche nach der Revision apikal [%]	Mittelwert (%)	SD (%)	Median	Minimum	Maximum	Interquartil
<i>Mtwo/trocken</i>	-14,55	14,41	-16,00	-44	10	24
K Feile/Eukalyptol	-34,50	25,48	-31,50	-93	3	36
<i>Mtwo/Eukalyptol (CanalBrush)</i>	-31,55	29	-29	-100	10	49
<i>Mtwo/Eukalyptol (Ultraschall IRR/ S)</i>	-32,70	19,78	-29,50	-72	-5	32
<i>Mtwo/Eukalyptol (SF65)</i>	-31,61	16,79	-19,50	-56	0	29
<i>Mtwo/Eukalyptol (EndoActivator)</i>	-19,45	21,38	-17	-56	2	28
Mittig						
<i>Mtwo/trocken</i>	-20	19,36	-14	-64	0	32
K Feile/Eukalyptol	-26,70	-26,65	-14,50	-77	-4	37
<i>Mtwo/Eukalyptol (CanalBrush)</i>	-26,05	26,90	-18,50	-85	9	49
<i>Mtwo/Eukalyptol (Ultraschall IRR/ S)</i>	-28,45	19,54	-24	-72	-4	30
<i>Mtwo/Eukalyptol (SF65)</i>	-13,65	26,05	-11	-77	55	27
<i>Mtwo/Eukalyptol (EndoActivator)</i>	-18,85	23,13	-8	-76	1	29
Koronal						
<i>Mtwo/trocken</i>	-16,70	17,23	-10	-49	1	32
K Feile/Eukalyptol	-7,70	19,09	-3	-69	20	12
<i>Mtwo/Eukalyptol (CanalBrush)</i>	-5,55	7,02	-3	-24	3	7
<i>Mtwo/Eukalyptol (Ultraschall IRR/ S)</i>	-15,45	17,34	-9	-61	1	31
<i>Mtwo/Eukalyptol (SF65)</i>	-6,60	14,76	-2,50	-28	7	7
<i>Mtwo/Eukalyptol (EndoActivator)</i>	-5,30	9,03	-2	-28	7	7

Tabelle 8: Differenz des WF-Materials in den Lateralkanälen nach der Aktivierung apikal, mittig und koronal in [%]

Differenz WF-Material nach Aktivierung apikal [%]	Mittelwert (%)	SD (%)	Median	Minimum	Maximum	Interquartil
<i>Sonicare+ CanalBrush</i>	-10,25	26,03	-1	-100	5	7
Ultraschall <i>IRRI S</i>	-4,50	5,84	-2	-18	0	6
Schall <i>SF 65</i>	-8,90	15,04	0	-44	9	23
<i>EndoActivator</i>	-4	7,46	-0,50	-31	1	5
Mittig						
<i>Sonicare+ CanalBrush</i>	-1,80	6,96	-2,50	-12	20	6
Ultraschall <i>IRRI S</i>	-3,85	6,63	-1	-25	3	5
Schall <i>SF 65</i>	-3,55	4,20	-2	-15	0	7
<i>EndoActivator</i>	-2,30	3,72	0	-10	1	6
Koronal						
<i>Sonicare+ CanalBrush</i>	-2	3,40	-1	-9	2	6
Ultraschall <i>IRRI S</i>	-2,25	4,23	0	-18	1	4
Schall <i>SF 65</i>	-1,90	2,53	-1	-8	0	3
<i>EndoActivator</i>	-1,55	3,76	0	-14	2	2

Tabelle 9: Differenz der ungefüllten Lateralkanalfläche nach der Aktivierung apikal, mittig und koronal in [%]

Differenz WF-Material nach Aktivierung apikal [%]	Mittelwert (%)	SD (%)	Median	Minimum	Maximum	Interquartil
<i>Sonicare+ CanalBrush</i>	9,55	26,01	-1	-15	100	7
Ultraschall <i>IRRI S</i>	-4,35	5,97	2	-2	18	6
Schall <i>SF 65</i>	8,35	14,90	0	-11	44	20
<i>EndoActivator</i>	3,90	7,83	0	-1	31	5
Mittig						
<i>Sonicare+ CanalBrush</i>	1,20	6,76	1,50	-20	12	6
Ultraschall <i>IRRI S</i>	3,95	6,77	1	-3	26	5
Schall <i>SF 65</i>	3,90	4,55	2	0	15	7
<i>EndoActivator</i>	1,80	3,23	0	-1	10	3
Koronal						
<i>Sonicare+ CanalBrush</i>	2	3,48	1	-2	9	6
Ultraschall <i>IRRI S</i>	2,05	4,21	0	-1	18	3
Schall <i>SF 65</i>	1,90	2,53	1	0	8	3
<i>EndoActivator</i>	1,60	3,75	0	-2	14	2

9.6 Verzeichnis akademischer Lehrer

Meine akademischen Lehrer im Fachbereich Medizin waren die Damen und Herren, Professoren und Dozenten der Philipps-Universität Marburg:

Arweiler, Aumüller, Braun, Cetin, Feuser, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Höffken, Hoffmann, Jablonski-Momeni, Jerrentrup, Korbmacher-Steiner, Lamp, Lill, Lotzmann, Mengel, Mittag, Moll, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Mutters, Pieper, Ramaswamy, Roggendorf, Steiniger, Westermann, Weihe.

9.7 Lebenslauf

Persönliche Daten

Name:	Torben Traub
Anschrift:	Blankensteinstraße 10 74385 Pleidelsheim
Geboren:	10.03.1989 in Ludwigsburg
Religion:	evangelisch
Familienstand:	ledig
Mutter:	Monika Traub, Betriebswirtin
Vater:	Dr. med. dent. Hermann Traub, Zahnarzt
Geschwister:	Tasso Traub, geb. 1987, Diplom-Kaufmann Timo Traub, geb. 1985, Zahnarzt

Schulischer Werdegang

07/2015 – heute	Assistenz Zahnarzt Praxis Dres. Laub in Auenwald
08/2013	Famulatur in Kambodscha (Siem Reap) im Kinder-Krankenhaus „Angkor Hospital For Children“ (AHC).
10/2009 – 12/2014	Zahnmedizinstudium an der Philipps-Universität Marburg Abschluss: Staatsexamen
07/2008 – 04/2009	Zivildienst im Reha-Zentrum Hess in Bietigheim-Bissingen
09/2000 – 07/2008	Oscar-Paret-Schule in Freiberg am Neckar Abschluss: Abitur
1996-2000	Grundschule in Pleidelsheim

9.8 Danksagung

Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. Matthias Roggendorf, geschäftsführender Oberarzt der Abteilung für Zahnerhaltungskunde der Zahnklinik Marburg, für die Bereitstellung des Themas und der notwendigen Utensilien. Danke für die hervorragende Betreuung und freundliche Zusammenarbeit.

Ein weiterer Dank richtet sich an meine Familie und an alle anderen Personen, welche mir im Laufe der Dissertation und meines Studiums mentale Unterstützung boten.

9.9 Ehrenwörtliche Erklärung

„Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin Marburg zur Promotionsprüfung eingereichte Arbeit mit dem Titel **„Analyse der Effizienz verschiedener Aktivierungssysteme zur Entfernung von AH Plus Sealer aus simulierten Lateralkanälen“** in der Klinik für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde unter Leitung von Prof. Roland Frankenberger mit Unterstützung durch Dr. Matthias Roggendorf ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation aufgeführten Hilfsmittel benutzt habe. Ich habe bisher an keinem in- oder ausländischen Medizinischen Fachbereich ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht, noch die vorliegende oder eine andere Arbeit als Dissertation vorgelegt.

Marburg, 27.06.17