

Aus der Zahnklinik Marburg – Abteilung für Zahnerhaltungskunde
Des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg
Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger

**Einfluss verschiedener medikamentöser
Einlagen auf den Haftverbund von
GuttaFlow 2 zum Wurzelkanalentin**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnmedizin,

dem Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

Stephanie Rudd
aus Swindon (GB)
Marburg, 2015

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg am:
02. Februar 2015

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereichs der Medizinischen Fakultät
der Philipps Universität Marburg.

Dekan: Herr Prof. Dr. H. Schäfer
Referent: Herr Prof. Dr. R. Frankenberger
1. Korreferent: Herr Prof. Dr. T. Auschill

Inhaltsverzeichnis

1 Zusammenfassung	3
2 Summary	5
3 Einleitung	7
4 Literaturübersicht	8
4.1 Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung	8
4.2 Wurzelkanalaufbereitung	8
4.3 Maschinelles, rotierendes NiTi-Aufbereitungssystem <i>BioRaCe</i>	8
4.4 Wurzelkanalspülung	10
4.5 Medikamentöse Einlage	13
4.6 Wurzelkanalfüllung	16
5 Material & Methode	19
5.1 Flow Chart des Versuchsaufbaus	19
5.2 Auswahl und Vorbereitung der Probenzähne	20
5.3 Analyse des Haftverbundes	26
5.4 Auswertung der Frakturmodi	26
6 Ergebnisse	27
7 Diskussion	33
7.1 Diskussion der Methodik	33
7.1.1 Probenauswahl	33
7.1.2 Medikamentöse Einlage	34
7.1.3 Spülung und Trocknung des Wurzelkanals	36
7.1.4 Wurzelkanalfüllung	37
7.1.5 Lagerung der Probenzähne	37
7.1.6 Analyse des Haftverbunds	39
7.2 Diskussion der Ergebnisse	39
7.2.1 Kontrollgruppen	39
7.2.2 Chlorhexidindigluconatdigluconat	39
7.2.3 Calciumhydroxid	40
7.2.4 Darreichungsform	40
7.2.5 Beurteilung der Haftwerte	40
7.2.6 Beurteilung der Frakturmodi	41
8 Literaturverzeichnis	43
9 Anhang	49
10 Verzeichnis der akademischen Lehrer	54
11 Danksagung	55

1 Zusammenfassung

1.1 Hintergrund und Ziele

Medikamentöse Zwischeneinlagen sind in der endodontischen Behandlung Routine, entweder werden sie auf Grund von mangelnder Behandlungszeit in der Praxis oder zur weiteren Desinfektion des Wurzelkanals verwendet. Auf dem Markt gibt es eine Vielzahl verschiedener Produkte und Darreichungsformen, wobei Chlorhexidindigluconat, Calciumhydroxid oder die Kombination der beiden Wirkstoffe am weitesten verbreitet sind. Diese Produkte könnten jedoch neben der positiven Desinfizierenden Wirkung auch einen Einfluss auf den Haftverbund der späteren Wurzelkanalobstruktion bewirken.

Im Rahmen dieser Studie sollte der Einfluss von Calciumhydroxid und Chlorhexidindigluconat als Paste oder Stift auf den Haftverbund von *GuttaFlow 2* zum Wurzelkanalentin ermittelt werden.

1.2 Methodik

Sechszig einwurzlige Zähne mit geradem Wurzelverlauf wurden mit BioRaCe-Instrumenten (FKG Dentaire) bis ISO 60 instrumentiert und auf eine Wurzelkanallänge von 8 mm getrimmt (resultierende Wurzelkanaloberfläche: 17,2 mm²). Nachfolgend wurden die Probenzähne randomisiert auf 6 Gruppen verteilt (n=10): (A) *Chlorhexamed-Gel 1%* (GlaxoSmithKline), (B) *UltraCal XS* (Ultradent Corp.), (C) *Activ Point* (Coltène Whaledent), (D) *Calciumhydroxid Plus Point* (Coltène Whaledent), (E) trockener Wurzelkanal/keine Med, (F) feuchter Wurzelkanal/keine Med. Die medikamentösen Einlagen verblieben zwei Wochen in den Wurzelkanälen. Zur Entfernung der medikamentösen Einlagen wurden diese zunächst durch eine Spülung mit 2,5 ml Aqua dest. aus den Wurzelkanälen entfernt und anschließend eine schallaktivierte Spülung für jeweils 60 s mit 2,5 ml NaOCl 2,5% und 2,5 ml EDTA 16% (*EndoActivator*, Dentsply Tulsa) sowie nachfolgend eine Spülung mit 2,5 ml NaOCl 2,5 % und 2,5 ml Aqua dest. ohne Aktivierung durchgeführt. Spreader-Rohlinge ISO 25 (Dentsply Maillefer) wurden von apikal her gekürzt und durch Entgratung und Politur an die Zielgröße ISO 60 adjustiert, allerdings nicht silikatisiert. Die Wurzelkanäle wurden danach mit *GuttaFlow 2* und einem Spreader gefüllt. Nach 2-wöchiger Lagerung erfolgte die Analyse des Haftverbundes mittels eines Pulloutverfahrens nach Ebert et al. (2011) unter Verwendung einer Zwick-Universaltestmaschine (Zwick-Roell).

1.3 Ergebnisse

GuttaFlow 2 zeigte sehr geringe Haftwerte unabhängig von der eingesetzten Einflussfaktoren, wobei die untersuchten medikamentösen Einlagen keinen Unterschied hinsichtlich des Haftverbunds erzielten (Gruppe/Mittelwert): (A) 0,8 MPa, (B) 0,8 MPa, (C) 0,6 MPa, (D) 0,6 MPa, (E) 0,6 MPa, (F) 0,5 MPa. Rest Feuchtigkeit im Wurzelkanal führte zu dem niedrigsten Haftverbund im Rahmen dieser Studie und die Einlage von Chlorhexidindiglukonat in Form eines Gels zur höchsten. Die Unterschiede der Haftwerte nach den medikamentösen Einlagen waren insgesamt jedoch nicht signifikant (Kruskal-Wallis-Test; $p=0,259$).

1.4 Praktische Schlussfolgerungen

Die Applikation medikamentöser Einlagen als Stifte hatte keinen Einfluss auf den Haftverbund von *GuttaFlow 2* zum Kanalwanddentin, die Applikation medikamentöser Pasten haben eine tendenzielle Steigerung des Haftverbundes zur Folge. Bei der Verwendung von *GuttaFlow 2* sollte vor der Obstruktion der Wurzelkanal gut getrocknet werden.

2 Summary

2.1 Aim

Intracanal medication is used routinely in endodontic treatment, either because there is not enough time in the practice or because it is needed for further disinfection of the root canal. There are numerous different products and pharmaceutical forms on the market. However chlorhexidine digluconate, calciumhydroxide or a combination of both agents are the most popular intracanal dressings. These products could not only have a positive disinfecting effect on the root canal, but could also have a negative effect on the bonding strength between the sealer and root canal dentin.

Within this study the effect of calciumhydroxide and chlorhexidine digluconate, as a paste or as a impregnated gutta-percha point, on the bonding strength between *GuttaFlow 2* and the root canal dentine should be determined.

2.2 Methods

Sixty single rooted teeth with a straight root canal were instrumented with BioRaCe instruments (FKG Dentaire) until ISO 60 and were trimmed to a root canal length of 8 mm (resulting in a root canal surface of 17,2 mm²). Consecutively the samples were randomly split into six groups (n=10): (A) *Chlorhexamed-Gel 1%* (GlaxoSmithKline), (B) *UltraCal XS* (Ultradent Corp.), (C) *Activ Point* (Coltène Whaledent), (D) *Calciumhydroxide Plus Point* (Coltène Whaledent), (E) dry root canal/no medication, (F) moist root canal/no medication. The intracanal dressings remained in the canals for two weeks. The removal of the medication was firstly done by a lavage of 2,5 ml Aqua dest. following by a passiv ultrasonic activated irrigation for 60 s each with 2,5 ml NaOCl 2,5% und 2,5 ml EDTA 16% (*EndoActivator*, Dentsply Tulsa) and lastly a lavage with 2,5 ml NaOCl 2,5 % and 2,5 ml Aqua dest. without being activated. Spreaders ISO 25 (Dentsply Maillefer) were shortened apically and adjusted to the final size of ISO 60, though not silicated. Thereafter the root canals were filled with *GuttaFlow 2* und the spreader. After two weeks storage the bond strengths were analysed via Pullout mode by Ebert et al. (2011) using a Zwick universal testing machine (Zwick-Roell).

2.3 Results

GuttaFlow 2 showed very low bond strengths independent of the influencing factor, not achieving any differences concerning the bonding strengths in the comparison of the examined dressings (group/mean): (A) 0,8 MPa, (B) 0,8 MPa, (C) 0,6 MPa, (D) 0,6 MPa, (E) 0,6 MPa, (F) 0,5 MPa. Moisture in the root canal led to the lowest bond strengths and the insertion of chlorhexidine digluconate as a gel to highest in this study. However the bond strengths were not significantly different after the insertion of the various dressings. (Kruskal-Wallis-Test; $p=0,259$).

2.4 Conclusions

The insertion of intracanal medication as an impregnated point does not effect the bonding strength of *GuttaFlow 2* to the root canal dentin. The application of a dressing as a paste tends to result in an increase of the bonding strength. When using *GuttaFlow 2* as an obstruction material the root canal should be dried thoroughly.

3 Einleitung

Medikamentöse Einlagen können im Rahmen der endodontischen Behandlung aus verschiedenen Gründen erforderlich sein. Neben der Desinfektion des Wurzelkanalsystems kommt eine Einlage auch dann zum Einsatz, wenn die Behandlungszeit nicht mehr ausreicht, um eine Wurzelkanalfüllung abzuschließen. Zumeist kommen Calciumhydroxid, Chlorhexidindigluconat oder eine Kombination aus beiden Materialien zum Einsatz. Neben der gewünschten, desinfizierenden Wirkung sind jedoch auch negative Effekte denkbar. Hierbei wurden insbesondere eine Reduktion des Haftverbunds von Sealer zum Wurzelkanalentin, eine negative Wirkung auf Struktur und Härte des Wurzelkanalentins, sowie eine Verschlechterung der Abdichtungseffizienz belegt.

Die Adhäsionskraft des Sealers ist von wichtiger Bedeutung, da das Material oftmals im nachhinein entfernt werden muss, entweder im Rahmen einer Revision oder im Sinne der Ausschachtung des Kanals um einen Wurzelkanalstift einzubringen, wobei eine möglichst hohe Haftkraft erwünscht ist. Wenn keine Adhäsion zwischen Wurzelkanalentin und Sealer entstünde, würde bei der Ausschachtung des Kanals die ganze Wurzelkanalfüllung heraus gezogen werden können oder disloziert werden, woraus in vitro eine undichte Wurzelkanalfüllung resultieren würde.

Das Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von verschiedenen medikamentösen Einlagen, sowie von Restfeuchtigkeit und optimaler Trockenheit auf den Haftverbund des neuentwickelten, mit adhäsiven Eigenschaften versehenen, silikonbasierten Obturationsmaterials *GuttaFlow 2* zu untersuchen.

4 Literaturübersicht

4.1 Indikation für eine Wurzelkanalbehandlung

Die Intention einer Wurzelkanalbehandlung ist das periradikuläre Gewebe zu schützen.

Die Indikation zur Wurzelkanalbehandlung ist dann gegeben, wenn eine entzündete oder nekrotische Pulpa vorliegt oder eine iatrogene Devitalisierung angestrebt wird, um beispielsweise eine Stiftkrone aufgrund reduzierter koronaler Zahnhartsubstanz zu einzubringen (*DGZMK, gemeinsame Stellungnahme von Wurzelkanalaufbereitungen 2000*).

4.2 Wurzelkanalaufbereitung

Das wichtigste Ziel der Wurzelkanalaufbereitung ist die Entfernung von Gewebsresten und Mikroorganismen, welches vor allem durch ergänzende Spüllösungen und desinfizierende Zwischeneinlagen verstärkt werden kann (*DGZMK, gemeinsame Stellungnahme von Wurzelkanalaufbereitungen 2000*). Zusätzlich wird die Wirkung der Spüllösung durch Oberflächenvergrößerung verstärkt (*Falk & Sedgley 2005*). Die Wurzelkanalaufbereitung hat immer im flüssigkeitsgefüllten Kanal zu erfolgen, wobei zwischen den Feilen jeweils gründlich gespült werden muss. Bei der Aufbereitung sollten Kanalform und Krümmungsradius bestmöglich erhalten bleiben und der Kanal sollte mindestens um 3-5 ISO-Größen erweitert werden, mindestens jedoch auf ISO 30 oder 35 (*DGZMK, gemeinsame Stellungnahme von Wurzelkanalaufbereitungen 2000*). Jedoch zeigte sich, dass bei zunehmender Aufbereitung signifikant weniger Bakterien detektierbar waren (*Card et al. 2002*). Dies macht sich das maschinelle *BioRaCe*-System zu Nutze (*Rollison et al. 2002, McGurkin-Smith et al. 2005, Mickel et al. 2007*). Es ist allerdings unmöglich, den Kanal vollständig keimfrei zu machen, was jedoch für den Erfolg nicht zwingend erforderlich ist, denn eine Reduzierung kann bereits eine periradikuläre Heilung induzieren (*Stock et al. 2005*).

4.3 Maschinelles, rotierendes NiTi-Aufbereitungssystem *BioRaCe*

NiTi-Legierungen haben ein „Pseudoelastisches Verhalten“, welches auch bei starker Verformung eine Rückstellung ohne Bruch ermöglicht. Dementsprechend haben diese Instrumente eine 3-4-fach höhere Flexibilität im Vergleich zu Stahlinstrumenten. Aber sie verfügen über eine geringere Härte als Stahl, was in

einer schlechteren Schneidefähigkeit resultiert. Vorteile dieses Systems sind vor allem die Instrumentierung gekrümmter Kanäle und eine weite Aufbereitung des Wurzelkanals ohne Abweichungen im Wurzelkanalverlauf (*Heidemann & Hülsmann 2005*). Die Reinigungseffizienz und die Zeitersparnis bei der Wurzelkanalaufbereitung mittels maschineller Systemen wurden kontrovers diskutiert. Einige Studien zeigten, dass die maschinellen Systeme im Vergleich zur manuellen Aufbereitung hinsichtlich Reinigungseffizienz stand halten können (*Dalton et al. 1998, Azar et al. 2012, Madan et al. 2011*). Die Zeitersparnis mittels maschineller Technik konnte durch *Madan et al. (2011)* nicht bestätigt werden, jedoch zeigten *Peru et al. (2006)* eine deutliche Zeitersparnis bei unerfahrenen Testpersonen.

BioRaCe (Akronym für „Reamers with alternate cutting edges“) ist ein maschinelles Instrumentensystem und wurde zur Aufbereitung von Wurzelkanälen entwickelt, um auch im apikalen Drittel des Wurzelkanals eine ausreichende Aufbereitungsgröße zu erhalten, um eine effektive Spülung des Wurzelkanals und ein effektives Debridement zu erzielen. Eine größere Aufbereitung resultiert eindeutig in einer besseren Reinigung (*Card et al. 2002, McGurkin-Smith et al. 2005*).

Die Instrumente haben eine nicht schneidende Spitze, scharfe Schneidekanten und einen trigonalen Querschnitt. Ferner alternierende Schneidekanten, welche ein Einschrauben in den Wurzelkanal verhindern. Zur Verbesserung der Oberflächenqualität werden diese Instrumente elektrochemisch poliert. Das Basissystem (Abb. 1) enthält sechs Feilen, welche unterschiedliche Konizitäten und Größe haben. BR0 #25 taper .08, BR1 #15 taper .05, BR2 #25 taper .04, BR3 #25 taper .06%, BR4 #35 taper .04, BR5 #40 taper .04. Vor der Verwendung von BR0 wird empfohlen, mit manuellen Stahlinstrumenten bis Größe 15 taper .02 auf Arbeitslänge zu gehen und auch nach der Verwendung von BR0 mit dieser Feile zu rekapitulieren. Die Aufbereitung findet mit einer Umdrehungszahl von 500 U x min⁻¹ und einem Drehmoment von 1 Ncm statt (www.biorace.ch).

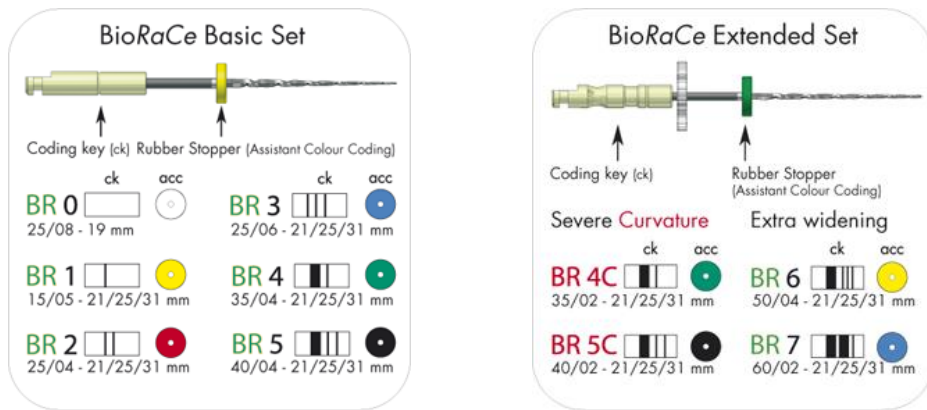


Abb. 1: Die Größen und Kodierungen der *BioRaCe*-Instrumente

4.4 Wurzelkanalspülung

Eine alleinige mechanische Aufbereitung des Wurzelkanals kann keine Keimfreiheit erzielen, sondern lediglich die Keimzahl um ein 100 bis 1000faches absenken, denn manche Bereiche bleiben durch die mechanische Aufbereitung unbearbeitet (*Richard Walker et al. 2005*). Je höher jedoch die Anzahl an Bakterien im Kanal vor der Behandlung war, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass Bakterien nach der Wurzelkanalaufbereitung dort persistieren (*Byström & Sundqvist 1981*).

Die Spülflüssigkeiten sind zwei Problemen ausgesetzt, zum einen müssen die Substanzen in die kleinen lateralen Kanäle eindringen, zum anderen müssen sie Polysaccharid-Matrix zerstören, welche darunterliegende Bakterien schützt (*Stock et al. 2005*). Die Wurzelkanalspüllösungen sind auf Grund ihrer Fähigkeiten (Tab. 1) Keime zu reduzieren, Pulpagewebe aufzulösen und zu entfernen und Dentinspänen abzutransportieren und somit eine Verblockung zu verhindern, ein wichtiger Bestandteil der chemo-mechanischen Wurzelkanalpräparation (*DGZMK, gemeinsame Stellungnahme der DGZMK zur Wurzelkanalspülung 2006*).

<p>Natriumhypochlorit (NaOCl):</p> <ul style="list-style-type: none"> • sehr gute antimikrobielle Wirkung • geringe Toxizität • löst nekrotisches und vitales Gewebe • kann Lipopolysaccharide neutralisieren
<p>Chlorhexidindigluconat (CHX):</p> <ul style="list-style-type: none"> • sehr gute antimikrobielle Wirkung • biokompatibel • nicht gewebeauflösend • kann Lipopolysaccharide nicht neutralisieren • Substantivität am Dentin • guten Wirkung gegen grampositive Keime • Wechselspülung mit NaOCl führt zur Bildung von toxischen Parachloranillin
<p>Wasserstoffperoxid (H₂O₂):</p> <ul style="list-style-type: none"> • geringe antimikrobielle Wirkung • Wechselspülung mit NaOCl führt zur gegenseitige Neutralisation
<p>Phenolhaltige und formaldehydhaltige Substanzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> • unspezifisch toxisch • können periapikale Entzündungen hervorrufen
<p>Jod-Jod-Kali-Lösung (IKI):</p> <ul style="list-style-type: none"> • sehr gute antimikrobielle Wirkung • geringe Toxizität • Cave bei Patienten mit Jod-Allergie
<p>Editinsäure (EDTA):</p> <ul style="list-style-type: none"> • mäßige antimikrobielle Eigenschaft • Entfernung der Schmierschicht • Nachspülen mit Natriumhypochlorit empfohlen
<p>Zitronensäure:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entfernung der Schmierschicht • In höheren Konzentrationen (ab 30%) Zerstörung peritubulären Dentins
<p>Alkohol:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kaum antimikrobielle Wirkung • Fördert Trocknung des Kanals

Tab. 1 Übersicht zu den Eigenschaften endodontischer Spüllösungen (DGZMK 2006)

4.4.1 Natriumhypochlorit (NaOCl)

In dem Konzentrationsspektrum zwischen 0,5-5% gilt Natriumhypochlorit, bedingt durch die gute antimikrobielle Wirkung und geringe Toxizität, seine gewebsauflösende Wirkung so wie durch die Fähigkeit, Bakterientoxine wie Lipopolysaccharide zu neutralisieren, als die Spüllösung der ersten Wahl. Zusätzlich verhindert es als Bleichmittel die Verfärbung des avitalen Zahnes (*Stellungaufnahme der DGZMK 2006, Stock et al. 2005*).

Die chemische Wirkung von NaOCl beruht auf der oxidierende und bleichenden Eigenschaft seiner HOCl-Molekülen und der Fähigkeit der freien Hydroxidionen, Chloridionen und den Hypochloritionen Gewebe zu korrodieren. Der Kontakt von NaOCl mit organischen Molekülen führt zu dessen Zerfall in Na⁺- und Cl⁻-Ionen und damit zu dessen Inaktivierung, dementsprechend sollte ein ständiger Lösungswechsel im Kanal erfolgen (*Byström & Sundqvist 1985*).

Byström und *Sundqvist* zeigten, dass selbst bei der alleinigen Verwendung von 0,5% Natriumhypochlorit nach 5 Sitzungen keine Bakterien mehr nachgewiesen werden konnten. Bei der alleinigen Verwendung von Kochsalzlösung war dies nur in knapp über 50% der Fall (*Byström & Sundqvist 1983*). Zudem zeigten die Lösungen mit 0,5% und 1,5% den gleichen antibakteriellen Effekt. Um diesen Effekt bei NaOCl zu steigern muss nicht die Konzentration erhöht werden, sondern EDTA dazugeben, die Temperatur erhöht oder durch Ultraschall die Lösung aktiviert werden (*Byström & Sundqvist 1985, Stellungnahme der DGZMK zur Wurzelkanalspülung 2006*).

Ferreira de Assis et al. fanden heraus, dass die Desinfektion des Wurzelkanals mit 5,25% Natriumhypochloritlösung keinen Einfluss auf die Adhäsionskraft des Sealers hat (2012).

4.4.2 Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)

EDTA ist wie Zitronensäure ein organischer Chelator. Diese haben die Eigenschaft, Komplexe zu bilden, die das Kalzium des Dentins an sich binden können und somit das Dentin zu erweichen. Die Kombination von EDTA und NaOCl erhöht die Effizienz der Schmierschichtentfernung, jedoch inaktiviert EDTA das NaOCl, aber NaOCl deaktiviert nicht das EDTA. Dementsprechend ist eine Wechselspülung während der Aufbereitung nicht sinnvoll. EDTA wirkt bezüglich der Entfernung des Smear layers besser als Zitronensäure, weshalb dieser Chelator in diesem Versuch verwendet wurde (*D'Arcangelo et al. 2008*).

Eine 15%ige EDTA-Lösung wird verwendet, um den Smear layer zu entfernen (*Stellungaufnahme der DGZMK 2006*). Die Effizienz der Smear layer Entfernung

ist unabhängig von der eingesetzten Menge an EDTA, denn ab einer Menge von 1 ml gibt es keinen signifikanten Unterschied. Die effizienteste Entfernung dieses Smear layers wurde erzielt, wenn 1 ml EDTA (17%) zusammen mit 3 ml 5,25% NaOCl verwendet wurden (*Crumpton et al. 2005*). Eine effiziente Smear layer Entfernung wird nach 1 min erreicht, eine verlängerte Verwendung führt nur zu negativen Begleiteffekten, etwa zu peritubulären und intratubulären Dentinerosionen, jedoch nicht zu einem besseren Resultat (*Calt & Serper 2002*).

4.4.3 *Passive ultraschallgestützte Spülung mit dem EndoActivator*

Das Resultat der Wurzelkanalspülung kann durch die Verwendung von Schallvibrationssystemen deutlich verbessert werden (*Cunningham et al. 1982*). Die Ultraschall gestützte Spülung kann zum einen passiv mit einer nicht schneidende Feile oder aktiv mit Ultraschall betriebene schneidende Feile erfolgen, welche gleichzeitig den Kanal weiter aufbereitet, allerdings überwiegt die Reinigungskraft der passiven Variante (*van der Sluis et al. 2007*). Der Kanal wird mit der gewünschten Spüllösung geflutet und anschließend ein flexibler Polymerkonus, im Falle des *EndoActivators*, vibrierend in den Wurzelkanal eingebracht. Durch die Wirkung der Schallwellen auf Grund von Vibrationen wird der Flüssigkeitsaustausch gesteigert. Zudem kommt es zu einer Erhöhung der Temperatur der Flüssigkeit, wodurch besonders in Seitenkanälen eine bessere Reinigung erzielt wird. In der endodontischen Notfallbehandlung bewährt sich dieses System, da auch bei wenig aufbereiteten Kanälen eine bessere Desinfektion und somit auch eine schnellere Schmerzlinderung erzielt werden kann (*Bago et al. 2013, www.endoactivator.com*).

In Vergleich zur alleinigen Spülung mit einer Injektionsspritze entfernt die passiv ultraschallgestützte Methode deutlich mehr Zelltrümmer auch bei geringeren Konzentrationen an NaOCl (*Agrawal & Kapoor 2012*). Die Effizienz der Smear layer Entfernung nimmt im Vergleich zur normalen Spülung auch deutlich zu (*Al-Ali et al. 2012*).

4.5 **Medikamentöse Einlage**

Wenn die Therapie mehrere Sitzungen umfasst, sollte eine desinfizierende Zwischeneinlage in den Wurzelkanal eingebracht werden, um ein Wachstum von Bakterien nach der chemo-mechanischen Aufbereitung zu verhindern.

Eine solche Einlage sollte in der Lage sein, den Wurzelkanal effektiv zu desinfizieren, keine Reizung auf das periradikuläre Gewebe ausüben, keine Allergien auslösen, einfach in der Handhabung sein, Endotoxine neutralisieren,

verbliebenes Gewebe auflösen und keinen negativen Einfluss auf das Verschlussmaterial haben (*Europäische Gesellschaft für Endodontie 1994*).

Eine medikamentöse Zwischeneinlage kann auch das Ziel haben den Zahn keimfrei zu machen. Es konnte gezeigt werden, dass es in der täglichen Praxis nicht möglich war, den Zahn an 5 Sitzungen alleine mit NaOCl zu spülen, um so eine Keimfreiheit zu erzielen (*Byström & Sundqvist 1983*). Bei einer einmaligen Spülung mit NaOCl waren nur 61,9% der Kanäle bakterienfrei. Nach zusätzlichem Einbringen einer medikamentösen Einlage mit Calciumhydroxid für eine Woche, stieg die Zahl bereits auf 92,5% (*Shuping et al. 2000*).

Es ist wichtig, dass das Medikament vor dem Abfüllen des Kanals entfernt wird, um definitive Füllungen nicht zu beeinträchtigen. Erreicht wird dies mit Spülen alleine oder noch besser mit einer passiven Ultraschallspülung (*Hülsmann et al. Stand 2007*).

4.5.1 Chlorhexidindigluconat (CHX)

Chlorhexidindigluconat wird in der Endodontie ebenfalls als Spüllösung verwendet, wo es gegenüber NaOCl sowohl Vorteile als auch Nachteile mit sich bringt. Ein großer Vorteil von CHX ist, dass es ein breites Wirkungsspektrum besitzt und somit im Gegensatz zu Calciumhydroxid besser in der Lage ist, Pilze und *Enterococcus faecalis* zu entfernen (*Eswar et al. 2013, Carbajal Mejía 2013, Atila-Pektaş et al. 2013*). Ferner besitzt es eine geringe Toxizität. Dagegen ist es nicht in der Lage, Gewebe aufzulösen, welches für eine Spüllösung von Bedeutung ist. Dem entsprechend kommt CHX als Spülmittel nur zur abschließenden Desinfektion in Frage. Jedoch beträgt die optimale Kontaktzeit 30-60 Minuten, welches durch diese kurze Spülzeit nicht gegeben ist. Chlorhexidindigluconat wird auf der anderen Seite als medikamentöse Einlage kontrovers diskutiert (*DGZMK 2006, Teles et al. 2013*).

4.5.2 Calciumhydroxid (Ca(OH)_2)

Calciumhydroxid wird in der Zahnmedizin für verschiedene Anwendungen eingesetzt. Zum einen, um die Tertiärdentinbildung im Rahmen der direkten bzw. indirekten Pulpakappung anzuregen. Zum anderen ist es das meistverwendete Material für die medikamentöse Zwischeneinlage bei der Wurzelkanalbehandlung. Calciumhydroxid nutzt dafür den hohen pH-Wert und seine Fähigkeit Hydroxylionen abzugeben aus. Dadurch denaturieren Proteine und Enzyme und werden inaktiv, zudem hindert Ca(OH)_2 die Wurzelresorption (*Mohammadi & Dummer 2011*). Jedoch kann Ca(OH)_2 andererseits kein Gewebe

auflösen, ist nicht effektiv gegen *Enterococcus faecalis* und wirkt schlecht gegen *Candida albicans* und *Actionomyces radidentis* (Waltimo et al. 1999; Safavi et al. 1990; Haapasalo & Ørstavik 1987).

Die positive Wirkung von Ca(OH)_2 als temporäre Einlage beruht darin, dass es in der Lage ist, freie Fettsäuren aus bakteriellen Lipopolysacchariden zu hydrolysieren und damit diese auszulösen (Safavi & Nichols 1993).

Calciumhydroxid kann seine antibakterielle Wirkung nicht wie CHX als Kurzzeit-Einlage entfalten, sondern braucht einige Tage dafür (Sjögren et al. 1991).

4.5.3 Guttaperchaspitzen mit Calciumhydroxid und Chlorhexidindiglukonat

Die ISO-genormten Imprägnierten Guttaperchaspitzen ermöglichen eine leichte und schnelle Einbringung und Entfernung der medikamentösen Zwischen-einlagen in den Wurzelkanal.

Die Chlorhexidindiglukonat-Stifte bestehen aus einer Guttaperchamatrix 5 % Chlorhexidindiacetat, ZnO , BaSO_4 und Farbpigmenten. Das enthaltende CHX wird nach Herstellerangabe durch den feuchten Kanal und die Flüssigkeit aus den Dentintubuli aus den Points freigesetzt.

Die Calciumhydroxid Plus-Spitzen, haben als Zusatz Natriumchlorid und Benetzungsmittel beigemischt, welche eine Porenbildung und somit auch eine Oberflächenvergrößerung bewirken. Ansonsten enthalten sie 52% Calciumhydroxid und 42% Guttapercha. Durch die im Wurzelkanal enthaltene Feuchtigkeit löst sich schnell Ca(OH)_2 aus den Spitzen und ein pH-Wert von über 12 wird durch eine konstante Zersetzung gehalten (Coltène/Whaledent).

Es wird kontrovers diskutiert, ob imprägnierte Guttaperchaspitzen eine ausreichende Menge des Medikaments abgeben und somit eine desinfizierende Wirkung erzielen können. In-vitro-Studien an extrahierten menschlichen Zähnen haben gezeigt, dass die Chlorhexidindiglukonat-Stifte nicht in der Lage waren, *Enterococcus faecalis* nach einer zweiwöchigen Verweildauer zu entfernen, welches eigentlich die besondere Eigenschaft von CHX ist (Lui et al. 2004). Andererseits zeigten Studien an Rinderzähnen bzw. in simulierten Wurzelkanälen, dass die *Activ Points* mit Chlorhexidindiglukonat nach einer siebentägigen Einlage bzw. nach 5 Stunden eine vollständige Bakterienfreiheit erreichte (Lin et al. 2003, Ebert et al. 2008).

Wenn man die Calciumhydroxid Plus-Stifte mit den gewöhnlichen Pasten vergleicht, schnitten die Points hinsichtlich Apexifikation etwas schlechter ab, sind jedoch trotzdem zu 92% erfolgreich (Bezgin et al. 2012) und zeigten eine geringere antibakterielle Wirkung gegenüber *Enterococcus faecalis* (Ebert et al.

2008). Zusätzlich wurde bei den Pasten im Vergleich zu den Points ein etwas höherer pH-Wert erreicht, jedoch haben die weiter entwickelten *Calciumhydroxid Plus Points* im Gegensatz zu den *Calciumhydroxid Points* einen dreifach höhere Hydroxylionen-Abgabe und einen etwas höheren pH-Wert. Nach der Verwendung zeigen die Points eine poröse Oberfläche (Lohbauer et al. 2005).

4.6 Wurzelkanalfüllung

Die Wurzelkanalfüllung verfolgt das Ziel, ein Eindringen von Mikroorganismen zu verhindern und den Wurzelkanal möglichst komplett zu auszufüllen, einschließlich angrenzender Dentintubuli und akzessorischer Seitenkanäle (Europäische Gesellschaft für Endodontologie 1994). Die Wurzelkanalfüllung an sich hat keine therapeutische Wirkung, so dass bei bestehenden Schmerzen und Beschwerden die Obturation des Wurzelkanals nicht erfolgen sollte.

Ein Wurzelkanalfüllmaterial sollte folgende Bedingungen erfüllen:

1.	einfache Applikation in den Wurzelkanal
2.	laterale und apikale Abdichtung des Kanals
3.	keine Schrumpfung
4.	feuchtigkeitsresistent
5.	bakteriostatisch bzw. keine Förderung von Bakterienwachstum
6.	röntgenopak
7.	keine Belastung für die Zahnhartsubstanz
8.	keine Irritation des periapikalen Gewebes
9.	steril, bzw. einfach sterilisierbar
10.	einfache Entfernbarkeit

Tab. 2 Anforderungen an Wurzelkanalfüllmaterial (Grossman 1978)

Da kein Material alle Anforderungen an ein Füllmaterial erfüllt, wird eine Kombination aus einem Stift, in der Regel Guttapercha, und einer Wurzelkanalfüllpaste (Tab.3) , dem Sealer, verwendet. Dabei hat der Sealer die Aufgabe den Spalt zwischen dem Guttaperchastift und der Dentinwand zu füllen so wie Ausbuchtungen und lateral Kanäle, und den Kanal von apikal und koronal gegen Flüssigkeiten und Bakterien abzudichten (Schäfer 2003).

4.6.1 Sealer

Sealer	Vorteile	Nachteile
Zinkoxid-Eugenol-Paste	<ul style="list-style-type: none"> • gute klinische Ergebnisse • dauerhafter Randschluss • im periapikalen Gewebe resorbiert 	<ul style="list-style-type: none"> • in Gewebsflüssigkeit löslich • Nekrose Desmodont oder Knochen bei massiver Überfüllung • Eugenol ist neurotoxisch und zytotoxisch
Epoxidharz-Basis	<ul style="list-style-type: none"> • Sehr gutes Abdichtungsvermögen • Gute Volumenbeständigkeit • Geringe Irritation des periapikalen Gewebes • Empfohlen von der DGZMK 	<ul style="list-style-type: none"> • Älteres Epoxidharz setzt beim anmischen eine geringe Menge Formaldehyd frei (die verbesserten aber nicht)
Methacrylat-Basis	<ul style="list-style-type: none"> • Teilweise resorbierbar 	<ul style="list-style-type: none"> • Unter Flüssigkeits-einfluss unkontrollierte Expansion und inhomogene Abbindung • In trockenen Verhältnissen schrumpft es • Fördert Entzündungsprozesse im periapikalen Gewebe
Polyketon-Basis	<ul style="list-style-type: none"> • Gute Biokompatibilität • Gute Volumenbeständigkeit • Gute Abdichtung 	
Polydimethylsiloxan-Basis		<ul style="list-style-type: none"> • Wenig erforscht
Glasisomer-Zement-Basis Salicylat-Basis mit Calciumhydroxid	<ul style="list-style-type: none"> • Ausgezeichnete Biokompatibilität • Gute Dichtigkeit • Gute Volumenbeständigkeit 	<ul style="list-style-type: none"> • Langfristige Auflösungsprozesse durch orale Flüssigkeit nicht geklärt
Guttapercha-Basis		<ul style="list-style-type: none"> • Zusätze sind zytotoxisch und kanzerogen • Starke Schrumpfung
Sealer mit Medikamentenzusätzen		<ul style="list-style-type: none"> • Zytotoxisch • Hemmen die Heilung des periapikalen Gewebes • Allergische Reaktionen möglich

Tab. 3 Materialgruppen von Wurzelkanalfüllpasten (Schäfer & Hickel 2000)

Roeko GuttaFlow 2

GuttaFlow 2 findet Anwendung als Füllungsmaterial für Wurzelkanäle in der Zahnheilkunde. Es verfügt über eine gute Biokompatibilität (*Scelza et al. 2012*). Die Bestandteile dieses Produktes sind Guttaperchapulver, Polydimethylsiloxan, Paraffinöl, Platinkatalysator, Zirkondioxid, Farbstoff und als Konservierungsstoff Mikro-Silber. Durch die Zugabe von Guttaperchapulver mit einer Körnung weniger als 30 µm verbindet dieses Füllsystem die Eigenschaften von Sealer und Guttapercha. Zusätzlich expandiert das Material während des Abbindens, was einen optimalen Randschluss und eine gute Adhäsion am Masterpoint wie auch an der Kanalwand zur Folge hat (*Wu et al. 2011, Vujasković et al. 2010*)

Des Weiteren zeigte *GuttaFlow* in Vergleich zu *AH Plus, Epiphany, RelyX Unicem, Apexit* einen geringen Einfluss auf Spülflüssigkeitsresten (*Roggendorf et al. 2005*) und aufgrund der Silikonbasis, die es vom RoekoSeal geerbt hatte, nahezu keine Löslichkeit (*Schäfer & Zandbiglari 2003*).

5 Material und Methode

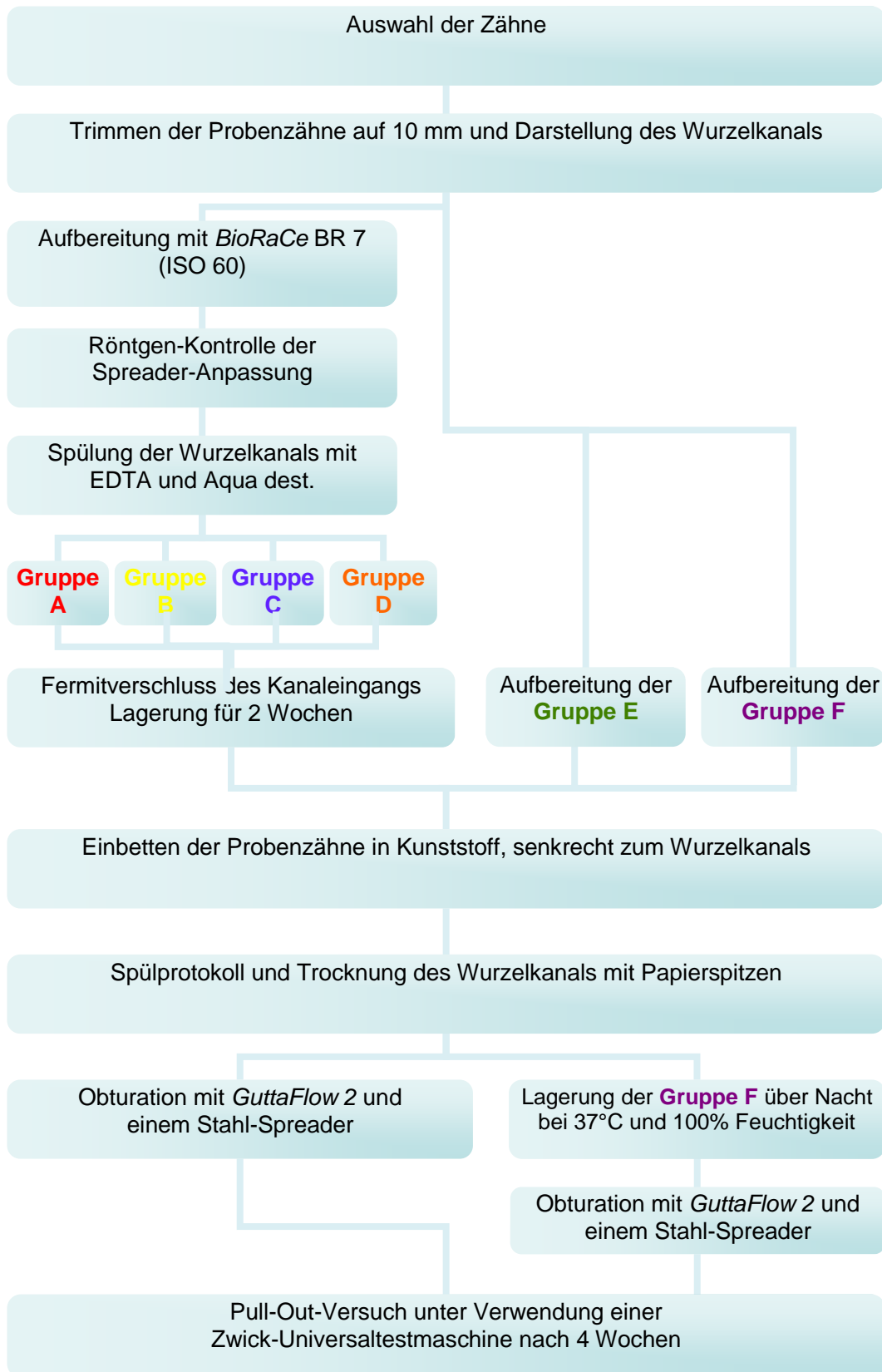


Abb. 2 Flow-Chart des Studienablaufs

5.2 Auswahl und Vorbereitung der Probenzähne

Die für diese Studie verwendeten, menschlichen Zähne wurden in verschiedene zahnärztliche Praxen im Rahmen erforderlicher Extraktionen in Aqua dest. gelagert. Zehn Tage vor Beginn der Versuchsreihe wurden die Zähne nach Aufklärung der Patienten, Informed Consult Sheet, zur Desinfektion in Choramin-T-Lösung (0,5%) eingelegt. Aufgrund der Anonymisierung der Zahnproben ist kein Ethikvotum der Ethikkommission Marburg erforderlich gewesen.

Zunächst wurden die extrahierten, humanen Zähne nach den folgenden Kriterien für diese Studie ausgewählt:

- abgeschlossenes Wurzelwachstum
- keine stark gekrümmten Kanäle
- keine Pfahlwurzeln
- nicht vorangegangene Wurzelkanalfüllung

Die Auswahl der Zähne erfolgte visuell und nachfolgend mittels digitaler Röntgenkontrolle.

Die Zähne wurden vor der weiteren Bearbeitung mit einem Scaler von Konkrementen, Desmodont sowie weiteren Belägen gesäubert.

Anschließend wurden die Zähne von koronal her auf 10 mm resultierende Wurzellänge getrimmt und falls der Wurzelkanaleingang noch nicht dargestellt war, wurde dieser mittels eines Rosenbohrers dargestellt.

Im Anschluss wurden die Kanäle mittels einer C-Feile ISO 15 auf Gängigkeit getestet und mittels *BioRaCe*-Instrumenten (Abb.3) auf #40 maschinell auf eine Länge von 8 mm aufbereitet. Zwischen den einzelnen *BioRaCe*-Feilen wurden die Kanäle mit einer ISO 15 Feile rekapituliert und mit Natriumhypochlorit (2,5%) bis zur Erreichung einer klaren Flüssigkeit durchgespült.



Abb. 3 *BioRaCe*-Feilen Basic-Set

Am folgenden Tag wurden die Zähne mittels *BioRaCe* auf ISO 60 maschinell weiter auf die Arbeitslänge von 8 mm aufbereitet, wobei die Feile BR 6 übersprungen wurde, da diese nicht mit der Konizität der vorgefertigten Spreader übereinstimmt. Nach der fertigen Aufbereitung wurden die Spreader angepasst, indem Spreader-Rohlinge der ISO-Größe 25 durch apikales Kürzen an die Zielgröße ISO 60 adjustiert wurden.

Die Anforderungen an die Spreader waren folgende:

- minimale Friktion („tug back“)
- acht Millimeter in den Kanal hinein ragen
- dicht an den Kanalwänden angelegen

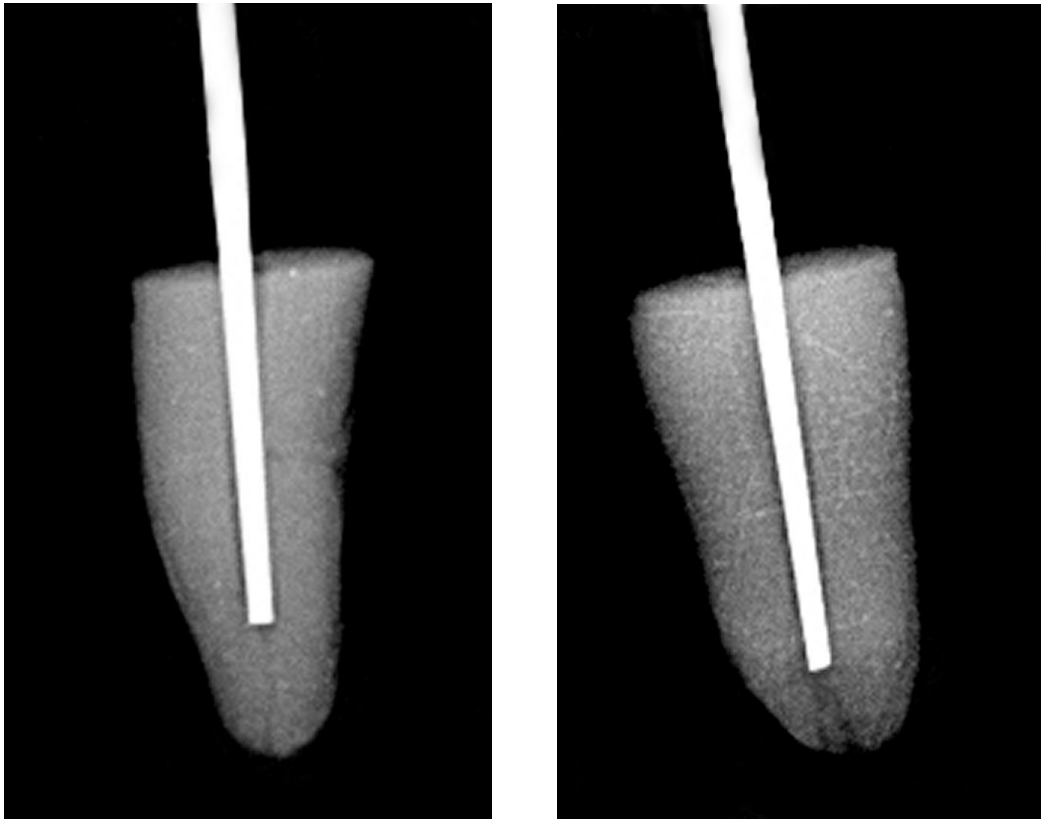


Abb. 4 Zwei Beispiele von Röntgenbildern zur Kontrolle von Spreaderposition und -passung

Der Sitz des Spreaders wurde zusätzlich röntgenologisch überprüft (Abb,4), wobei Zähne, bei denen der Spreader den Anforderungen nicht entsprach, aussortiert wurden. Nach der Röntgenkontrolle wurden die Kanäle mit jeweils 0,5 ml EDTA (16%) zur Entfernung des Smear layers gespült und anschließend gründlich mit Aqua dest. nachgespült, um ein Zurückbleiben des EDTA und somit eine mögliche Inhibition der Medikamente auszuschließen. Im Anschluss wurden die Kanäle mit Papierspitzen getrocknet und die vier verschiedenen Medikamenten eingebracht.

Dazu wurden in den experimentellen Gruppen (n=10) dieser Studie wurden folgende Medikamente verwendet (Abb.5):

- Gruppe A: *Chlorhexamed direkt Gel* (1%)
- Gruppe B: *UltraCal XS*
- Gruppe C: *Roeko Activ point (Chlorhexidine)* ISO 50
- Gruppe D: *Calciumhydroxide Plus Points* ISO 50



Abb. 5 Verwendete medikamentöse Einlagen

Bei den Gruppen A und B war die gründliche Trocknung der Kanäle von Bedeutung um eine Inhibition des Medikamentes zu verhindern. Jedoch wurde bei den Gruppen C und D nur der Überschuss an Wasser mit den Papierspitzen entfernt, da die Points Feuchtigkeit im Wurzelkanal benötigen um ihre Wirkungen zu entfalten. Ferner wurden in der Gruppe C + D die imprägnierten Stifte zwei ISO-Größen kleiner verwendet. Die Medikamente der ersten beiden Gruppen wurden mittels flexibler, dünner Kanüle im Überschuss eingebracht und das Medikament der Gruppen D und C wurde mit einer Pinzette eingebracht und auf die richtige Länge gekürzt.

Im Nachhinein wurde der Überschuss mit einer Watterolle entfernt und der Kanäleingang mit *Fermit* verschlossen und 20 Sekunden lang photopolymerisiert. Die Zähne wurden einzeln mit dem zugeordneten Spreader steril mit einer mit Aqua dest. befeuchteten Watte in *Eppendorf*-Gefäße verpackt und zwei Wochen gelagert.

Um zu gewährleisten, dass das Medikament bis kurz vor dem nach folgenden Spülprotokoll seine Wirkung entfalten könnte, wurden die Medikamente nicht herausgespült, sondern in den Gruppen A und B wurde der Spreader eingebracht und so das Medikament verpresst und bei den Gruppe C und D wurden die aktiven Points mittels Explorersonde entfernt und die restliche Flüssigkeit wurde im Kanal belassen. Anschließend wurden die Zähne in aus A-Silikon (*Silatec*) hergestellte Formen mit transparentem Kunststoff (*Palapress*) eingebettet (Abb.6a-c), wobei ein apikales Eindringen des Kunststoffes in den Wurzelkanal durch einen *Fermit*-Verschluss verhindert wurde. Zur Einbettungen wurde eine Absenkvorrichtung gebaut, wo die Zähne an *Bio-RaCe* Feilen der Größe ISO 60 aufgehängt wurden und senkrecht abgesenkt wurden. Somit

wurde erzielt, dass alle Zähne in der Achsrichtung des Wurzelkanals eingebettet worden sind.

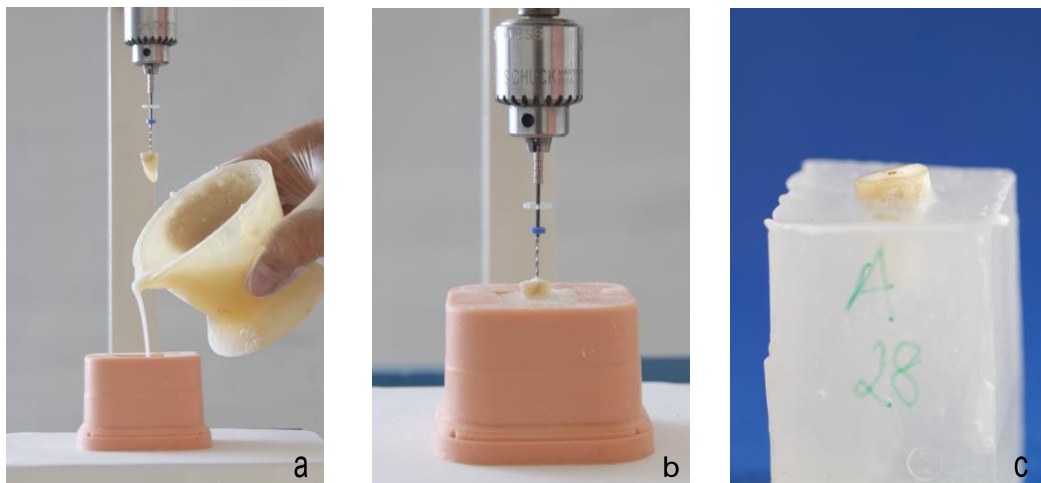


Abb. 6 Einfüllen von *Palapress* in die Silikonform (a), Absenken eines Zahnes in *Palapress* mittels Parallelometer (b), fertiges Probenblöckchen mit eingebettetem Zahn (c).

Nachdem der Kunststoff ausgehärtet war, wurden die Kanäle sofort laut Spülprotokoll (Tab. 4) gespült.

Reihenfolge	Lösung	Menge (in ml)	Aktivierung (<i>EndoActivator</i>)	Dauer der Aktivierung (in s)
1.	NaOCl (2,5%)	2,5	ja	60
2.	EDTA (16%)	2,5	ja	60
3.	NaOCl (2,5%)	2,5	nein	0
4.	Aqua dest.	2,5	nein	0

Tab. 4 Eingesetztes Spülprotokoll



Abb. 7 Verwendeter Sealer *GuttaFlow 2* in der Doppelkartuschenspritze mit Mixing-Tip

Im sofortigen Anschluss wurden die Kanäle mit mehreren Papierspitzen ISO-Größe 60 gründlich getrocknet und der Sealer *GuttaFlow 2* (Abb.7) appliziert. Der Sealer wurde mittels flexibler Kanüle und Spritze eingebracht und anschließend wurde der passende Spreader mit einer Pinzette eingebracht. Extrusion des Sealers wurde als Zeichen gedeutet, dass sich ausreichend Material im Kanal befand.

Zeitgleich wurden die Kontrollgruppen gleichermaßen mit der letzten *BioRaCe*-Feile auf ISO 60 aufbereitet. In dieser Versuchsreihe wurden zwei Kontrollgruppen verwendet:

- Gruppe E: trockene Gruppe
- Gruppe F: feuchte Gruppe

Der Unterschied in den beiden Gruppen lag darin, dass die trockene Gruppe nach dem Spülprotokoll und dem trockenen mit Papierspitzen sofort abgefüllt wurde und die feuchte hingegen zunächst bei 37°C und 100% Feuchtigkeit über Nacht aufbewahrt wurde und erst am nächsten Morgen abgefüllt wurde.

Die eingebetteten Zähne wurden vier Wochen bei 20°C und 100% Feuchtigkeit aufbewahrt und dann in eine Universaltestmaschine (Zwick) eingespannt (Abb.8).

5.3 Analyse des Haftverbundes

Die Pull-Out-Kraft wurde automatisch getriggert bis zum Versagen des Haftverbundes. Dabei betrug die Vorschubgeschwindigkeit 2 mm/min. Die für jede einzelne Probe ermittelte Pull-Out-Kraft wurde in Newton (N) gemessen. Basierend auf der Berechnung für einen Konusabschnitt von 8 mm Konuslänge resultierte eine effektive Mantelfläche von 17,2 mm². Anhand dieser Werte wurden die Messwerte nachfolgen in Megapascal (MPa) umgerechnet.

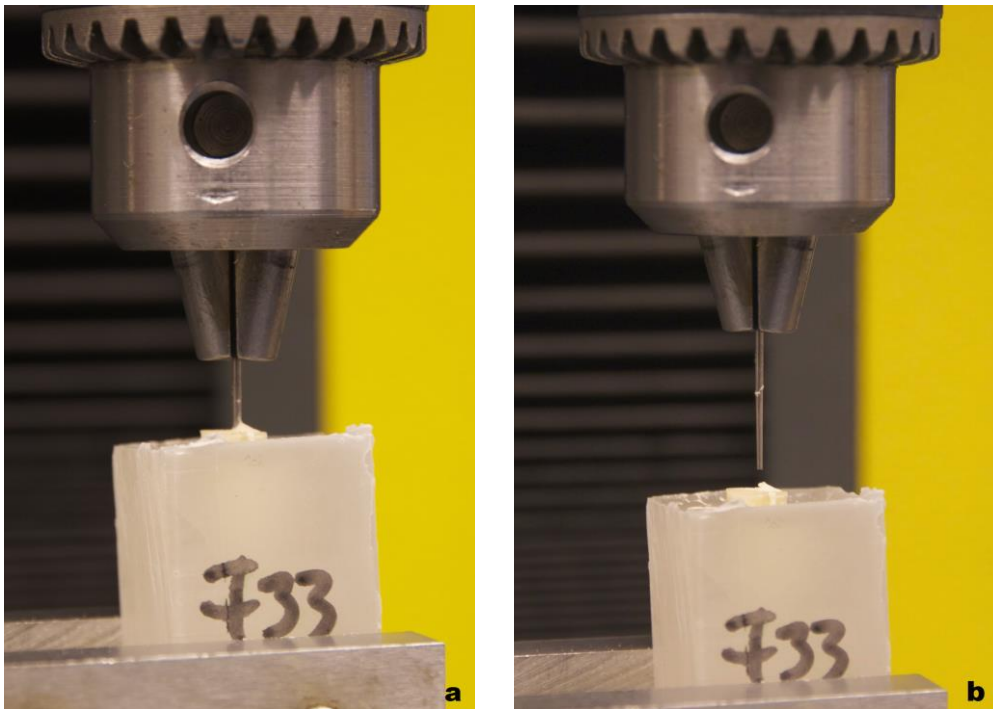


Abb. 8 Zwick-Universaltestmaschine mit eingespannter Probe vor (a) und nach (b) dem Pullout-Versuch

5.4 Auswertung der Frakturmodi

Die aus den Wurzelkanälen durch die Zwick-Universaltestmaschine extrudierten Stahlspreader wurden nachfolgend einer optischen Auswertung unterzogen. Dazu erfolgte eine Fotodokumentation aller Spreader mittels einer Digitalspiegelreflexkamera (*Canon EOS 500D*) mit einem angeschlossenen Micro-Objektiv (*Canon MP-E 65*) bei einer 3-fachen Vergrößerung. Dabei sollten mögliche Unterschiede der Frakturmodi ermittelt werden, die potenziell durch unterschiedliche Einflüsse der verschiedenen medikamentösen Einlagen hätten bedingt sein können.

Zusätzlich wurden die Blöckchen von apikal bis ins mittlere Wurzel Drittel getrimmt und rasterelektronische Aufnahmen angefertigt, um das Detachment des Sealers im Bereich zum Wurzelkanal Dentin zu analysieren.

6 Ergebnisse

GuttaFlow 2 zeigte unabhängig von der medikamentösen Einlage generell sehr geringe Haftwerte (Tab. 5, Abb.9). Der niedrigste Haftverbund im Rahmen dieser Studien wurde in der feuchten Kontrollgruppe erreicht (0,51 MPa). Der höchste hingegen war fast doppelt so hoch und konnte durch Chlorhexidindiglukonatgel erreicht werden (0,84 MPa). Im Allgemeinen zeigten die Mittelwerte, dass nach Applikation und Einwirken von pastenförmigen medikamentösen Einlagen ein höherer Haftverbund resultierte als nach Einlage von imprägnierten Guttaperchastiften. Jedoch war einerseits der Mittelwert von Chlorhexidindiglukonat bei den beiden Pasten am höchsten, aber andererseits war der Mittelwert von den *Calciumhydroxid Plus Points* (0,63 MPa) höher als die der *ActivPoints* mit Chlorhexidindiglukonat (0,58 MPa).

Medikamentöse Einlage oder Kanalbedingungen	Mittelwert (in MPa)	Median (in MPa)	Standardabweichung (in MPa)	Minimum (in MPa)	Maximum (in MPa)	Interquartilbereich (in MPa)
<i>Chlorhexamed-Gel</i>	0,8400	0,7200	0,60921	0,08	2,42	0,29
<i>Ultracal XS</i>	0,7700	0,7750	0,33287	0,16	1,32	0,39
<i>ActivPoint</i>	0,5840	0,6150	0,24690	0,16	1,02	0,33
<i>Calciumhydroxid Plus Point</i>	0,6280	0,7150	0,35792	0,08	1,22	0,56
feucht	0,5140	0,3200	0,47383	0,20	1,74	0,44
trocken	0,5489	0,3900	0,35740	0,24	1,25	0,54

Tab. 5 Übersicht der Messwerte zum Haftverbund in den verschiedenen experimentellen Gruppen

Die statistische Auswertung der verschiedenen Einflussfaktoren mittels Mann-Whitney-Test und Kruskal-Wallis-Test ergab keinen signifikanten Unterschied hinsichtlich des Haftbundes (Tab. 6). Eine Signifikanz war hingegen bei Chlorhexidindiglukonat im Vergleich zu der feuchten Kontrollgruppe gerade eben nicht.

	Chlorhexamed-Gel	Ultracal XS	ActivPoint	Calciumhydroxid Plus Point	feucht	trocken
Chlorhexamed-Gel	-	0,912	0,353	0,579	0,052	0,156
Ultracal XS	0,912	-	0,218	0,436	0,075	0,156
ActivPoint	0,353	0,218	-	0,684	0,218	0,400
Calciumhydroxid Plus Point	0,579	0,436	0,684	-	0,353	0,604
feucht	0,052	0,075	0,218	0,353	-	0,400
trocken	0,156	0,156	0,400	0,604	0,400	-
Kruskal-Wallis-Test; p=0,259						

Tab. 6 Signifikanz-Werte nach statistischer Analyse mittels Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney-Test

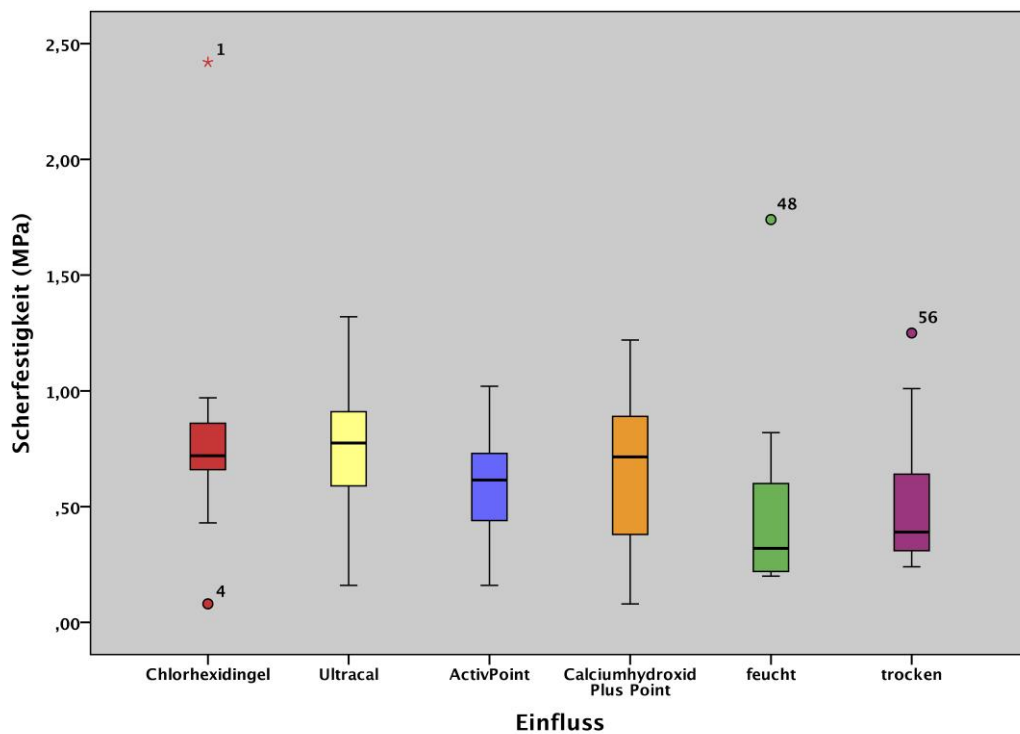


Abb. 9 Boxplot-Diagramm der Haftwerte von GuttaFlow 2 nach verschiedenen medikamentösen Einlagen

	adhäsiv Zahn/Sealer	adhäsiv Sealer/Spreader	kohäsiv	gemischt
Chlorhexamed- Gel	0	6	0	4
Ultracal XS	0	8	0	2
ActivPoint	0	8	0	2
Calciumhydroxid Plus Point	0	8	0	2
feucht	0	6	0	4
trocken	0	7	0	3

Tab. 7 Lichtmikroskopisch ermittelte Frakturmodi nach Pull-Out-Analyse

Die lichtmikroskopische Analyse ergab, dass der Frakturmodus nach dem Debonding vorherrschend im Bereich des Interfaces Spreader/Sealer auftrat (zwischen 60-80% aller Fälle) (Tab.7). Kohäsive Frakturen sowie Verluste aufgrund des Versagens des Haftverbunds zwischen Zahn und *GuttaFlow 2* traten hingegen in keinem Fall auf. Lediglich gemischte Frakturmodi (Kombination aus mindestens 2 verschiedenen Frakturmodi) waren jeweils in den restlichen Fällen zu beobachten (20-40 %) (Abb.10).

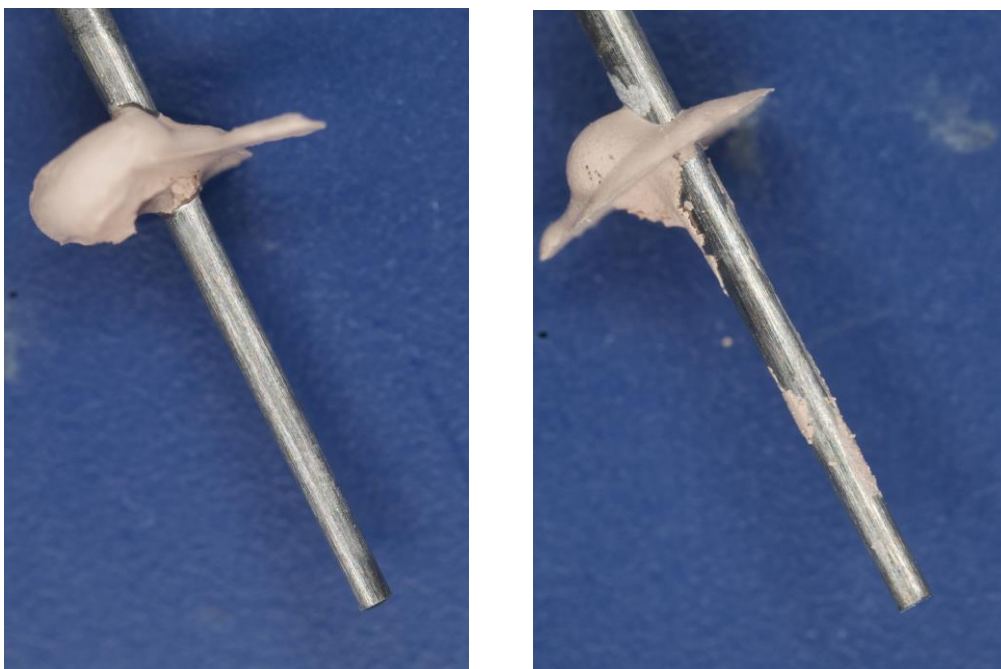


Abb. 10 Exemplarische Darstellung der Frakturmodi nach lichtmikroskopischer Analyse. Adhäsive Fraktur zwischen Sealer und Spreader (a), gemischte Fraktur (b).

Exemplarische rasterelektronenmikroskopische Aufnahmen zeigen eine teilweise Ablösung des Sealer-Layers von der Kanalwand infolge der durchgeführten Pull-Out-Analyse (siehe Abb. 11).

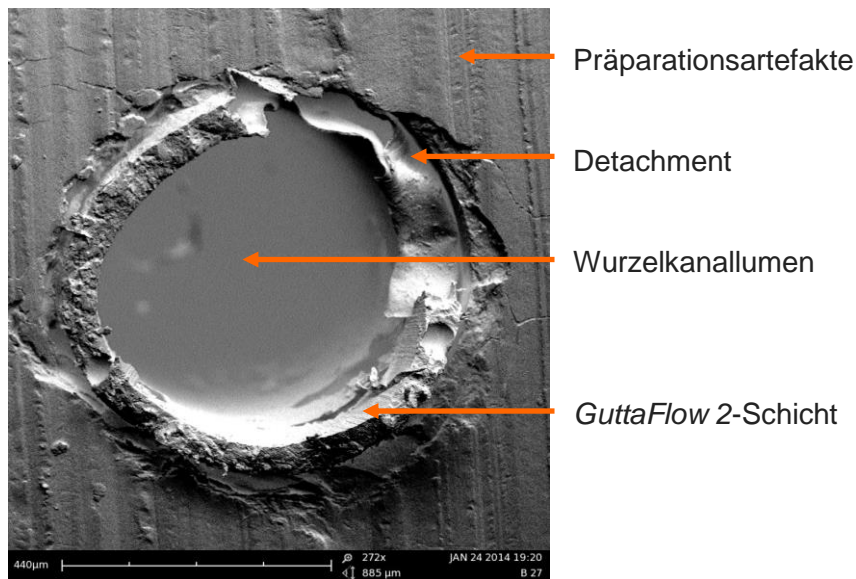


Abb.11 Rasterelektronenmikroskopisches Photo des gesamten Wurzelkanalquerschnitts (272fache Vergrößerung). Im Wurzelkanallumen ist eine *GuttaFlow 2*-Schicht mit teilweise Detachment und Unterbrechungen, sowie Aufwerfungen im Bereich der Schnittstelle als Präparationsartefakte durch Erstellen des Querschnittsphotos zu sehen.

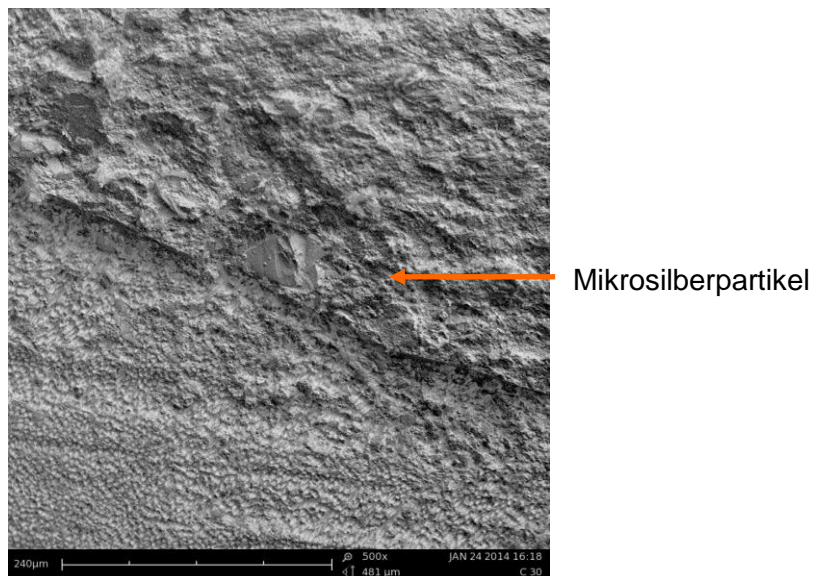


Abb. 12 Rasterelektronenmikroskopisches Photo (500fache Vergrößerung) der Materialzusammensetzung von *GuttaFlow 2*, einer Komposition aus Silikon, Guttapercha-Partikeln und Mikrosilber.

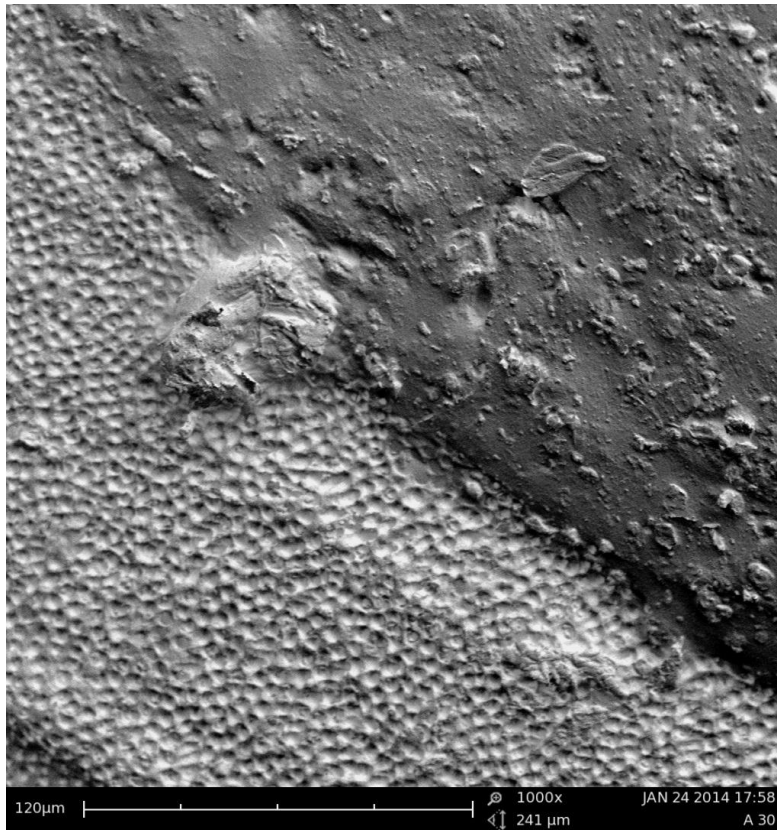


Abb. 13 Rasterelektronenmikroskopisches Photo (1000fache Vergrößerung) des Übergangs zwischen *GuttaFlow 2* und Dentin.

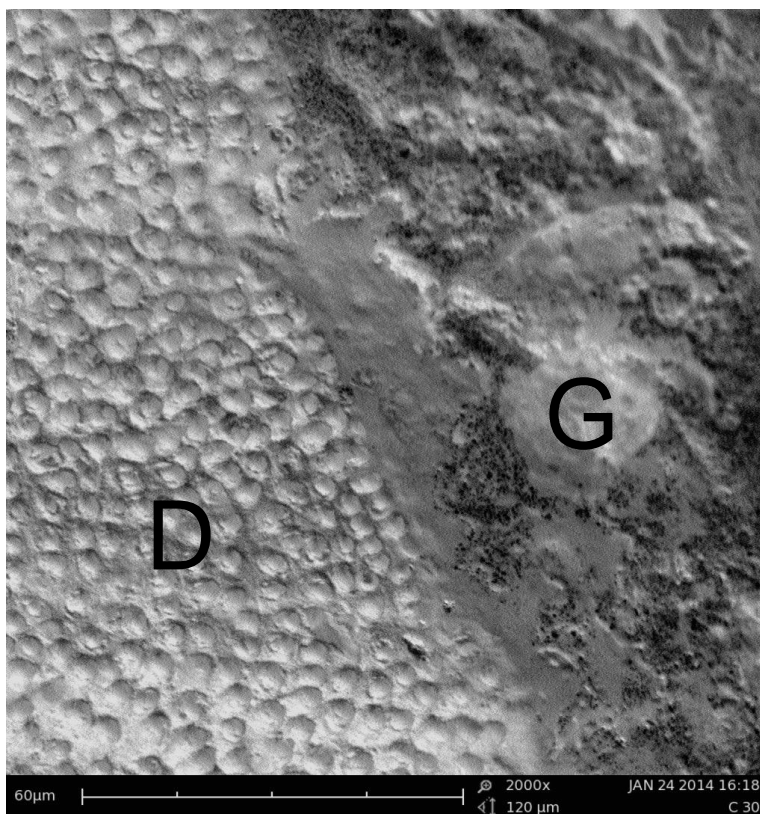


Abb. 14 Rasterelektronenmikroskopische Darstellung der *GuttaFlow 2*-Schicht (G) (2000fache Vergrößerung) im Übergang zum Dentin (D).

Ferner sind durch die Wurzelkanalspülung vom Smear layer befreite, offene Dentintubuli erkennbar, in denen teilweise noch Reste der Sealer-Zotten (sog. „tags“) mit sichtbaren Mikrosilberpartikeln persistent sind (siehe Abb.12-16). Eine Obturation der Dentintubuli mit medikamentöser Paste ist ausgeschlossen, da es sich in Abb. 16 um eine Probe der Gruppe D handelt, wo keine medikamentöse Paste zum Einsatz kam, sondern *Calciumhydroxide Plus Points*.

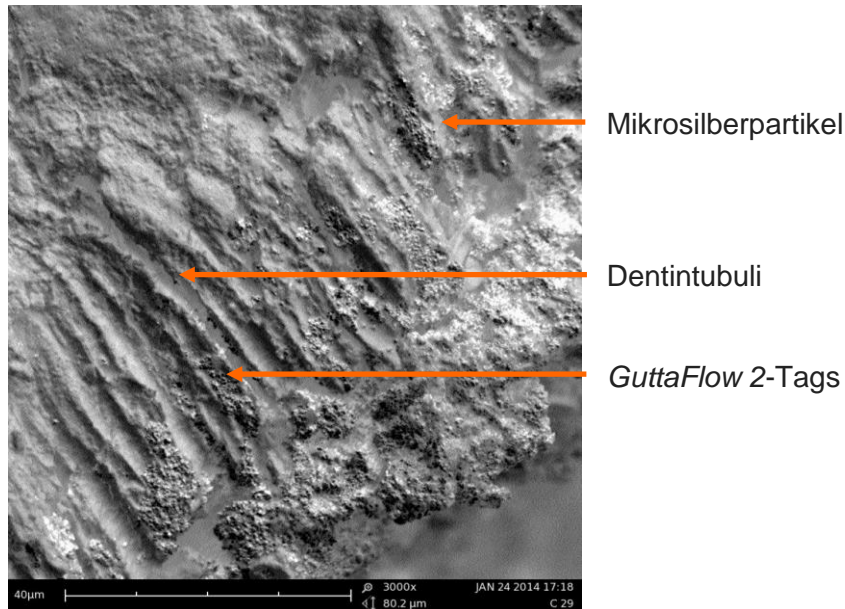


Abb. 15 Rasterelektronenmikroskopisches Photo mit 3000fache Vergrößerung der Dentintubuli. Erkennbar sind *GuttaFlow 2*-Tags und Mikrosilberpartikel in den Dentintubuli.

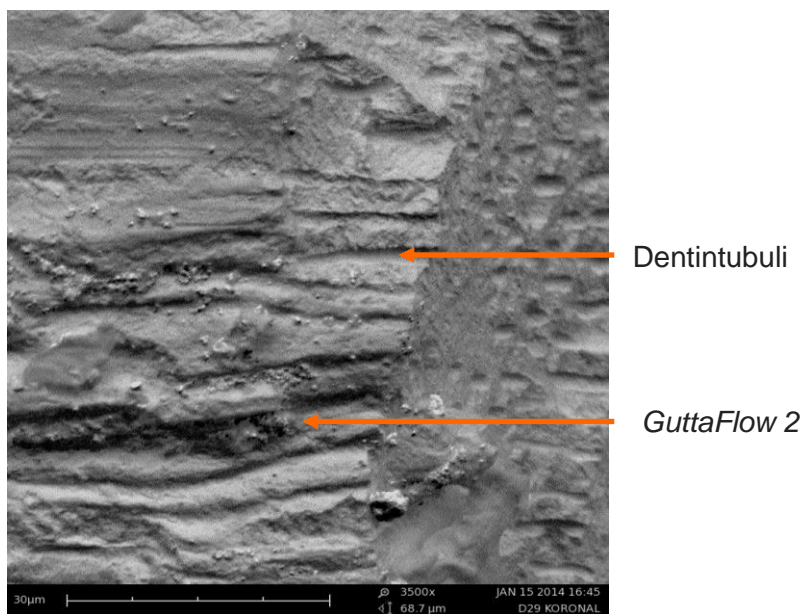


Abb. 16 Rasterelektronenmikroskopische Darstellung (3500fache Vergrößerung) der longitudinal eröffneten Dentintubuli, die teilweise mit *GuttaFlow 2* gefüllt sind (siehe Pfeile).

7 Diskussion

7.1 Diskussion der Methodik

Einheitliche Voraussetzung der Gruppen

Auf Grund der randomisierte Verteilung der röntgenologisch untersuchten Zähne und dem einheitlichen Vorgehen hinsichtlich Lagerung, Aufbereitung, Spülprotokoll, Dauer der Zwischeneinlage und Applikation des Sealers wurde versucht in jedem Wurzelkanal gleiche Voraussetzung zu schaffen.

Der einzige Unterschied zwischen den Gruppen war der Zeitpunkt der Aufbereitung. Die Kontrollgruppen wurden erst am Tag des Einbettens aufbereitet, um die klinische Situation zu simulieren.

Gruppenstärken

Vor der Versuchsreihe wurde zunächst eine G-Power-Analyse mit einer Fallzahl von $n=5$ durchgeführt. Bereits hier ergab sich eine sehr hohe Fallzahl, so dass auf Grund der Praktikabilität eine Gruppenstärke von $n=10$ gewählt wurde. Eine abschließende Wiederholung der Poweranalyse mit *G-Power* mit allen Proben ergab, dass eine Gruppenstärke von 68 im günstigsten Fall und von 3937 im Extremfall erforderlich gewesen wäre, um einen Unterschied zwischen den Gruppen zu erhalten. Dem entsprechend hätte eine Erhöhung der Fallzahlen auf $n=20$ keine Auswirkungen gehabt.

7.1.1 Probenauswahl

Ausschlusskriterien für Zähne in dieser Studie

Gekrümmte Kanäle wurden durch optische Röntgenkontrolle ausgeschlossen, zusätzlich wurden nach erfolgter Wurzelkanalaufbereitung unregelmäßige Kanalquerschnitt optisch durch visuelle Kontrolle der koronalen Spreaderpassung detektiert.

Die Kongruenz von Spreader und Kanalform wurden zudem röntgenologische überprüft und die Spreader sollten eine apikale Klemmpassung aufweisen (sog. tug back). Alle Probenzähne, die diesen Anforderungen nicht entsprachen, wurden aussortiert, damit gewährleistet werden konnte, dass durch eine Kongruenz von Spreader und Kanalform die Haftfläche überall vergleichbar war.

Lagerung der für die Studie eingesetzten Zähne bis zum Versuchsbeginn

Die Lagerung und das Alter der humanen Zähne könnten einen Einfluss auf den Haftverbund bewirken. Es ist schwierig die erforderlichen Zähne exakt gleichen Alters zu sammeln und zeitgleich zu verarbeiten. Dem entsprechend variieren die Zähne etwas im Alter und in der Dauer der Lagerung. *Mobarak et al. (2010)* untersuchten diese Thematik. Sie fanden heraus, dass es keinen signifikanten Unterschied in der Adhäsionskraft in Abhängigkeit des Alters und der Art der Lagerung gab. Sie zeigten, dass auch nach einer zweijährigen Trockenlagerung der Zähne durch Anfeuchten trotzdem keinen schlechteren Haftwert gegenüber permanent feucht gelagerten Zähnen zur Folge hat. Dem nach kann für die vorliegende Studie ausgeschlossen werden, dass eine zeitweise oberflächliche Trocknung, beispielsweise während des Röntgens einen negativen Effekt haben könnte.

Chloramin T beeinflusst im Vergleich zu anderen Desinfektionsmittel den Dentin-Komposit-Haftverbund nicht signifikant (*Lee et al. 2007; Jaffer et al. 2009*) obwohl nach einer zweitägigen Lagerung in Chloramin sich eine geringe Konzentration Chloramin in der Dentinstruktur befand. Diese Konzentration sank jedoch auch wieder, wenn die Zähne anschließend in Aqua dest. gelagert wurden (*Rolland et al. 2007*).

Instrumentierung der Probenzähne

Die Probenzähne für diese Studie wurden vollrotierend aufbereitet, um eine bessere Zentrierung und somit eine einheitliche Kanalform zu erzielen (*Stavileci et al. 2013*). Limitationen der vollrotierenden Aufbereitung sind abhängig vom ursprünglichen Kanalquerschnitt, weite ovale Wurzelkanäle können weder maschinell noch manuell vollständig aufbereitet und gereinigt werden und somit kann keine kreisrunde Aufbereitung erfolgen. Auf Grund dessen wurden Zähne mit ovalen Kanäle aus dieser Studie ausgeschlossen (*Taha et al. 2010*).

7.1.2 Medikamentöse Einlage

Entfernung des Smear layers vor der Applikation des Medikamentes

EDTA wirkt bezüglich der Entfernung des Smear layers besser als Zitronensäure, weshalb dieser Chelator in diesem Versuch verwendet wurde (*D'Arcangelo et al. 2008*).

Nach der Spülung mit EDTA erfolgte eine gründliche Spülung mit Aqua dest., um eine mögliche Inhibition zu vermeiden. Einige Studien haben ergeben, dass die Entfernung des Smear layers vor der medikamentösen Einlage aus zwei Gründen von Vorteil ist. Zum einen, da sich Ca(OH)_2 in Nachhinein besser entfernen lässt (Arslan et al. 2012) und zum anderen, weil Dentintrümmer die Medikamente stärker inhibieren als EDTA (Portenier et al. 2002).

Haapasalo et al. (2000) bewiesen, dass belassene Dentinspänen im Wurzelkanal zu einer Inaktivierung der gängigen medikamentösen Einlagen führte, vor allem Ca(OH)_2 war anfällig für Dentinspänen (Athanasiadis et al. 2010).

Medikamentenapplikation (Med)

Die zwei verwendeten Pasten *Chlorhexamed direkt Gel* (1%) und *UltraCal XS* wurden durch Retraktion der Kanüle unter permanenter Abgabe von der Medikamentenpaste eingebracht. Die beiden Points *Roeko Activ point* (Chlorhexidine) und *Calciumhydroxide Plus Points* wurden mittels Pinzette in den Kanal gebracht und auf die gewünschte Länge gekürzt. Es wurde jeweils ein Point pro Kanal eingebracht, welche zwei ISO-Größen kleiner ausgewählt wurden, um die in Vorversuchen festgestellte Dimensionsänderung der Medikamenten-Stifte durch Quellung entgegen zu wirken. Diese Quellung resultiert in eine poröse Oberfläche und in eine höhere Friktion zur Wurzelkanalwand, welche zu einer schlechteren Entfernbarekeit der Medikamentenstifte führt.

Fermit als provisorisches Füllungsmaterial nach erfolgter Med-Einlage

Zusätzlich zur medikamentösen Zwischeneinlage muss der Zahn mit einem bakteriendichten, temporären Füllung versorgt werden, um eine Rekontamination zu verhindern (Hülsmann et al. 2007). In dieser Studie wurde *Fermit* für den temporären Verschluss verwendet, welches im Vergleich zu permanenten Füllungsmaterialien eine schlechtere Dichtigkeit aufweist (Uranga et al. 1999).

Lagerung der Probenzähne nach der Med-Applikation

Die Zähne wurden nach der maschinellen Aufbereitung, der Medikamentenapplikation und dem temporären Verschluss mit *Fermit* einzeln mit dem dazugehörigen und angepassten Spreader in *Eppendorf*-Gefäße gelagert. Die Gefäße wurden mit steriler Watte und Aqua dest. befüllt, um die Probenzähne feucht zu halten. Durch diese möglichst sterile Lagerung wurde eine erneuerte Kontamination der Probenzähne weitgehend ausgeschlossen.

Es konnte lediglich Aqua dest. durch den temporären Verschluss durchsickern. Im Falle der *Activ Points* und der *Calciumhydroxid Plus Points* wäre dies sogar von Vorteil, da sie Wasser benötigen um ihre Wirkung zu entfalten. Im Falle der Pasten könnte das eventuelle Durchsickern des Aqua dest., jedoch zur Verdünnung des Medikamentes führen.

7.1.3 Spülung und Trocknung des Wurzelkanals

Spülprotokoll

Nicht nur die Veränderung der Dentinstruktur durch die unterschiedlichen Zwischeneinlage können einen Einfluss auf den Haftverbund äußern, sondern auch ein verbleiben der Medikamente könnte die Werte verfälschen. Auf Grund dessen wurde in dieser Studie ein exaktes Spülprotokoll mit der Unterstützung des *EndoActivators* verwendet. *Taşdemir et al.* (2011) wiesen nach, dass die alleinige passive Aktivierung von NaOCl eine signifikant besser Entfernung von Ca(OH)_2 bewirkt als die alleine Kanülenspülung von NaOCl und EDTA zusammen, jedoch war die vollständige Entfernung mittels dieser Methode auch nicht gewährleistet. Zusätzlich sollte nach der Aktivierung von NaOCl mit EDTA nach gespült werden (*da Silva 2011*). Rückstände von Ca(OH)_2 im Wurzelkanal führten dazu, dass der Sealer nicht in die Dentintubuli penetrieren konnte und somit eine schlechtere Adhäsion zum Kanalwanddentin resultiert (*Calt & Serper 1999*).

Es wird kontrovers diskutiert, ob sie Smear layer-Entfernung vor der Obturation des Wurzelkanals von Bedeutung ist. *Gettleman et al.* (1991) zeigten, dass die Entfernung der Schmiere nur bei AH 26 (Sealer auf Epoxidharzbasis) die Adhäsionskraft zu Wurzelkanaldentin steigerte. Bei anderen Sealern ergab die Entfernung dieser Schicht hinsichtlich des Haftverbunds keine Unterschiede.

Auswirkung von EDTA- und NaOCl-Resten auf den Sealer

Trotz ausgiebiger Trocknung mit Papierspitzen könnten Rückstände von Spülflüssigkeiten in den Wurzelkanal verbleiben, welche einen Einfluss auf den Sealer haben könnten. NaOCl und EDTA sind in der Lage, Sealer zu lösen und somit auch Ihre Struktur zu schwächen, wobei Sealer auf Silikonbasis dies eher tolerierten (*Keles & Köseoğlu 2009*). Dies wird verstärkt durch *Roggendorf et al.* (2007), welche die Dichtigkeit von Sealern in Abhängigkeit von Restflüssigkeit

untersuchten, hier schnitt *GuttaFlow* am besten ab. Dennoch empfiehlt der Hersteller von *GuttaFlow* eine gründliche Trocknung.

Kontrolle der Spreader-Position

Ein zu kurzes Einbringen des Spreaders in den Wurzelkanal, würde in einer geringeren Haftfläche zwischen Wurzelkanal und Spreader resultieren und dementsprechend zu niedrigen Haftwerten führen. Dafür wurde vor der Applikation des Sealers jeder Kanal auf Gängigkeit geprüft und der zugehörige Spreader eingepasst und adjustiert. Konnte der Spreader trotz der zuvor röntgenologisch verifizierten Platzierung des Spreaders auf Arbeitslänge nachfolgend nicht auf die erforderlichen 8 mm in den Wurzelkanal einbracht werden, wurden diese Zähne entweder aussortiert oder weiter angepasst. Durch diese Methode konnte zusätzlich das Eindringen von Kunststoff während des Einbettvorgangs, trotz platzieren von *Fermit* apikal auf die Wurzelspitze detektiert und ausgeschlossen werden.

7.1.4 Wurzelkanalfüllung

Applikation des Sealers

Viele Faktoren können potentiell die Verbundfestigkeit beeinflussen. Einen Faktor stellt die Sealerapplikations-Technik dar (Lentulo, auf den Stift oder mit spezieller Kanüle). Wenn der Sealer allein auf den Stift direkt aufgetragen wurde, resultierten schwächere Haftwerte (*Gaston et al.* 2008).

Der Hersteller empfiehlt die Applikation von *GuttaFlow* mit einer Lentulo-Spirale, mit der zuletzt verwendeten Feile oder zusammen mit dem Masterpoint (www.guttaflow.com). In dieser Versuchsreihe wurde er jedoch mittels flexibler Kanüle in den Kanal appliziert, da die Problematik des Überpressens nicht von Bedeutung war und so gewährleistet werden konnte, dass sich genügend Material im Kanal befand. Zudem zeigten *D'Arcangelo et al.* 2008, dass mittels dieser Methode eine bessere Adhäsion an die Kanalwände erzielt werden konnte.

7.1.5 Lagerung der Probenzähne

Die Lagerung der Probenzähne nach Inserierung der Spreader erfolgte für 4 Wochen in einer feuchten Kammer (37°C/100% Luftfeuchte). Diese Lagerung

ermöglichte eine zuverlässige Aushärtung des Sealer-Materials, so dass hier dem Sealer eine mehr als ausreichende Zeit zur Polymerisation gegeben wurde. Die Polymerisationsdauer beträgt unter Mundbedingungen laut Hersteller etwa 15 Minuten.

7.1.6 Analyse des Haftverbunds

Testverfahren in der Adhäsivtechnologie

Folgende Verfahren, um den Haftverbund zu bestimmen sind in der Literatur angegeben:

1. Push-Out Methode
2. Scherversuch (Shear bond strength)
3. Zugversuch (Pull-out-Test)
4. Ausstoßversuch (Push-out-Test)
5. Miniaturzugversuch A & B (Microtensile-Verfahren A & B)

Die Pull-Out-Methode hat sich bereits in mehreren Versuchsreihen als erfolgreiche Untersuchungsmethode zur Bestimmung des Haftverbundes zwischen Sealer und Wurzelkanaldentin erwiesen. *Ebert et al.* beschrieben, dass nach mikroskopischer Untersuchung mehr als 80% der Proben an der Dentin-Sealer-Grenze versagten und nicht an Verbindung zwischen Spreader und Sealer (*Ebert et al. 2011*).

Zugrichtung

Die Zugrichtung kann die benötigte Kraft stark beeinflussen, deshalb wurden die Zähne parallel zum Wurzelkanal eingebettet und in der Prüfmaschine eingespannt. Dies erfolgte mittels Parallelometers und dem damit möglichen Absenken der Zähne in die flüssige *Palapress*-Methacrylat-Masse. Somit waren Abweichungen von der Einschubrichtung ausgeschlossen.

Vorbehandlung des Stiftes

Die Oberflächen der Spreader wurden für diesen Versuchsaufbau nicht angeraut, welches eine Schwachstelle hätte sein können. Jedoch hat sich in der Studie von *Falk et al. (2009)* gezeigt, dass die Haftwerte von *GuttaFlow* so gering sind, dass ein Guttaperchastift widerstandsfähig genug ist, um dem Pull-Out-Versuch stand

zu halten. Jedoch hat deren Studie auch gezeigt, dass durch leichtes Anrauen der Oberfläche oder durch Verwendung eines Primers die Adhäsionskraft von GuttaFlow gesteigert werden könnte.

7.2 Diskussion der Ergebnisse

7.2.1 Kontrollgruppen

Nagas et al. 2012 stellten fest, dass bei manchen Sealern wie *AH Plus*, einem Epoxidharz-Sealer, *iRoot* auf Kalziumsilikat-Basis, *MTA Fillapex* als Mineraltrioxidaggregat-Material und *Epiphany* auf Methacrylatbasis höhere Haftwerte im Pushout-Versuch erzielt werden konnte, wenn der Wurzelkanal nur kurz mit zwei Papierspitzen getrocknet wurde, als wenn der Wurzelkanal vollständig getrocknet wird. In dieser Studie erzielten jedoch die Gruppe E, welche vollständig getrocknet wurden höhere Haftwerte als die Gruppe F, wo eine Restfeuchtigkeit im Wurzelkanal vorlag. Wenn man die Werte der beiden Kontrollgruppen vergleicht, gibt es keinen signifikanten Unterschied, jedoch konnte eine tendenziell höhere Haftkraft erreicht werden in der trockenen Gruppe im Vergleich zur feuchten Gruppe. Dies könnte an die Quellung von *GuttaFlow 2* bei Kontakt mit Wasser liegen.

7.2.2 Chlorhexidindigluconat

In mehreren Studien wurde schon beschrieben, dass Chlorhexidindigluconat als Spüllösung die Adhäsionskraft des Sealers zu einem zum Guttaperchapoint und zum anderen zum Wurzelkanalentin stärken kann (*de Assis et al. 2012*, *Erdemir et al. 2004*). Andererseits wurde auch gezeigt, dass die Medikamenteneinlage von CHX-Gel oder Calciumhydroxidpaste von 14 Tage keinen Einfluss auf den apikalen Verschluss der Wurzelkanalfüllung hat (*Rolf et al. 2004*).

In dieser Studie gab es hinsichtlich des Haftverbundes keinen signifikanten Unterschied, jedoch konnte gezeigt werden, dass durch die medizinische Einlage von CHX, vor allem in Form von Gel, der größte Haftwert erzielt werden konnte. Die Tatsache, dass der Unterschied nicht signifikant erhöht war, könnte an dem ohnehin geringen Haftverbund von *GuttaFlow 2* liegen.

Wenn man die Werte der beiden unterschiedlichen Darreichungsformen von CHX vergleicht, haben sich auch keine signifikanten Unterschiede ergeben, jedoch sind die Mittelwerte des Gels etwas höher, welche für eine ungenügende Freisetzung des Wirkstoffes aus dem Point spricht.

7.2.3 Calciumhydroxid

Im Falle von Calciumhydroxid haben Studien gezeigt, dass die Art und Weise, wie der Haftverbund sich ändert abhängig von dem gewählten Sealer ist. Auf *AH Plus* und *MTA Fillapex* hat diese Einlage keinen Einfluss gezeigt und auf *iRootSP* hat es dem Haftverbund betrachtend einen positiven Effekt erzielt (*Amin et al. 2012*). Die Studie von *Erdemir et al.* kamen hinsichtlich Calciumhydroxid zu dem Ergebnis, dass dieses Medikament, nach einer Einlage von 24 Stunden, keine Veränderung der Haftkraft des selbstadhäsiven Sealers *C&B Metabond* auf 4-META-Basis bewirkte (*Erdemir et al. 2004*).

Auch in dieser Studie konnte gezeigt werden, dass Calciumhydroxid den Haftverbund zwischen Sealer und Wurzelkanalentin nicht signifikant verändert, unabhängig von der Darreichungsform.

Festzuhalten bleibt, dass die medikamentösen Einlagen möglicherweise aufgrund der geringen Haftwerte von *GuttaFlow 2* bedingt durch einen möglicherweise nicht besonders effektiven Primer im Sealer keinen Effekt innerhalb der Gruppen zeigte und daher keine signifikanten Unterschiede vorhanden waren.

7.2.4 Darreichungsform

Insgesamt hat diese Studie gezeigt, dass die Pasten in höheren Haftwerten für *GuttaFlow 2* resultierten als die Verwendung von medikamentösen Stiften. Dies könnte an eine ungenügende Freisetzung der Wirkstoffe aus den imprägnierten Guttaperchastiften liegen.

7.2.5 Beurteilung der Haftwerte

Im Vergleich zu den Ergebnissen anderer Studien zeigte *GuttaFlow 2* einen sehr geringen Haftverbund zum Wurzelkanalentin. Dieser ist zwar etwas höher, als dies beim Vorgängerprodukt *GuttaFlow* der Fall war (*Falk et al. 2009, Gazolla et al. 2012*), jedoch zeigten Sealer auf Epoxidharz-Basis oder selbstadhäsive Sealer wie etwa *Epiphany* in einem anderen Untersuchungsverfahren Werte von ca. 0,8 bis ca. 1,1 MPa für *Epiphany* sowie 1,7 bis 1,85 MPa für *AH Plus* in Abhängigkeit von der Kanalfeuchtigkeit, wobei beide Materialien in feuchten Wurzelkanälen im Push-Out-Test zusammen mit *Resilon*-Stiften respektive Guttapercha-Stiften höhere Haftwerte zum Kanalwandentin erzielten (*Nagas et al. 2012*). Dabei wiesen diese Materialien vorwiegend eine Fraktur adhäsiv zum Dentin auf. Die in der vorliegenden Studie ermittelten Haftwerte lagen unabhängig von den Bedingungen im Wurzelkanal (medikamentöse Einlage, feuchter oder trockener Kanal) durchgehend bei maximal 1 MPa. Insofern muss

an dieser Stelle konstatiert werden, dass es sich hierbei um materialspezifische Werte handelt, da Silikonsealer wie das untersuchte *GuttaFlow 2* auch nach der Aushärtung eine Flexibilität zeigen und Silikon allein keinen nennenswerten Haftverbund erzielen kann. Der Zusatz eines Adhäsivs, welches *GuttaFlow 2* von GuttaFlow unterscheidet, hatte immerhin einen geringen Anstieg des Haftverbundes erzielt. Dies kann insbesondere an der Grenzfläche Dentin/*GuttaFlow 2* festgestellt werden, da der Verlustmodus nahezu ausschließlich zum blanken Spreader erfolgte. Allerdings muss auch anerkannt werden, dass die ermittelten Haftwerte möglicherweise noch gering ausfallen, dass Schwankungen hier zu Interpretationen führen können, die nicht zutreffend sein können. Allerdings war ein eindeutiger Trend erkennbar, nämlich dass gegenüber der Studie von *Falk et al. (2009)* höhere Haftwerte erzielt werden konnten. Vergleichbar zu letzterer Studie war zudem das Vorliegen blanker Stifte, die durch die glatte Oberfläche eine optimale Benetzung ermöglichten und trotz der Unterschiede (hier: Stahl-spreader, dort: Guttapercha-Stifte) bedingt durch die geringe Haftkraft in beiden Fällen einen Ergebnisvergleich zulassen.

7.2.6 Beurteilung der Frakturmodi

Aufgrund der ermittelten, zumeist adhäsiven Verluste im Bereich der Grenzfläche Spreader/*GuttaFlow 2* kann gefolgert werden, dass die glatten Spreaderoberflächen, Flexibilität sowie die im Vergleich zu anderen Sealern recht geringen Werte für die Haftfestigkeit (*Falk et al. 2009*) gemeinsam für die Häufung dieses Frakturmodus verantwortlich sein dürfte. Ferner konnte lichtmikroskopisch belegt werden, dass nach dem Pull-Out-Test die Integrität der *GuttaFlow 2*-Schicht in vielen Fällen nicht mehr vorhanden war, also oftmals zum Kanalwanddentin eine gewisse, sehr variable Ablösung (Detachment) beobachtet werden konnte. Diese Beobachtung passt zur Beschaffenheit von *GuttaFlow 2*, welches trotz verbesserten Haftverbundes gegenüber der Vorgängerversion ohne integriertes Adhäsiv aufgrund der persistenten Flexibilität nicht in der Lage ist, einen hohen Haftverbund zu erzielen. Hier muss an extrusive Kräfte im Rahmen der Stiftkanalpräparation gedacht werden, wobei ein mögliches Detachment durch die Präparation nachfolgend eine Revision und Reobturation des Wurzelkanals erforderlich machen kann.

Bedingt durch die Vorbehandlung des Wurzelkanals (Entfernung der Schmierschicht) dürfte eine mechanische Verankerung zum Dentin durch die Ausbildung von Sealerzotten in die Dentintubuli (Abb. 15 und 16) für den besseren Haftverbund zum Dentin verantwortlich sein. Lichtmikroskopische und

raster-elektronenmikroskopische Analysen der Proben bestätigen diese Annahme.

Die beobachtete Anzahl an Fällen, in denen ein gemischter Frakturmodus vorlag, kann verschiedene Ursachen haben. Aufgrund der geringen Konizität (2% entsprechend ISO) wäre ein Abstreifen des Sealers vom Spreader durch einseitige Berührung der Kanalwand im Rahmen des Pull-Out-Vorganges denkbar, da trotz optimaler Zentrierung der Proben im Acryl-Blöckchen bei der Herstellung sowie beim Einbau in die Universal-Testmaschine eine hundertprozentige, genau achsgerecht erfolgende Extrusion nicht in jedem Fall sichergestellt werden konnte. Allerdings konnte aufgrund der unterschiedlichen Lokalisation blanker Stellen auf den untersuchten Spreadern keine Gesetzmäßigkeit festgestellt werden, so dass diese adhäsiv zum Spreader frakturierten Anteile nicht eindeutig der einen oder anderen Ursache zugeordnet werden konnten. Andererseits gibt es im Wurzelkanal Schwankungen hinsichtlich der Dentinbeschaffenheit. Dieses kann sowohl tubuläre als auch atubuläre Bereiche aufweisen, so dass eine Ausbildung von *GuttaFlow 2*-Zotten (sog. tags) möglicherweise nicht in jedem Fall erzielt werden konnte und daher unterschiedliche Haftwerte resultieren könnten. In den betreffenden Proben waren Areale kohäsiv oder adhäsiv zum Dentin erfolgter Frakturen nachweisbar, die Bereiche auf den Spreadern entsprechend mit einer mehr oder weniger starken Schicht an *GuttaFlow 2* bedeckt, die neben den existierenden blanken Stellen auf den betreffenden Spreadern zur Klassifizierung des Frakturmodus als „gemischt“ führten. Da keine einheitliche Lokalisation der vorgenannten beiden Frakturmodi vorlag, ist davon auszugehen, dass beide Ursachen für das Auftreten adhäsiver Frakturen zum Dentin zutreffen könnten. Für die selten beobachteten Fälle, wo kohäsives Versagen beobachtet werden konnte, dürfte als Ursache die geringe Festigkeit sowie die Flexibilität von *GuttaFlow 2* in Frage kommen.

8 Literaturverzeichnis

1. AGET. Gemeinsame Stellungnahme der DGZ/DGZMK: Die Wurzelkanal-spülung. Zahnärztl Mitt 96, 50-51 (2006)
2. Agrawal VS, Kapoor S An in vitro scanning electron microscopic study comparing the efficacy of passive ultrasonic and syringe irrigation methods using sodium hypochlorite in removal of debris from the root canal system. J Ir Dent Assoc 58, 156-161 (2012)
3. Al-Ali M, Sathorn C, Parashos P. Root canal debridement efficacy of different final irrigation protocols. Int Endod J 10, 898-906 (2012)
4. Amin SA, Seyam RS, El-Samman MA. The effect of prior calcium hydroxide intracanal placement on the bond strength of two calcium silicate-based and an epoxy resin-based endodontic sealer. J Endod 38, 696-699 (2012)
5. Arslan H, Topcuoglu HS, Karatas E, Barutçigil C, Aladag H, Topcu KM Effect of the smear layer in the removal of calcium hydroxide from root canal walls. J Conserv Dent 15, 113-117 (2012)
6. Athanassiadis B, Abbott PV, George N, Walsh LJ. In vitro study of the inactivation by dentine of some endodontic medicaments and their bases. Aust Dent J 55, 298-305 (2010)
7. Atila-Pektaş B, Yurdakul P, Gülmez D, Görduysus O Antimicrobial effects of root canal medicaments against Enterococcus faecalis and Streptococcus mutans. Int Endod J 46, 413-418 (2013)
8. Azar MR, Safi L, Nikaein A. Comparison of the cleaning capacity of Mtwo and Pro Taper rotary systems and manual instruments in primary teeth. Dent Res J 9, 146-151 (2012)
9. Bago I, Plečko V, Gabrić Pandurić D, Schauperl Z, Baraba A, Anić I Antimicrobial efficacy of a high-power diode laser, photo-activated disinfection, conventional and sonic activated irrigation during root canal treatment. Int Endod J 46, 339-347 (2013)
10. Bezgin T, Sönmez H, Orhan K, Ozalp N. Comparative evaluation of Ca(OH)₂ plus points and Ca(OH)₂ paste in apexification. Dent Traumatol, 11 (2012)
11. BioHome | *BioRace* | FKG Dentaire www.biorace.ch/
12. Byström & Sundqvist The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. Int Endod J 18, 35-40 (1985)
13. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the effect of 0.5 percent sodium hypochlorite in endodontic therapy. Oral Surg Oral Med Oral Pathol. 55, 307-312 (1983)
14. Byström A, Sundqvist G. Bacteriologic evaluation of the efficacy of mechanical root canal instrumentation in endodontic therapy. Scand J Dent Res 89, 321-328 (1981)
15. Calt S, Serper A. Dentinal tubule penetration of root canal sealers after root canal dressing with calcium hydroxide. J Endod 25, 431-433 (1991)

16. Calt S, Serper A. Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *J Endod* 28, 17-19 (2002)
17. Carbajal Mejía JB. Antimicrobial effects of calcium hydroxide, chlorhexidine, and propolis on *Enterococcus faecalis* and *Candida albicans*. *J Investig Clin Dent* Apr 4 (2013)
18. Card SJ, Sigurdsson A, Ørstavik D, Trope M, The effectiveness of increased apical enlargement in reducing intracanal bacteria. *J Endod* 28, 779-783 (2002)
19. Crumpton BJ, Goodell GG, McClanahan SB Effects on smear layer and debris removal with varying volumes of 17% REDTA after rotary instrumentation. *J Endod* 31, 536-538 (2005)
20. Cunningham WT, Martin H, Forrest WR. Evaluation of root canal débridement by the endosonic ultrasonic synergistic system. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 53, 401-404 (1982)
21. Curriculum Endodontie, Koçkapan C. Quintessenz, Berlin (2003)
22. D'Arcangelo C, D'Amario M, Vadini M, Zazzeroni S, De Angelis F, Caputi S. An evaluation of luting agent application technique effect on fibre post retention. *J Dent* 36, 235-240(2008)
23. D'Arcangelo C, Zazzeroni S, D'Amario M, Vadini M, De Angelis F, Trubiani O, Caputi S. Bond strengths of three types of fibre-reinforced post systems in various regions of root canals. *Int Endod J* 4, 322-328 (2008)
24. da Silva JM, Silveira A, Santos E, Prado L, Pessoa OF. Efficacy of sodium hypochlorite, ethylenediaminetetraacetic acid, citric acid and phosphoric acid in calcium hydroxide removal from the root canal: a microscopic cleanliness evaluation. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 112, 820-824 (2011)
25. Dalton BC, Ørstavik D, Phillips C, Pettiette M, Trope M. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod* 24, 763-776 (1998)
26. de Assis DF, do Prado M, Simão RA. Effect of disinfection solutions on the adhesion force of root canal filling materials. *J Endod* 38, 853-855 (2012)
27. DGET. Konsenspapier der Europäischen Gesellschaft für Endodontologie Qualitätsrichtlinien endodontischer Behandlung (1994)
28. DGZMK. Wissenschaftliche Stellungnahme der DGZMK zur Wurzelkanal-aufbereitung (Stand 2000)
29. DGZMK. Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *Dtsch Zahnärztl Z* 55, 9 (2000)
30. Ebert J, Leyer A, Günther O, Lohbauer U, Petschelt A, Frankenberger R, Roggendorf MJ Bond strength of adhesive cements to root canal centin tested with a Novel-Pull-out. *J Endod* 37, 1558-1561 (2011)
31. Ebert J, Roggendorf MJ, Frank K, Petschelt A. Antimicrobial activity of various 'active' gutta-percha points against *Enterococcus faecalis* in simulated root canals. *Int Endod J* 41, 249-257 (2008)

32. Erdemir A, Ari H, Güngünes H, Belli S. Effect of medications for root canal treatment on bonding to root canal J Endod 30, 113-116 (2004)
33. European Society of Endodontology. Quality guidelines for endodontic treatment: consensus report of the European Society of Endodontology. Int Endod J 39, 921-930 (2006)
34. Eswar K, Venkateshbabu N, Rajeswari K, Kandaswamy D. Dentinal tubule disinfection with 2% chlorhexidine, garlic extract, and calcium hydroxide against *Enterococcus faecalis* by using real-time polymerase chain reaction: In vitro study. J Conserv Dent 16, 194-198 (2013)
35. Falk KW, Sedgley CM. The influence of preparation size on the mechanical efficacy of root canal irrigation in vitro. J Endod 31, 742-745 (2005)
36. Falk S, Roggendorf MJ, Ebert J, Baumann L, Frankenberger R, Lohbauer U. Pull-out resistance of GuttaFlow used with guttapercha-cones with different surface structure. Int Endod J 42, 1127-1163 (2009)
37. Faul F, Erdfelder E, Buchner A, Lang AG. Statistical power analyses using G*Power 3.1 Tests for correlation and regression analyses. Behavior Research Methods 41, 1149-1160 (2009)
38. Gaston BA, West LA, Liewehr FR, Fernandes C, Pashley DH Evaluation of regional bond strength of resin cement to endodontic surfaces. J Endod 27, 321-324 (2001)
39. Gazolla TK, Petschelt A, Lohbauer U, Schubert EW, Roggendorf MJ, Ebert J. Auszugsfestigkeit von Retention Points platziert mit verschiedenen Sealern. Dtsch Zahnärztl Z 67, D4 (2012)
40. Gettleman BH, Messer HH, ElDeeb ME Adhesion of sealer cements to dentin with and without the smear layer. J Endod 17, 15-20 (1991)
41. Grossman LI. Endodontic Practice. Philadelphia: Lea & Febiger (1978)
42. Haapasalo HK, Sirén EK, Waltimo TM, Ørstavik D, Haapasalo MP. Inactivation of local root canal medicaments by dentine: an in vitro study. Int Endod J 33, 126-131 (2000)
43. Haapasalo M, Ørstavik D In vitro infection and disinfection of dentinal tubules. J Dent Res 66, 1375-1379 (1987)
44. Heidemann D, Hülsmann M. Gemeinsame Stellungnahme der DGZ und der DGZMK zur maschinelle Wurzelkanalaufbereitung ZM 95, 50-54 (2005)
45. <http://www.endoactivator.com/>
46. Hülsemann et al. Gemeinsame Stellungnahme der DGZMK Good clinical practice - Wurzelkanalbehandlung (Stand 2007)
47. Jaffer S, Oesterle LJ, Newman SM. Storage media effect on bond strength of orthodontic brackets. Am J Orthod Dentofacial Orthop 136, 83-86 (2009)
48. Keleş A, Köseoğlu M. Dissolution of root canal sealers in EDTA and NaOCl solutions. J Am Dent Assoc 140, 74-79 (2009)

49. Lee JJ, Nettey-Marbell A, Cook A Jr, Pimenta LA, Leonard R, Ritter AV Using extracted teeth for research: the effect of storage medium and sterilization on dentin bond strengths. *J Am Dent Assoc* 138, 1599-1603 (2007)
50. 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, 416-418 (2003)
51. Lohbauer U, Gambarini G, Ebert J, Dasch W, Petschelt A. Calcium release and pH-characteristics of calcium hydroxide plus points. *Int Endod J* 38, 683-689 (2005)
52. Lohbauer U, Gambarini G, Ebert J, Dasch W, Petschelt A. Calcium release and pH-characteristics of calcium hydroxide plus points. *Int Endod J* 38, 683-689 (2005)
53. Lui JN, Sae-Lim V, Song KP, Chen NN In vitro antimicrobial effect of chlorhexidine-impregnated gutta percha points on *Enterococcus faecalis*. *Int Endod J* 37, 105-113 (2004)
54. Roggendorf MJ, Ebert J, Herbstleb E, Kentsch C, Petschelt A, Frankenberger R, Apikale Dichtigkeit von Wurzelkanalfüllungen unter Kontamination mit verschiedenen Spülflüssigkeiten *Dtsch Zahnärztl Z* 60, A161 (2005)
55. Madan N, Rathnam A, Shigli AL, Indushekar KR. K-file vs ProFiles in cleaning capacity and instrumentation time in primary molar root canals: an in vitro study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 29, 2-6 (2011)
56. McGurkin-Smith R, Trope M, Caplan D, Sigurdsson A. Reduction of intracanal bacteria using GT rotary instrumentation, 5.25% NaOCl, EDTA, and Ca(OH)₂. *J Endod* 31, 359-363 (2005)
57. Mickel AK, Chogle S, Liddle J, Huffaker K, Jones JJ. The role of apical size determination and enlargement in the reduction of intracanal bacteria. *J Endod* 33, 21-23 (2007)
58. Mobarak EH, El-Badrawy W, Pashley DH, Jamjoom H. Effect of pretest storage conditions of extracted teeth on their dentin bond strengths. *J Prosthet Dent* 104, 92-97 (2010)
59. Mohammadi Z, Dummer PM. Properties and applications of calcium hydroxide in endodontics and dental traumatology. *Int Endod J* 44, 697-730. (2011)
60. Nagas E, Uyanik MO, Eymirli A, Cehreli ZC, Vallittu PK, Lassila LV, Durmaz V. Dentin moisture conditions affect the adhesion of root canal sealers. *J Endod* 38, 240-244 (2012)
61. Peru M, Peru C, Mannocci F, Sherriff M, Buchanan LS, Pitt Ford TR. Hand and nickel-titanium root canal instrumentation performed by dental students: a micro-computed tomographic study. *Eur J Dent Educ* 10, 52-59 (2006)
62. Portenier I, Haapasalo H, Ørstavik D, Yamauchi M, Haapasalo M. Inactivation of the antibacterial activity of iodine potassium iodide and chlorhexidine digluconate against *Enterococcus faecalis* by dentin, dentin matrix, type-I collagen, and heat-killed microbial whole cells. *J Endod* 28, 634-637 (2002)

63. Rolland SL, Carrick TE, Walls AW, McCabe JF. Dentin decontamination using chloramine T prior to experiments involving bacteria. *Dent Mater* 23, 1468-1472 (2007)
64. Rollison S, Barnett F, Stevens RH. Efficacy of bacterial removal from instrumented root canals in vitro related to instrumentation technique and size. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 94, 366-371 (2002)
65. Safavi KE, Nichols FC. Effect of calcium hydroxide on bacterial lipopolysaccharide. *J Endod* 19, 76-78 (1993)
66. Safavi KE, Spångberg LS, Langeland K. Root canal dentinal tubule disinfection. *J Endod* 16, 207-210 (1990)
67. Schäfer E. Bewertung aktueller Wurzelkanalfüllmaterialien. *Zahnärztl Mitt* 1, 24 (2003)
68. Schäfer E, Zandbiglari T. Solubility of root-canal sealers in water and artificial saliva. *Int Endod J* 36, 660-669 (2003)
69. Shuping GB, Ørstavik D, Sigurdsson A, Trope M. Reduction of intracanal bacteria using nickel-titanium rotary instrumentation and various medications. *J Endod* 26, 751-755 (2000)
70. Sjögren U, Figdor D, Spångberg L, Sundqvist G. The antimicrobial effect of calcium hydroxide as a short-term intracanal dressing. *Int Endod J* 24, 119-125 (1991)
71. Stavileci M, Hoxha V, Görduysus O, Tatar I, Laperre K, Hostens J, Küçükkaya S, Berisha M. Effects of preparation techniques on root canal shaping assessed by micro-computed tomography. *Med Sci Monit Basic Res* 13, 163-168 (2013)
72. Taha NA, Ozawa T, Messer HH. Comparison of three techniques for preparing oval-shaped root canals. *J Endod* 36, 532-535 (2010)
73. Taşdemir T, Celik D, Er K, Yildirim T, Ceyhanli KT, Yeşilyurt C. Efficacy of several techniques for the removal of calcium hydroxide medicament from root canals. *Int Endod J* 44, 505-509 (2011)
74. Teles AM, Manso MC, Loureiro S, Silva R, Madeira IG, Pina C, Cabeda JM. Effectiveness of two intracanal dressings in adult Portuguese patients: a qPCR and anaerobic culture assessment. *Int Endod J* 47, 32-40 (2014)
75. Uranga A, Blum JY, Esber S, Parahy E, Prado C. A comparative study of four coronal obturation materials in endodontic treatment. *J Endod* 25, 178-180 (1999)
76. 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* 40, 415-426 (2007)
77. Vujasković M, Teodorović N. Analysis of sealing ability of root canal sealers using scanning electronic microscopy technique. *Srp Arh Celok Lek* 138, 694-698 (2010)

78. Waltimo TM, Sirén EK, Ørstavik D, Haapasalo MP. Susceptibility of oral candida species to calcium hydroxide in vitro. *Int Endod J* 32, 94-98 (1999)
79. Wu D, Tang Z, Zhang G, Liu W The sealing ability of a new silicone-based root canal filling material (GuttaFlow): an in vitro study using the percentage of gutta-percha-filled area. *Dent Mater J* 30, 569-575 (2011)
80. Wuerch RMW, Apicella, MJ, Mines P, Yancich PJ, Pashley DH. Effect of 2% chlorhexidine gel as an intracanal medication on the apical seal of the root-canal system. *J Endod* 30, 788-791 (2004)
81. www.coltene.com/de/products/22/details/42/searchresult-article-42.html
82. www.coltene.com/de/products/22/details/43/ROEKO_Calcium_Hydroxide_PL_US_Spitzen.html
83. www.guttaflow.com
84. Zhang K, Tay FR, Kim YK, Mitchell JK, Kim JR, Carrilho M, Pashley DH, Ling JQ. The effect of initial irrigation with two different sodium hypochlorite concentrations on the erosion of instrumented radicular dentin. *Dent Mater* 26, 514-523 (2010)

9 Anhang

Materialliste

Material	Hersteller
Choramin-T-Lösung(0,5%)	Wissenschaftliches Labor der Abteilung für Zahnerhaltungskunde, Philipps Universität Marburg
Aqua dest.	B. Braun AG, Melsungen
<i>C-Pilot</i> -Feilen ISO 15	VDW GmbH, München
<i>BioRaCe</i> -Feilen	FKG Dentaire, La-Chaux-de-Fonds, Schweiz
Natriumhypochlorit	Speiko Dr. Schleier GmbH, Münster
Experimentelle Spreader	Dentsply Maillefer, Ballaigues, Schweiz
Natrium-EDTA-Lösung (16%)	Apotheke des UKGM, Marburg
Papierspitzen	Orbis Dentalhandels GmbH, Offenbach
<i>Chlorhexamed direkt Gel</i> (1%)	GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, Bühl
<i>UltraCal XS</i>	Ultradent Products, Inc., UA, USA
<i>ActivPoint</i> ISO 50	Coltène Whaledent Group, Langenau
<i>Calciumhydroxid Plus Points</i> ISO 50	Coltène Whaledent Group, Langenau
<i>Fermit</i>	Ivoclar Vivadent AG, Schaan, Liechtenstein
<i>Silatec</i> Dubliermasse	DMG Chem.-Pharm. Fabrik GmbH, Hamburg
<i>Palapress</i>	Heraeus Kulzer GmbH, Hanau
<i>EndoActivator</i>	Dentsply Tulsa Dental Specialties, Tulsa, OK, USA
<i>GuttaFlow 2</i>	Coltène/Whaledent GmbH+Co KG, Langenau
Digitalspiegelreflexkamera <i>Canon EOS 500D</i>	Canon Inc., Tokyo, Japan
Micro-Objektiv <i>Canon MP-E 65</i>	Canon Inc., Tokyo, Japan
Rasterelektronenmikroskop <i>Phenom G1</i> Desktop-SEM	Phenom-World BV, Eindhoven, Niederlande
Zwick-Universaltestmaschine " <i>Zwicki</i> "	Zwick Roell, Ulm, Deutschland

Übersicht der Tabellen

- Tab. 1 Übersicht zu den Eigenschaften endodontischer Spüllösungen (DGZMK 2006)
- Tab. 2 Anforderungen an Wurzelkanalfüllmaterial (*Grossman 1978*)
- Tab. 3 Materialgruppen von Wurzelkanalfüllpasten (*Schäfer & Hickel 2000*)
- Tab. 4 Eingesetztes Spülprotokoll
- Tab. 5 Übersicht der Messwerte zum Haftverbund in den verschiedenen experimentellen Gruppen
- Tab. 6 Signifikanz-Werte nach statistischer Analyse mittels Kruskal-Wallis- und Mann-Whitney-Test
- Tab. 7 Frakturmodus A1 (Adhäsiv zwischen Zahn und *GuttaFlow 2*), A2 (Adhäsiv zwischen *Gutta Flow 2* und Spreader), K (Koähisiv), M (gemischte Fraktur)

Übersicht der Abbildungen

- Abb. 1 Die Größen und Kodierungen der *BioRace*-Instrumente
- Abb. 2 Flow-Chart des Studienablaufs
- Abb. 3 *BioRaCe*-Feilen Basic-Set
- Abb. 4 Zwei Beispiele von Röntgenbildern zur Kontrolle von Spreaderposition und -passung
- Abb. 5 Verwendete medikamentöse Einlagen
- Abb. 6 Einfüllen von *Palapress* in die Silikonform (a), Absenken eines Zahnes in *Palapress* mittels Parallelometer (b), fertiges Probenblöckchen mit eingebettetem Zahn (c).
- Abb. 7 Verwendeter Sealer *GuttaFlow 2* in der Doppelkartuschenspritze mit Mixing-Tip
- Abb. 8 Zwick-Universaltestmaschine mit eingespannter Probe vor (a) und nach (b) dem Pullout-Versuch
- Abb. 9 Boxplot-Diagramm der Haftwerte von *GuttaFlow 2* nach verschiedenen medikamentösen Einlagen
- Abb. 10 Exemplarische Darstellung der Frakturmodi nach lichtmikroskopischer Analyse. Adhäsive Fraktur zwischen Sealer und Spreader (a), gemischte Fraktur (b).
- Abb.11 Rasterelektronenmikroskopisches Photo des gesamten Wurzelkanalquerschnitts (272fache Vergrößerung). Im Wurzelkanallumen ist eine *GuttaFlow 2*-Schicht mit teilweisem Detachment und Unterbrechungen, sowie Aufwerfungen im Bereich der Schnittstelle als Präparationsartefakte durch Erstellen des Querschnittsphotos zu sehen.
- Abb. 12 Rasterelektronenmikroskopisches Photo (500fache Vergrößerung) der Materialzusammensetzung von *GuttaFlow 2*, eine Komposition aus Silikon, Guttapercha-Partikeln und Mikrosilber.

- Abb. 13 Rasterelektronenmikroskopisches Photo (1000fache Vergrößerung) des Übergangs zwischen *GuttaFlow 2* und Dentin.
- Abb. 14 Rasterelektronenmikroskopische Darstellung der *GuttaFlow 2*-Schicht (G) (2000fache Vergrößerung) im Übergang zum Dentin (D).
- Abb. 15 Rasterelektronenmikroskopisches Photo mit 3000fache Vergrößerung der Dentintubuli. Erkennbar sind *GuttaFlow 2*-Tags und Mikrosilberpartikel in den Dentintubuli.
- Abb. 16 Rasterelektronenmikroskopische Darstellung (3500fache Vergrößerung) der longitudinal eröffneten Dentintubuli, die teilweise mit *GuttaFlow 2* gefüllt sind (siehe Pfeile).

G-Power Analyse der Gruppenstärke

Gruppenvergleich	Gruppe A	Gruppe B	Erforderliche Anzahl pro Gruppe	Erforderliche Anzahl gesamt
1 vs 2	<i>CHX Gel</i>	<i>UltraCal</i>	1340	2680
1 vs 3	<i>CHX Gel</i>	<i>Activ Point</i>	91	182
1 vs 4	<i>CHX Gel</i>	<i>CH Plus Point</i>	153	306
1 vs 5	<i>CHX Gel</i>	feucht	78	156
1 vs 6	<i>CHX Gel</i>	trocken	82	164
2 vs 3	<i>Ultracal</i>	<i>Activ Point</i>	69	138
2 vs 4	<i>Ultracal</i>	<i>CH Plus Point</i>	163	326
2 vs 5	<i>Ultracal</i>	feucht	71	142
2 vs 6	<i>Ultracal</i>	trocken	68	136
3 vs 4	<i>Activ Point</i>	<i>CH Plus Point</i>	1330	2660
3 vs 5	<i>Activ Point</i>	feucht	794	1588
3 vs 6	<i>Activ Point</i>	trocken	2086	4172
4 vs 5	<i>CH Plus Point</i>	feucht	371	742
4 vs 6	<i>CH Plus Point</i>	trocken	558	1116
5 vs 6	feucht	trocken	3937	7874

10 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer an der Universität Marburg waren:

Arweiler, Cetin, Czubayko, Daut, Feuser, Fischer, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Grosse, Grundmann, Himpel, Höffken, Jablonski-Momeni, Korbmacher-Steiner, Krüger, Lamp, Lill, Lotzmann, Mandrek, Mengel, Mittag, Moll, Mutters, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Ohnmeiß, Hellak, Hellak, Pieper, Plant, Preisig-Müller, Ramaswamy, Richter, Roggendorf, Schwarting, Steiniger, Teymoortash, Weber, Weihe, Westermann, Wrocklage.

11 Danksagung

Zunächst danke ich sehr herzlich Herrn Professor Dr. Roland Frankenberger für die Möglichkeit, in seiner Abteilung, der Abteilung für Zahnerhaltungskunde, die Promotion durchführen zu können, seine hervorragende Betreuung und die Übernahme des Referats bedanken.

Ein besonderer Dank gilt Herrn OA Dr. Matthias J. Roggendorf für die Anregung zur Bearbeitung dieses Themas, für die gute Unterstützung im experimentellen Teil dieser Studie und für die Durchsicht des Manuskripts.

Herrn Dr. Franz-Josef Faber und Herrn Dr. Hubert C. Roggendorf danke ich für die Unterstützung in der Durchführung des experimentellen Teils, sowie für die Möglichkeit, die Zwick-Universaltestmaschine an der Universität zu Köln verwenden zu können.

Bei Herrn Prof. Dr. A. Braun bedanke ich mich für Unterstützung bei der Durchsicht und Korrektur der Dissertation sowie des Abstracts für die Tagung der Deutschen Gesellschaft für Zahnerhaltungskunde im Oktober 2013 in Marburg.