

AUS DEM MEDIZINISCHEN ZENTRUM FÜR ZAHN-, MUND-  
UND KIEFERHEILKUNDE

Geschäftsführender Direktor: Prof. Dr. Roland Frankenberger

des Fachbereichs Medizin der Philipps-Universität Marburg

in Zusammenarbeit mit dem Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH,

Standort Marburg, Abteilung für Zahnerhaltungskunde

---

**Einfluss verschiedener medikamentöser Einlagen  
auf den Haftverbund von  
*AH Plus* zum Wurzelkanaldentin**

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades der Zahnheilkunde

dem Fachbereich Medizin

der Philipps-Universität Marburg

vorgelegt von

**Lara Hansen**

aus Essen

Marburg, 2016

Angenommen vom Fachbereich Medizin der Philipps-Universität Marburg

am: 10.05.2016

Gedruckt mit Genehmigung des Fachbereiches

**Dekan:** Herr Prof. Dr. H. Schäfer

**Referent:** Herr Prof. Dr. R. Frankenberger

**1. Korreferent:** Herr Prof. Dr. T. Auschill

Für meine lieben Eltern

Für meinen lieben Marvin

# INHALTSVERZEICHNIS

---

<b>1</b>	<b>Einleitung.....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Literaturübersicht .....</b>	<b>4</b>
2.1	Die medikamentösen Einlagen.....	4
2.1.1	Kalziumhydroxid.....	4
2.1.2	Chlorhexidindigluconat .....	6
2.2	Der Sealer - <i>AH Plus</i> .....	7
2.3	Die Spülflüssigkeiten .....	8
2.3.1	Natriumhypochlorit.....	9
2.3.2	Ethylendiamintetraessigsäure.....	11
2.3.3	Destilliertes Wasser.....	12
2.3.4	Die passive schallaktivierte Wurzelkanalspülung.....	13
<b>3</b>	<b>Material und Methode.....</b>	<b>15</b>
3.1	Auswahl der Zähne .....	16
3.2	Aufbereitung der Wurzelkanalsysteme und Anpassen der Spreader.....	17
3.3	Obturation der Wurzelkanäle.....	19
3.3.1	Medikamentöse Einlagen auf Pasten- und Gelbasis .....	19
3.3.2	Medikamentöse Einlagen in Stiftform .....	21
3.3.3	Die Kontrollgruppen .....	22
3.4	Einbetten der Probenzähne .....	23
3.5	Das Spülprotokoll .....	27
3.6	Das Beschicken mit <i>AH Plus</i> .....	28
3.7	Verfahren zur Testung des Widerstandes: Das Pull-out-Verfahren und die statistische Auswertung .....	29
3.8	Die Ermittlung der Frakturmodi .....	31

<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>32</b>
4.1	Ergebnisse zu den medikamentösen Einlagen in Pasten- und Gelform .....	33
4.2	Ergebnisse zu den medikamentösen Einlagen in Stiftform.....	35
4.3	Vergleich der Ergebnisse aller Versuchsgruppen .....	36
4.4	Frakturmodus .....	38
<b>5</b>	<b>Diskussion.....</b>	<b>39</b>
5.1	Diskussion der Methodik.....	40
5.1.1	Die maschinelle Aufbereitung .....	40
5.1.2	Die medikamentösen Einlagen.....	41
5.1.3	Die Spülung des Wurzelkanalsystems .....	43
5.1.4	Die Würzelkanalfüllpaste .....	46
5.1.5	Verfahren zur Testung der Scherfestigkeit von Sealern.....	48
5.1.6	Klinische Relevanz .....	50
5.2	Diskussion der Ergebnisse .....	51
5.2.1	Prüfung der Nullhypothese .....	51
5.2.2	Der <i>Activ Point</i> verbessert deutlich die Haftkraft von <i>AH Plus</i> .....	51
5.2.3	Chlorhexidindigluconat als Stift weist höhere Haftwerte auf als in Gelform.....	52
5.2.4	Kalziumhydroxid als Paste weist höhere Haftwerte auf als in Stiftform.....	53
5.2.5	<i>UltraCal XS</i> -Paste weist höhere Haftwerte auf als das <i>Chlorhexamed DIREKT</i> - Gel.....	54
5.2.6	Stifteinlagen auf Chlorhexidinbasis weisen höhere Haftwerte auf als solche auf Kalziumhydroxidbasis .....	55
5.2.7	Die Frakturmodi.....	55
5.2.8	Fazit .....	56
5.3	Klinischer Ausblick .....	57
<b>6</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>58</b>
6.1	Zielsetzung.....	58

6.2	Material und Methode .....	58
6.3	Ergebnisse.....	59
6.4	Schlussfolgerung.....	59
<b>7</b>	<b>Summary .....</b>	<b>60</b>
7.1	Aim.....	60
7.2	Methods .....	60
7.3	Results .....	61
7.4	Conclusion .....	61
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>62</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>72</b>
	Anhang 1: Abkürzungsverzeichnis.....	73
	Anhang 2: Materialliste .....	75
	Anhang 3: Auswertungstabellen und Diagramme der Frakturmodi .....	78
	Anhang 4: Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	84
<b>10</b>	<b>Verzeichnis der akademischen Lehrer .....</b>	<b>88</b>
<b>11</b>	<b>Danksagung .....</b>	<b>89</b>

---

## 1 Einleitung

Der konservierend tätige Zahnarzt kann im Rahmen einer Wurzelkanalbehandlung eine erhebliche Zahl an Möglichkeiten wählen, einen Wurzelkanal zu säubern, aufzubereiten und nachfolgend zu obturieren. Allen Verfahren gemein ist hierbei die Notwendigkeit, die vollständige Entfernung der Pulpa zu ermöglichen und die ausgiebige Reinigung des gesamten Wurzelkanalsystems bis in kleinste Ausläufer und Dentintubuli zu erreichen. Nach Schaffung einer adäquaten koronalen Zugangskavität, gilt es, das gesamte Pulpagewebe zu entfernen. Vor allem bei der Behandlung von Pulpanekrosen ist es wichtig, die bakterielle Infektion möglichst vollständig zu eliminieren und bereits im ersten Behandlungsschritt durch einen oberflächlichen Abtrag der infizierten Wurzelkanalwände auf manuellem oder maschinellem Wege zu reinigen [104], denn Bakterien und deren Nebenprodukte gelten als die Hauptursache für pulpale und periradikuläre Geschehen [72]. Da eine rein mechanische Reinigung des Systems nicht ausreichend ist [40], wird immer die Kombination mit Spülflüssigkeiten empfohlen [104]. Durch diese chemomechanische Aufbereitung ist es möglich, Mikroorganismen aus dem Wurzelkanal zu eliminieren [104] und nekrotisches Gewebe aufzulösen. Als Spülflüssigkeit sehr weit verbreitet und anerkannt ist Natriumhypochlorit (NaOCl) [13, 104], da es laut Hersteller desinfizierend wirkt und in der Lage ist, organisches Gewebe aufzulösen [56]. Allerdings kann durch NaOCl nicht die durch die instrumentelle Aufbereitung entstandene Schmierschicht (auch Smear layer genannt) entfernt werden [112]. Nur deren vollständige Entfernung gewährleistet jedoch eine ausreichend tiefe Penetration der Wurzelkanalfüllpaste (Sealer) in die Dentintubuli [61] und eine für den Erfolg und die Haftkraft entscheidende Ausbildung von Sealer-Zotten (so genannte „tags“). Um dieses Defizit des Natriumhypochlorits auszugleichen, wird weitläufig der Einsatz von Chelatoren wie zum Beispiel Zitronensäure oder Ethylendiaminacetat empfohlen. Diese Substanzen entfernen zuverlässig den entstandenen Smear layer [47].

Liegt eine infizierte Situation vor, sollte der Wurzelkanal, vor allem beim Vorliegen von Beschwerden, nicht in selbiger Sitzung abgefüllt werden. Um jedoch die Gefahr einer Rekontamination des Wurzelkanals zu minimieren, muss bis zum Erfolgen der endgültigen Wurzelkanalfüllung gewährleistet sein, dass das Wurzelkanalsystem weiterhin bakterienfrei bleibt oder letzte Bakterien eliminiert werden, um im Sinne der therapeutischen Zielsetzung Beschwerdefreiheit zu garantieren. Für diesen Zweck wurden medikamentöse Einlagen auf unterschiedlicher Wirkstoffbasis eingeführt [104]. Empfohlen werden hierfür Kalziumhydroxid und Chlorhexidindigluconat, deren Wirkung durch diverse wissenschaftliche Untersuchungen

belegt ist. Einlagen auf dieser Basis sind somit in der Lage Problemkeime aus dem Wurzelkanal zu entfernen [19, 72, 95]. Medikamentöse Einlagen haben in der Endodontie die Aufgabe, letzte verbliebene Bakterien, die durch die chemomechanische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems nicht eliminiert werden konnten, zu entfernen. Des Weiteren sollen sie als physiochemische Barriere fungieren und somit die Proliferation verbliebener Bakterien und die Reinfektion des Wurzelkanalsystems verhindern [101]. Mittlerweile ist es möglich, medikamentöse Einlagen in unterschiedlicher Beschaffenheit anzuwenden. Mit dem Streben der Hersteller, immer benutzerfreundlichere Produkte zu entwickeln, die dem Behandler Komfort und Zeitersparnis bieten, führte *ROEKO* medikamentöse Einlagen in Stiftform ein, deren Grundlage Guttapercha als Trägermaterial bildete. Die einfache und schnelle Anwendung macht diese neuen Produkte für die tägliche Praxis sehr interessant.

Für die Wirkung eines Medikaments ist es von grundlegender Bedeutung, dass es in seine aktiven Bestandteile zerfällt und so in das Wurzelkanalsystem diffundieren kann [101]. Lange war Gegenstand wissenschaftlicher Untersuchungen, welches Medikament in welchem Umfang desinfizierend auf die im Wurzelkanalsystem vorhandenen Bakterien wirkt. Auch untersucht wurde die desinfizierende Wirkung von Spülflüssigkeiten und deren Einfluss auf die Haftkraft der späteren Wurzelkanalfüllung und inwiefern sie sich auf die Beschaffenheit des Wurzelkanaldentins auswirken. Dass eine chemische Behandlung des Wurzelkanaldentins Einfluss auf den Haftverbund zwischen jenem und dem verwendeten Sealer hat, wurde ausreichend untersucht. Denn entscheidend für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung ist der gute Verbund des Sealers mit dem Dentin, um eine Reinfektion des Wurzelkanals von apikal nach koronal zu verhindern [105] und ein Lösen des Haftverbundes durch dislozierende Kräfte zu vermeiden [76]. Dieser Aspekt der Auswirkung auf den Haftverbund wurde bezüglich medikamentöser Einlagen jedoch noch nicht ausreichend untersucht. Besteht nun also die Möglichkeit, dass die oben erwähnten aktiven Bestandteile einen Einfluss auf den beschriebenen Haftverbund haben? Zwar existieren einige wenige Studien über den Einfluss nach medikamentöser Einlage von Kalziumhydroxid und Chlorhexidin auf Pasten- und Gelbasis, jedoch blieb bisher ungewiss, inwiefern sich die immer öfter verwendeten Einlagen in Stiftform auf den genannten Haftverbund auswirken. Aufgrund dessen wurde zur Zielsetzung der vorliegenden Arbeit, ob und wenn ja in welchem Ausmaße, sich medikamentöse Einlagen auf Chlorhexidindigluconat- und Kalziumhydroxidbasis auf den Haftverbund zwischen dem Wurzelkanaldentin und dem Sealer *AH Plus* auswirken. Um den aktuellen Gegebenheiten zu entsprechen, wurde der Aspekt der Stifteinlagen ebenfalls untersucht und vergleichend ausgewertet.

Es wurde der Einfluss auf die Haftkraft des Sealers *AH Plus* untersucht, da es sich um einen häufig angewendeten und bewährten Sealer handelt. Dieser in der Literatur als Goldstandard bezeichnete und in vielerlei Studien als Vergleichskomponente herangezogene Sealer [6, 107] findet in der alltäglichen Praxis weitläufig Anwendung, womit dieser im Zentrum des Interesses vieler Behandler und der klinischen Forschung steht.

## 2 Literaturübersicht

### 2.1 Die medikamentösen Einlagen

Ein entscheidendes Ziel endodontischer Behandlungen ist es, neben der mechanischen Reduktion der Bakterien selbst auch deren Produkte zu eliminieren [115]. Da eine rein mechanische Aufbereitung jedoch nicht zu einer vollständigen Elimination führt, werden medikamentöse Einlagen empfohlen [72], vor allem bei hochinfizierten Situationen wie der Nekrose [88]. Denn Peters *et al.* (2001) konnten in ihrer Untersuchung über die Änderungen der Kanalmorphologien während der Wurzelkanalaufbereitung zeigen, dass durch rein mechanische Aufbereitung des Wurzelkanalsystems viele Bereiche der Kanalwände unbehandelt bleiben [83].

Medikamentöse Einlagen sind also ein fester Bestandteil der heutigen endodontischen Therapie. Sie werden zu vielfältigen Zwecken herangezogen und zielen vor allem darauf ab, die Erfolgsraten der endodontischen Therapie zu steigern, indem sie sowohl eine Desinfektion als auch eine Schmerzlinderung erzielen und eine Rekontamination des Wurzelkanalsystems verhindern [104]. Ihre Hauptaufgaben sind neben der Elimination der Bakterien sowohl das Verhindern einer Proliferation derer als auch die Herstellung einer physiochemischen Barriere, die einerseits die Reinfektion des Wurzelkanalsystems verhindern und andererseits die Nahrungsversorgung verbliebener Bakterien unterbinden soll [100].

#### 2.1.1 Kalziumhydroxid

Kalziumhydroxid ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ist eine aus gebranntem Kalk gewonnene anorganische Verbindung, die 1920 von Bernhard W. Hermann erstmals Verwendung in der Endodontie fand [46]. Das radioopaque Material hat einen pH-Wert von 12,5, der, wie nachfolgend erläutert, grundlegend für die antibakterielle Wirksamkeit dieser Substanz ist. Des Weiteren ist der hohe pH-Wert laut Herstellerangaben ebenso verantwortlich für eine mögliche Stimulation der Knochenheilung im periapikalen Bereich. In einer Studie über den Einfluss medikamentöser Einlagen auf die apikale Dichtigkeit konnte sowohl die antimikrobielle Wirkung als auch die Induktion von Hartsubstanzen nachgewiesen werden [115]. In Kombination mit einer Natriumhypochloritspülung kann die auflösende Wirkung des Kalziumhydroxids auf Pulpagewebe weiter verbessert werden [44]. Ferner konnte aufgezeigt werden, dass neben der Stimulation der Knochenheilung durch Kalziumhydroxidpräparate ebenso eine Hemmung

resorptiver Prozesse möglich ist [88]. Bei *UltraCal XS* handelt es sich um eine wasserhaltige Paste, die mittels Applikationskanülen im Wurzelkanal platziert werden kann. Bei den verwendeten *Calciumhydroxid Plus* Spitzen handelt es sich um ein Depotpräparat. Hierbei wird Guttapercha als Trägersubstanz verwendet. Laut Hersteller genügt die, aus den Detinkanälchen austretende und vom Apex her eintretende, Flüssigkeit um Kalziumhydroxidionen in den Spitzen zu aktivieren. Jedoch liegen Erkenntnisse vor, die die antibakterielle Wirkung von Kalziumhydroxid als Stift als eingeschränkt betrachten. Als Begründung wird die unzureichende Abgabe von Hydroxylionen angegeben, die nicht in der Lage seien, die Pufferkapazität des Wurzelkanalodontins zu überwinden [88]. Laut Hasselgren *et al.* (1988) ist Kalziumhydroxid außerdem in der Lage, Gewebe aufzulösen, wie sie in einer Untersuchung über die Fähigkeit von  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  und  $\text{NaOCl}$  Gewebe aufzulösen, schlussfolgerten [44]. Dies ermöglicht es dem Behandler, auch letzte Reste manuell nicht zugänglichen organischen Gewebes aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen. Die vier Eigenschaften des Kalziumhydroxids - antimikrobielle Wirkung, Gewebeauflösung, Hemmung der Zahnresorption, Stimulation der Knochenheilung - rechtfertigen den täglichen Einsatz in der Endodontie als eine der effektivsten Substanzen [101].

### **Wirkmechanismus**

Die Wirkung des Kalziumhydroxids beruht unter anderem auf der Tatsache, dass das Präparat in wässrigem Milieu in der Lage ist, Hydroxylionen abzugeben. Dies induziert den hohen pH-Wert von 12,5, in welchem die im Wurzelkanalsystem vorhandenen Bakterien nicht in der Lage sind zu überleben. Die Kalziumhydroxidionen wirken letal auf Bakterien. Diese Eigenschaft beruht auf drei Prozessen. Einerseits schädigen sie die Zytoplasmamembran der Bakterien, indem sie mittels Lipidperoxidation Strukturbestandteile der Zellmembran, die so genannten Phospholipide, zerstören. Andererseits sind Hydroxylionen dazu in der Lage, die DNA der Bakterien zu schädigen und letale Mutationen zu induzieren. Dies geschieht über eine Interaktion der Ionen mit der Bakterien-DNA, was im Verlauf DNA-Strang-Brüche und eine Störung der Replikation mit der Folge letaler Mutationen bewirkt. Darüber hinaus führt der hohe pH-Wert zu einer Auflösung von Polypeptidketten, denn die Alkalisierung bedingt die Lösung ionischer Verbindungen in den Tertiärstrukturen, was den Enzymen ihre Funktion und den Bakterien ihren überlebenswichtigen Metabolismus nimmt [101].

### 2.1.2 Chlorhexidindigluconat

Chlorhexidindigluconat, im weiteren Verlauf als Chlorhexidin (CHX) bezeichnet, wird in der Endodontie nicht nur als medikamentöse Einlage, sondern ebenso als Spüllösung verwendet. Grund hierfür ist seine ausgezeichnete antimikrobielle Wirksamkeit [72]. Chlorhexidin, ein kationisches Bisbiguanid [115], wurde als Gel mit einer Konzentration von 1 % (*Chlorhexamed DIREKT*) und als Depotpräparat in Stiftform mit einer Konzentration von etwa 5 % eingesetzt. Im Falle der *Activ Points* handelt es sich ebenfalls um ein Depotpräparat auf Guttaperchabasis, aus welcher nach Angaben des Herstellers nach Flüssigkeitszutritt in das Wurzelkanalsystem Chlorhexidindiacetat freigesetzt wird. Zwar liegt Chlorhexidin in Stiftpräparaten in einer höheren Konzentration vor und auch wenn der Hersteller versichert, dass sich Chlorhexidin durch die aus den Dentinkanälchen und vom Apex her nachfließende Flüssigkeit in ausreichendem Maße löst und durch seine Affinität zu Dentin länger verfügbar bleibt, liegen Erkenntnisse vor, dass der Einsatz von Chlorhexidin in Gelform bezüglich seiner desinfizierenden Wirkung effektiver sei [88].

#### Wirkmechanismus

Der Wirkmechanismus des Chlorhexidin basiert auf einer Interaktion mit der Zellmembran der Mikroorganismen. Denn es bewirkt eine Lochbildung in den intrazellulären Bestandteilen derer. Dies ist möglich, da Chlorhexidin ein positiv geladenes Molekül mit lipophilem Charakter ist. Diese Eigenschaft ist entscheidend, um eine Interaktion mit den Phospholipiden und Lipopolysacchariden der bakteriellen Zellmembran einzugehen und diese somit durch aktive und passive Transportmechanismen zu durchdringen. Grundlage hierfür ist die schon erwähnte positive Ladung des Chlorhexidin-Moleküls und die negative Ladung der Phosphatgruppen, die sich auf den Außenseiten der bakteriellen Zellwände befinden. Durch diesen Prozess wird eine Änderung des osmotischen Gleichgewichts bewirkt, und so ist es den Chlorhexidin-Molekülen möglich, die bakterielle Membran zu durchdringen. Trotz seiner guten antimikrobiellen Wirkung gegen grampositive und gramnegative Mikroorganismen ist es nicht möglich, durch eine medikamentöse Einlage mit Chlorhexidin Gewebe aufzulösen [72] oder durch Bakterien produzierte Zellgifte, die so genannten Endotoxine, welche erst nach Auflösung der Zellen frei werden, zu neutralisieren [88]. Auf diese Mikroorganismen wirkt es in niedrigen Konzentrationen (0,2 %) bakteriostatisch. Eine bakterizide Wirkung hingegen kann durch höhere Konzentrationen erreicht werden [115]. Ein weiterer Schlüssel der guten Wirkung des Chlorhexidin ist seine Eigenschaft, lange an Geweben zu haften. Diese Eigenschaft bezeichnet man als Substantivität, welche bewirkt, dass Chlorhexidin über einen langen Zeitraum

kontinuierlich freigesetzt wird und somit ein initiales Anheften und möglicherweise sogar eine weitere Akkumulation neuer Mikroorganismen und somit die Ausbildung eines Biofilms hemmen kann. Wichtig hierbei ist es, Chlorhexidin in hohen Konzentrationen anzuwenden, denn die Substantivität hängt von der Anzahl der Chlorhexidin-Moleküle ab, die dann mit dem Wurzelkanalentin interagieren können. Somit ergibt sich ein direkter Zusammenhang zwischen einer hohen Konzentration und der damit steigenden Widerstandsfähigkeit gegenüber einer neuen Kolonisation bakterieller Mikroorganismen, also der Schlüsseleigenschaft Substantivität [72].

### 2.2 Der Sealer - *AH Plus*

*AH Plus* ist eine auf Epoxid-Amin-Harz basierende Wurzelkanalfüllpaste, bestehend aus einem Zweikomponenten-System, und ist wie alle Wurzelkanalfüllpasten für die Obturation des Wurzelkanals in Kombination mit Guttaperchastiften vorgesehen, so empfiehlt es auch der Hersteller. Eine Wurzelkanalfüllung soll den schon geschwächten Zahn stabilisieren und somit vor Frakturen schützen. Des Weiteren soll das Wurzelkanalsystem gegen Bakterien abgedichtet werden, ein Austausch derer zwischen dem Wurzelkanalsystem und dem Periodont gilt es zu verhindern [96]. Die Aufgabe des Sealers ist es nun, im besten Falle einen Verbund sowohl mit dem Wurzelkanalentin als auch mit dem Wurzelkanalfüllungsmaterial einzugehen. Diese Verbindung ist in vielerlei Hinsicht anstrebenswert. Denn einerseits werden somit durch bessere Adaptation des Füllungsmaterials zum Wurzelkanalentin Unebenheiten und Lücken ausgeglichen, welche die Hauptursache für das Eindringen von Bakterien und Flüssigkeit darstellen. Andererseits trägt sie zu einer erhöhten Stabilität der Wurzelkanalfüllung bei, die so widerstandsfähiger gegenüber dislozierenden Kräften wirkt [76].

Die vom Hersteller angegebenen Eigenschaften der dauerhaften Dichtigkeit, der Selbsthaftung und der besonders guten Dimensionsstabilität unterstützen das Ziel, die obengenannten Anforderungen zu erfüllen.

### Herstellung des Haftverbundes

Die Herstellung eines Haftverbundes zwischen einem Sealer, dem Wurzelkanalfüllungsmaterial und dem Wurzelkanalentin ist ein anzustrebendes Ziel für eine erfolgreiche Wurzelkanalfüllung.

Chemisch gesehen wird der Haftverbund zwischen dem Sealer *AH Plus* und dem Wurzelkanalentin bewerkstelligt, indem dessen Epoxidgruppen eine kovalente Bindung zu den durch Spülflüssigkeiten freigelegten Aminogruppen des Kollagens eingehen [33]. Somit kann ein Haftverbund zwischen *AH Plus* und der organischen Phase des Wurzelentins hergestellt werden. Voraussetzung hierfür ist die Freilegung des kollagenösen Netzwerkes, ohne es zu zerstören oder einen Kollaps dessen zu initiieren. Dies wird, wie weiter unten erläutert, durch die verwendeten Spülflüssigkeiten gewährleistet [76]. Die dargestellten chemischen Grundlagen sind die Voraussetzung zur Herstellung des mechanischen Haftverbundes. Denn durch die Freilegung des Kollagenetzwerkes und die Demineralisation des Dentins wird eine Infiltration des Sealers in die Dentinkanälchen gewährleistet [17] und somit die Ausbildung der Sealer-Tags möglich, die grundlegend für eine gute mechanische Stabilität der Wurzelkanalfüllung sind [37].

Ein gewünschter Monoblock im Wurzelkanalsystem kann jedoch nicht erreicht werden, da im Gegensatz zu einem möglichen Haftverbund zum Wurzelkanalentin ein solcher zum Gutta-percha nicht möglich ist [3]. Jedoch erzielt *AH Plus* trotz fehlenden Monoblocks im Vergleich zu anderen Sealern in vielen Studien die höchsten Haftwerte, hinsichtlich vielerlei untersuchter Einflüsse ([19, 31, 111], siehe auch Seite 46).

### 2.3 Die Spülflüssigkeiten

Da Bakterien und deren Nebenprodukte als Hauptursache für entzündliche pulpare und periradikuläre Geschehen gelten [72], ist deren Elimination das Ziel endodontischer Behandlungen [115]. Des Weiteren ist die Dentinoberfläche nach mechanischer Aufbereitung immer stark bedeckt mit einer Schmierschicht und Detritus [40].

Diese Schmierschicht entsteht während der instrumentellen Wurzelkanalaufbereitung und legt sich auf die Innenflächen der Wurzelkanäle, sie enthält Dentindetritus, Pulpenreste, Bakterien und nekrotisches Gewebe [70]. Sie ist einer der Hauptangriffspunkte der chemischen Aufbereitung des Wurzelkanals. Denn diese fungiert nicht nur als Reservoir für Mikroorganismen [112], sondern setzt nachweislich die Dentinkanälchen zu und verhindert

somit das Eindringen des Sealers in jene [64]. Dies führt zu einer erhöhten Wahrscheinlichkeit eines Auftretens apikaler Undichtigkeiten [59] und stellt somit den Erfolg der Wurzelkanalbehandlung in Frage.

Da dieses Ziel nicht alleinig durch mechanische oder rein chemische Bearbeitung zu erreichen ist, wird die Kombination aus mechanischer Reinigung, medikamentöser Einlage und der gründlichen Spülung während der Aufbereitung empfohlen [72, 104], um eine bestmögliche Reinigung des Systems zu erzielen. Das Wurzelkanalsystem weist eine hohe Komplexität an Kanalmorphologien auf, die sich in zahlreichen Ramifikationen und anatomischen Variationen äußert [40, 115] und somit die Reinigung zusätzlich erschwert. Die so genannte chemo-mechanische Aufbereitung soll das Erreichen dieses Ziels ermöglichen [13].

Der Einsatz von Spülflüssigkeiten als Antimikrobiotika ist jedoch nicht deren einzige Aufgabe. Des Weiteren sollen sie die Wände des Wurzelkanals fetten, Detritus heraus schwemmen und sowohl die an- als auch die organischen Bestandteile der Schmierschicht von der Dentinoberfläche entfernen [57]. Sinn des Vorgehens ist es somit, die Haftkraft von Sealern zu verbessern [75].

Infolgedessen spielt die Spülung des Wurzelkanalsystems eine entscheidende Rolle bei der Wurzelkanalaufbereitung und ist zu einem festen Bestandteil derer geworden [56].

### 2.3.1 Natriumhypochlorit

Bei Natriumhypochlorit handelt es sich, chemisch gesehen, um das Salz der hypochlorigen Säure (HOCl). In der vorliegenden Studie wurde es als Spüllösung mit einer Konzentration von 3 % verwendet und mittels Spülkanülen in den Wurzelkanal appliziert.

Von der DGZMK und DGZ empfohlen [104], gilt NaOCl, nicht zuletzt wegen seiner guten gewebsauflösenden und antibakteriellen Eigenschaften, seit langem als Mittel der Wahl zur Spülung von Wurzelkanälen [42]. Auch ansonsten erfüllt es als eine der einzigen Spüllösungen fast alle geforderten Eigenschaften [45]:

- geringe Toxizität
- bakterizide Wirkung
- Auflösung von an- und organischem Material
- niedrige Oberflächenspannung
- Schmiereffekt

Wie schon erwähnt, wurde Natriumhypochlorit als 3 %ige Lösung verwendet. Zwar ist bereits eine Konzentration von 0,5 % wirksam und zudem nicht toxisch gegenüber lebenden Geweben [9], was eine Irritation des periapikalen Gewebes oder der Mundschleimhaut verhindert, jedoch belegen Harrison *et al.* (1983) in ihrer Untersuchung über Schmerzassoziationen während und nach endodontischen Therapien, dass Natriumhypochlorit in einer Konzentration von 5,25 % nicht zu einer Steigerung von Schmerzfällen während der Behandlungen führt [43]. Dies wird von weiteren Studien gestützt, die Natriumhypochlorit in höheren Konzentrationen verwendeten und empfehlen [42]. Diese belegen unter anderem, dass durch hohe Konzentrationen die Reinigung der Wurzelkanäle gesteigert und dass von diesen großer Gebrauch gemacht wird, um zusätzlich den Smear layer teilweise zu entfernen [9]. Die in der Endodontie unerwünschte Schmierschicht setzt die Dentintubuli zu. Denn es konnte gezeigt werden, dass ein direkter Zusammenhang zwischen geöffneten Dentintubuli und der Entfernung des Smear layers und des Detritus besteht [40]. Dies führt unweigerlich zu einem Verhindern des Eindringens von Spülflüssigkeiten bis in die kleinen Dentintubuli. Somit fungiert die Schmierschicht als eine Art Diffusionsbarriere und setzt die Dentinpermeabilität herab [60]. Die Wirkung des Natriumhypochlorits auf die Schmierschicht wird in der Literatur jedoch kontrovers diskutiert, wie weiter unten erläutert.

### **Wirkmechanismus**

Es handelt sich bei Natriumhypochlorit um ein Antiseptikum, das, wie vom Hersteller deklariert, desinfizierend und reinigend wirkt und außerdem in der Lage ist, nekrotisches und organisches Gewebe aufzulösen [56]. Seine antimikrobielle Wirkung beschreibt der Hersteller durch die Freisetzung von Chlor. Genauer sind es die HOCl-Moleküle, welche neben ihrer chlorierenden Eigenschaft auch eine oxydierende Wirkung besitzen [45], dies führt zum Lösen organischer Bestandteile. Durch den Einsatz von Natriumhypochlorit kommt es somit zur Entfernung von Kollagenfibrillen. Dies führt zu einer glatten Oberfläche mit erweiterten Dentintubuli [79].

Kontrovers diskutiert wird die Fähigkeit des Natriumhypochlorits, die Schmierschicht im Wurzelkanalsystem zu entfernen. Untersuchungen zeigten zwar, dass die Schmierschicht nach Verwendung von Natriumhypochlorit nicht mehr vollständig intakt ist [9] und auch dass Natriumhypochlorit zumindest einen Teil der Schmierschicht durch Auflösung organischer Zusammensetzungen entfernen kann [40]. Jedoch überwiegt die Anzahl solcher Untersuchungen, die aufzeigten, dass Natriumhypochlorit ineffektiv in der Entfernung der Schmierschicht sei [68, 78, 112, 117].

### 2.3.2 Ethylendiamintetraessigsäure

Ethylendiamintetraessigsäure oder kurz EDTA stellt einen Chelatkomplex organischen Ursprungs dar, dessen Bestandteile ( $C_{10}H_{16}N_2O_8$ ) ein Oktaeder bilden. Sein pH-Wert ist nahezu neutral [110]. 1975 fand es durch Nysgaard-Østby erstmals Anwendung in der Endodontie [57].

EDTA wird in der Endodontie als Spülflüssigkeit verwendet, um die durch die instrumentelle Aufbereitung des Wurzelkanalsystems entstandene Schmierschicht zu entfernen. Hierfür sind Chelatverbindungen besonders geeignet [117]. Zusätzlich ist EDTA in der Lage Detritus effektiv zu entfernen [40]. Des Weiteren konnte sich EDTA als Spüllösung in der Endodontie etablieren, da es die Haftung von Sealern, wie zum Beispiel *AH Plus*, zum Wurzelkanalentin, im Vergleich zu nicht behandeltem Wurzelkanalentin, nachweislich steigert [31, 37, 76]. Dies wird dadurch begründet, dass durch die Anwendung von EDTA die Eingänge der Dentintubuli durch Demineralisation des peritubulären Dentins erweitert [17] und folglich die Penetration des Sealers in die Dentintubuli erleichtert werden kann. Diese Annahme untermauern Gu *et al.* (2009), die in ihrer Untersuchung zeigen konnten, dass nach der Anwendung von EDTA die gebildeten Sealer-Zotten länger und homogener gebildet wurden, im Vergleich zur alleinigen Anwendung von Natriumhypochlorit [40].

#### Wirkmechanismus

EDTA wird in der Medizin als Dinatriumsalz mit einer zweifach negativen Ladung eingesetzt. In Gegenwart von Metallionen geht das Dinatriumsalz in ein Tetraanion über, welches einen sechszähligen Chelator darstellt [122]. Als ein solches Metallion kann zum Beispiel Kalzium fungieren. Dieses zweifach positiv geladene Kation stellt den Hauptbestandteil des anorganischen Dentinanteils dar [45]. Mit Metallionen bildet EDTA so genannte Chelatkomplexe, Komplexe welche sich bis zu sechsfach an ein Kation binden und somit sehr stabile Verbindungen bilden können. Das Eingehen solch stabiler Komplexe ist jedoch begrenzt, da EDTA jene nur bis zur vollständigen Sättigung eingeht und somit eine selbstlimitierende Aktivität aufweist [57]. Also muss die Anwendungsdauer des EDTA an den Sättigungszeitpunkt angepasst werden [47]. Einerseits geht EDTA zwar nur bis zu diesem Sättigungsgleichgewicht Chelatkomplexe ein und löst so nur zeitlich begrenzt die Schmierschicht, andererseits fällt der pH-Wert jedoch durch die EDTA-Einwirkung. Dies führt wiederum zur Demineralisation von Dentin. Daraus schlussfolgernd muss die optimale

Einwirkzeit gefunden werden, in der eine minimale Demineralisation bei maximaler Schmierschichtauflösung erreicht werden kann [57].

Auch im Falle des EDTA ist, entsprechend dem Natriumhydrochlorit, das Kollagenetzwerk ein zentraler Faktor dessen Wirkmechanismus. Durch die Wirkung von EDTA wird die ursprüngliche Form der Kollagenfibrillen nicht verändert [20]. Dies führt zu einer höheren Haftkraft, da durch einen ausbleibenden Kollaps der Kollagenfibrillen eine bessere Sealer-Tag-Ausbildung erfolgen und somit ein besserer mikromechanischer Verbund zwischen Dentin und Sealer geschaffen werden kann [40].

Durch die Bildung von Chelatkomplexen mit Kationen der äußeren Bakterienmembran ist EDTA außerdem bedingt antibakteriell [57]. Gestützt wird diese Annahme durch eine Analyse über die antibakterielle Wirksamkeit von NaOCl und EDTA, die aufzeigen konnte, dass beide Spülflüssigkeiten zusammen eine höhere antibakterielle Wirkung aufweisen als Natriumhypochlorit alleine [15].

Abschließend kann für das Spülmedium EDTA folgender Schluss gezogen werden: Je stärker der Chelator, desto besser die Freilegung des Kollagenetzwerkes, desto besser die Infiltration des Sealers in die Dentinkanälchen, desto stärker der Haftverbund des Sealers zum Wurzelkanaldentin.

### 2.3.3 Destilliertes Wasser

Die Anwendung von destilliertem Wasser ist ein entscheidender Faktor, um die problemlose Penetration der Medikamente in die Dentintubuli und später die einwandfreie Haftung des Sealers durch Tag-Ausbildung sicherzustellen.

Im Falle der Anwendung von Chlorhexidin ist eine Spülung mit destilliertem Wasser nach Anwendung von Natriumhypochlorit als Spülflüssigkeit von großer Bedeutung. Denn verbleiben auch nur wenige Reste von Natriumhypochlorit in den Dentintubuli und erfolgt unmittelbar danach eine Einlage mit Chlorhexidin, so fällt das toxische para-Chloranilin (PCA) aus. Diese orange-bräunliche Ausfällung entsteht, wenn Chlorhexidin durch Hydrolyse in kleinere Fragmente zerlegt wird. Hierbei wird die Bindung zwischen Kohlenstoff und Stickstoff aufgelöst, wodurch das toxische Nebenprodukt para-Chloranilin entsteht. Der toxische Effekt des PCA besteht darin, Methämoglobin zu bilden [41]. Methämoglobin entsteht durch Oxidation von  $\text{Fe}^{2+}$  zu  $\text{Fe}^{3+}$  und ist somit nicht mehr in der Lage Sauerstoff zu binden [63].

Neben dem toxischen Effekt des PCA wirkt sich die Ausfällung zusätzlich negativ auf die Haftkraft des Sealers aus. Denn das ausgefällte PCA verschließt durch Auflagerung die Dentintubuli [41], verhindert so die Penetration des Sealers in jene und nachfolgend auch die Sealer-Tag-Ausbildung [31]. Des Weiteren reagiert der auf Epoxidharz basierende Sealer *AH Plus* mit dem aromatischen para-Chloranilin. Grundlage für diesen Vorgang ist die Ausbildung einer kovalenten Bindung der Aminogruppen des PCA mit den Epoxidringen des *AH Plus* [41]. Vor allem im Frontzahnbereich ist zusätzlich der negative ästhetische Aspekt zu berücksichtigen, denn durch die orange-braune Ausfällung verfärben sich die betroffenen Zähne nach der Behandlung [103].

### 2.3.4 Die passive schallaktivierte Wurzelkanalspülung

Die Entscheidung für die passive schallaktivierte Reinigung des Wurzelkanalsystems wird untermauert durch verschiedene wissenschaftliche Untersuchungen, die diese als effektive Unterstützung zur Entfernung der Schmierschicht charakterisieren [47, 71] und eine Steigerung der Haftkraft nachweisen konnten [40]. Jene Untersuchungen zeigten, dass die konventionell angewandte Spülung durch Einbringen des Spülmediums mittels Spülkanülen nicht zu einer Reinigung des vollständigen Wurzelkanalsystems führen kann, vor allem nicht im apikalen Wurzelkanaldrittel [47]. Dies wird klar, wenn man sich die sehr variable und komplexe Anatomie des apikalen Wurzelkanalabschnittes vor Augen führt. Effektiv reinigen können die Spülmedien jedoch nur, wenn sie das gesamte Wurzelkanalsystem erreichen, weshalb es notwendig ist, die Flüssigkeiten mit einer Nadel nahe der Arbeitslänge zu aktivieren [71].

Der von DENTSPLY Maillefer entwickelte *EndoActivator* arbeitet hygienisch mit Einmalspitzen (*Activator Tips*), die ganz individuell durch drei verschiedene Größen an die klinische Situation angepasst werden können. Der *EndoActivator* besteht aus einem dynamisch-leichten Handstück und den erwähnten Einmalaufsätzen, die freischwingend in den Wurzelkanal eingebracht werden und die Spülflüssigkeit so hydrodynamisch aktivieren. Laut Hersteller überzeugt er durch Sicherheit, Effektivität und Einfachheit. Er garantiert eine optimale Reinigung des Wurzelkanalsystems durch bessere Entfernung nicht nur der Schmierschicht, sondern auch des Biofilms und des Detritus. Somit werden alle Bereiche des Wurzelkanalsystems effektiver gereinigt und desinfiziert, wodurch die vom *EndoActivator* aktivierte Spülung des Systems zu einer Erhöhung der Erfolgsquoten endodontischer Behandlungen beiträgt.

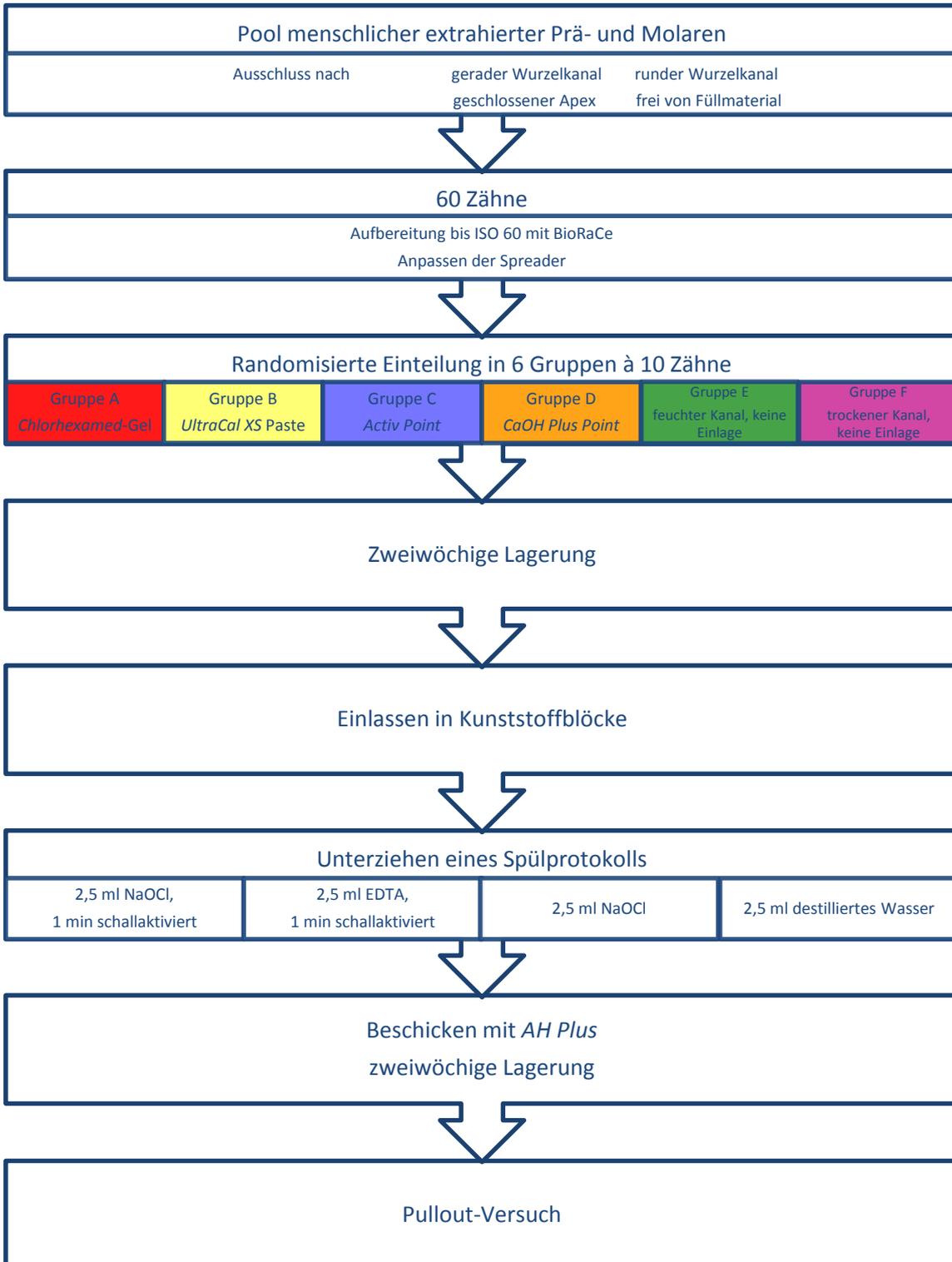
Die unterstützende Reinigung des Wurzelkanalsystems durch passive Schallaktivierung oder auch andersartige Aktivierung war bereits Thema einiger wissenschaftlicher Untersuchungen

und wurde ebenso in Lehrbüchern thematisiert [2, 18, 45,47, 112]. Konsens war eine eindeutig bessere Reinigung des Wurzelkanalsystems, vor allem des apikalen Drittels. Als Grund für eine Verbesserung der reinigenden und desinfizierenden Wirkung der Wurzelkanalspülung werden die frei im Wurzelkanal oszillierenden *Activator Tips* genannt, die die Quantität der zu entfernenden Verunreinigungen erhöhen, indem die Energie der *Tips* auf die angewandten Spüllösungen übertragen wird [45].

Wichtig bei der Anwendung ist, darauf zu achten, dass sich die bis 1 mm vor Arbeitslänge eingebrachten Spitzen frei im Kanal bewegen können, ohne dabei die Wände dessen zu berühren. So kann gewährleistet werden, dass die für die Wirkung des *EndoActivators* grundlegende hydrodynamische Strömung einsetzen kann. Diese ist in der Lage, die Qualität des Debridement zu steigern, indem sie Scherkräfte produziert und somit effektiv Detritus und die Schmierschicht entfernt [47].

### 3 Material und Methode

Der gesamte Versuchsaufbau gliedert sich grob in acht Schritte (Abb. 1), die hier nachfolgend detaillierter erläutert werden sollen.



**Abb. 1:** Flowchart des Versuchsaufbaus

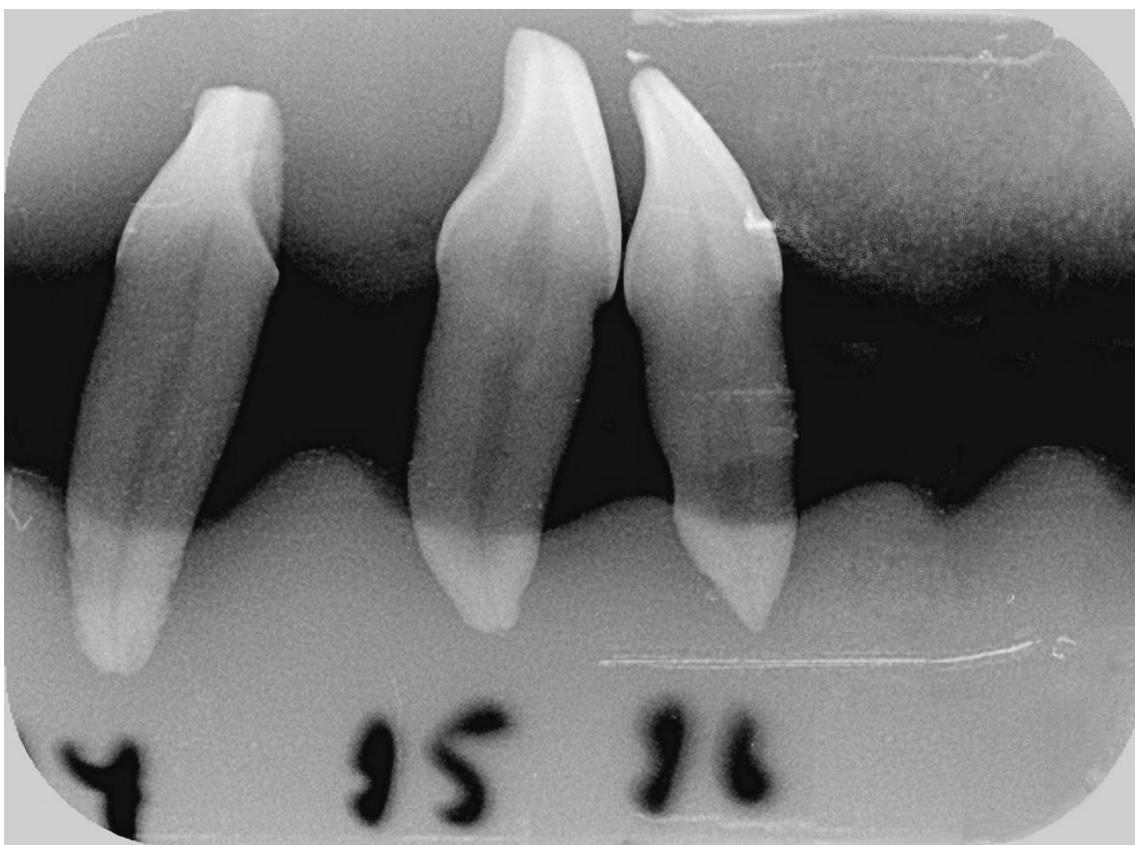
### 3.1 Auswahl der Zähne

Als Versuchsproben wurden menschliche Prämolaren und Molaren verwendet. Die Zähne wurden vor Beginn des praktischen Teils zwei Wochen lang in 0,5 %iger Chloramin-T-Lösung (Klinikapotheke, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH) gelagert, um die Gefahr einer Infektion und die Besiedelung von Pilzen so gut als möglich zu vermeiden. Danach wurden sie in jedem Zwischenschritt in destilliertem Wasser (B. Braun Melsungen AG) gelagert, um einer Austrocknung und so einer Versprödung der Zähne entgegen zu wirken.

Die Zähne wurden zunächst grob entsprechend der folgenden Kriterien selektiert:

- gerade Wurzel
- geschlossener Apex
- runder Wurzelkanal

Diese grob aussortierten Zähne wurden mit Wachs (Kulzer Dental GmbH) auf Röntgenfolien (Digora/Soredex) befestigt und mit einem wasserfesten Stift (Edding) durchnummeriert. Die Röntgenbilder (Abb. 2) wurden direkt ausgewertet und alle Zähne mit ovalen Kanälen oder Wurzelkanalfüllungen aussortiert.



**Abb. 2:** Erste Röntgenkontrolle zur Auswahl der Probenzähne

### 3.2 Aufbereitung der Wurzelkanalsysteme und Anpassen der Spreader

Anschließend wurden die Zähne auf 8 mm getrimmt und gesäubert, damit sie mittels des *BioRaCe*-Systems (FKG Dentaire Swiss Dental Products) maschinell aufbereitet werden konnten (Abb. 3). Hierfür wurde der Motor auf 500 Upm und 1 Ncm eingestellt. Die Feile BR0 wird lediglich für die Aufbereitung der ersten 4-6 cm verwendet. Laut Hersteller sollen bei diesem Schritt vier leichte, pinselartige Bewegungen vorgenommen werden. Zwischen den Feilen wurde ausgiebig mit Natriumhypochlorit (3 %, SPEIKO Dr. Speier GmbH) gespült, um eine Verholzung des Kanals am Apex zu vermeiden. Nach dem ersten Arbeitsschritt wurde ein Stahlinstrument ISO 15 zur Rekapitulation auf Arbeitslänge gebracht. Danach folgte die weitere Aufbereitung mit den Feilen BR1-3, nach dem für die Feile BR0 beschriebenen Schema. Diese wurden jedoch bis auf Arbeitslänge gebracht. Die apikale Aufbereitung geschah mit den Feilen BR4 bis BR7. In unserem Fall wurde jedoch auf die Feile BR6 verzichtet, denn aufgrund ihrer Konizität würde es koronal zu einer Spaltbildung zwischen Stahl-Spreader und Wurzelkanalwand kommen. Dies würde in einer dickeren Sealerschicht resultieren und der Spreader säße aufgrund der fehlenden Kongruenz zwischen dem selbigen und dem Wurzelkanal nicht mehr satt in jenem. Nach Herstellerangaben ist es unerlässlich, das stetige Zwischenspülen und das Reinigen der Feilen nach vier Bewegungen einzuhalten, um eine optimale und sichere Anwendung zu gewährleisten. Die Feilen verfügen neben einer Farbcodierung mittels Gummi-stop, dem so genannten Assistant Colour Coding, über einen Code in Form von Rillen, um eine eindeutige Zuordnung der Feilen zu garantieren.

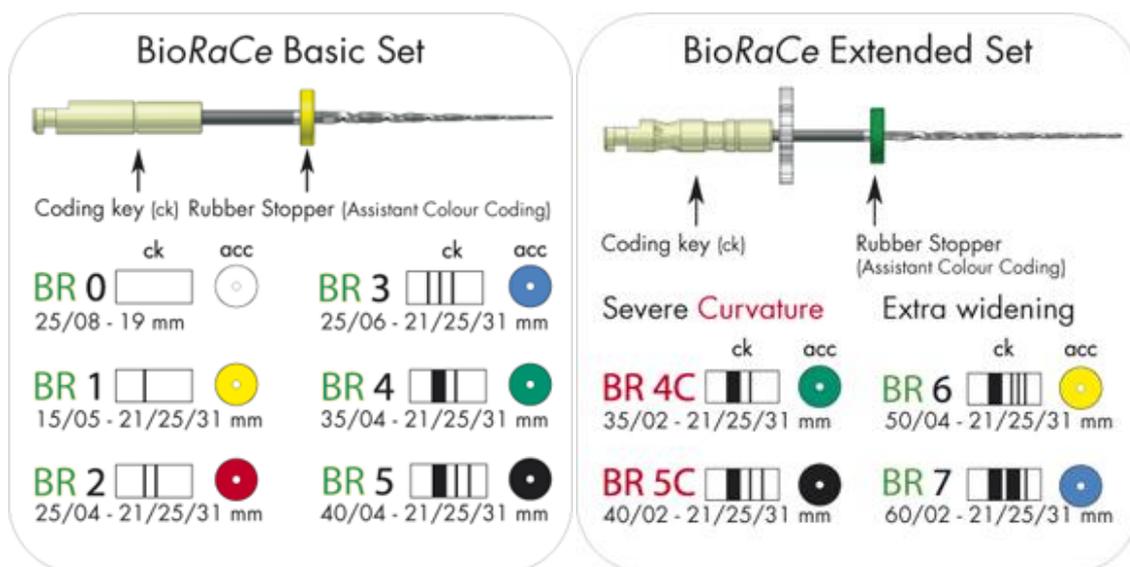
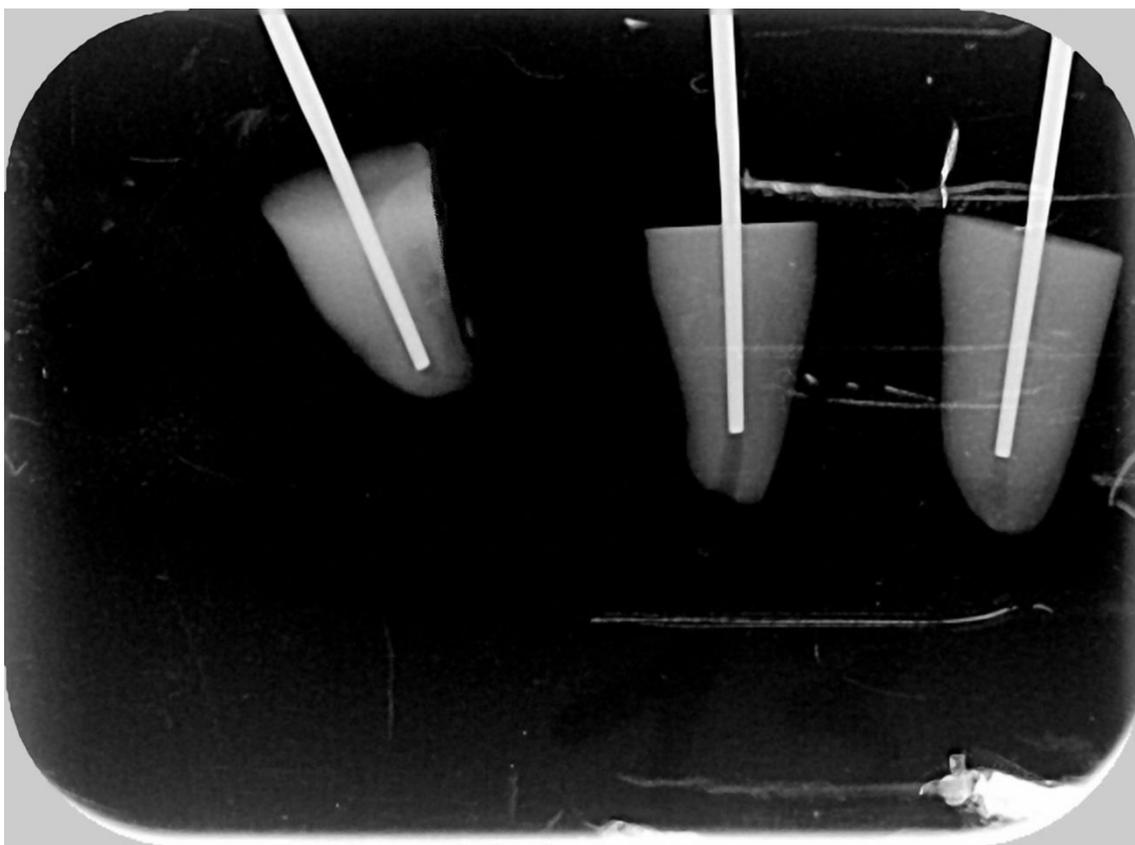


Abb. 3: *BioRace* Basic Set (links), *BioRace* Extended Set (rechts) (Foto: FKG Dentaire SA)

Die Bezeichnung der Feilen setzt sich wie folgt zusammen: die zuletzt verwendete Feile wurde folgendermaßen gekennzeichnet BR7 60/.02, sie trägt einen hellblauen Gummiring. 60 steht für die ISO Größe und .02 ist Ausdruck für den Taper, also die Konizität oder auch Verjüngung. Sie gibt die Durchmesser-Änderung in mm pro Längen-Änderung in mm an.

Bei der Aufbereitung war darauf zu achten, dass die zuletzt verwendete Feile (BR7) unmittelbar vor dem Füllen zum Einsatz kam, damit sich kein Smear layer mehr bilden konnte. Nach der Aufbereitung bis Feile BR5 wurden somit erst einmal die Wurzeln mittels einer diamantierten Trennscheibe (Horico) getrennt. Die experimentellen Spreader (DENTSPLY Maillefer) wurden durch Entgratung, Politur und Entfettung mittels 70 %igem Ethanol (Klinikapotheke, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH), jedoch ohne Silikatisierung und Silanisierung vorbereitet. Nach apikaler Kürzung auf 8 mm wurden die Spreader an die einzelnen Zähne und somit auf die Zielgröße ISO 60 angepasst, indem auf eine ausreichend starke Friktion geachtet wurde.



**Abb. 4:** Röntgenbild mit inkorporierten Spreadern zur Auswahl in Frage kommender Versuchsproben

Nach Aufbereitung mit der abschließenden Feile und erneuter Röntgenkontrolle mit dem angepassten Spreader, wurden die Zähne gegebenenfalls noch einmal aufgrund zu ovaler, langer oder kurzer Kanäle aussortiert (Abb. 4). Hierfür wurde das im Klinikalltag angewendete

Maß von 1 mm Abstand zum röntgenologischen Apex verwendet. Abschließend wurde noch einmal mit Natriumhypochlorit gespült. Somit waren die Zähne zur Aufnahme der medikamentösen Einlagen vorbereitet.

### 3.3 Obturation der Wurzelkanäle

Es wurden zwei unterschiedliche Wirkstoffe (Chlorhexidindigluconat und Kalziumhydroxid) in zwei unterschiedlichen Darreichungsformen (Gel/Paste und Stift) untersucht. Zusätzlich wurden zwei Kontrollgruppen angelegt, eine feuchte und eine trockene. Die Kontrollgruppen wurden angelegt, um zu ermitteln, ob sich im Kanal verbliebene Feuchtigkeit auf die Haftung des Sealers zum Wurzelkanalentin auswirken könnte und ob es somit nötig sei, die Kanäle in Zukunft vollständig zu trocknen, oder ob es ausreichen würde, nur den Wasserüberschuss mittels Papierspitzen zu entfernen. Die Gruppenstärken betragen jeweils n = 10, die Zuordnung der Probenzähne zu den experimentellen Gruppen erfolgte randomisiert (Tab. 1).

Tab. 1: Einteilung der Versuchsgruppen

Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C	Gruppe D	Gruppe E	Gruppe F
<i>Chlorhexamed DIREKT</i> Gel	<i>UltraCal XS</i> Paste	<i>Activ Point</i>	<i>Calcium-hydroxid PLUS Point</i>	feuchter Wurzelkanal	trockener Wurzelkanal
					
1 %	35 %	5 %	52 %	keine medikamentöse Einlage	keine medikamentöse Einlage

#### 3.3.1 Medikamentöse Einlagen auf Pasten- und Gelbasis

Die Gruppen A und B wurden wie folgt mit medikamentöser Einlage beschickt:

Zuerst erfolgte die Spülung mit Ethylendiamintetraacetat (EDTA, 16 %, Klinikapotheke, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH) zur Entfernung des Smear layers und danach eine gründliche Spülung mit destilliertem Wasser, um alle Reste der Dentinspäne aus dem Kanal zu entfernen. Die Kanäle wurden dann sorgfältig mit Papierspitzen in den ISO-Größen 55 und 60 (Coltène/Whaldent GmbH + Co. KG) getrocknet, um eine ausreichende Adaptation der medikamentösen Einlage und somit eine einwandfreie Wirkung auf das Dentin zu gewährleisten. Nun konnten 10 Zähne mittels Applikationskanülen (Ultradent Products Inc.) mit *Chlorhexamed DIREKT* Gel (1 %, GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG)

und weitere 10 Zähne mit *UltraCal XS Calciumhydroxide-Paste* (35 %, Ultradent Products Inc.) befüllt werden (Abb. 5).

Unmittelbar nach dem Befüllen wurden die Kanäle mit *Fermit* (Ivoclar Vivadent AG) verschlossen und mittels einer Polymerisationslampe (Elipar, 3M Espe) ausgehärtet. So konnten sie mit den passenden Spreadern in beschriftete Eppendorf-Gefäße (Eppendorf) einsortiert werden (Abb. 6). Hiervor wurde jedes Gefäß mit einem sterilen Tupfer versehen. Dieser wurde in steriles destilliertes Wasser getaucht. Um eine Verschleppung von Keimen zu vermeiden, wurde mit desinfizierten Instrumenten gearbeitet. Zur zweiwöchigen Lagerung wurden die Eppendorf-Gefäße in dafür vorgesehene Ständer einsortiert, bei 100 % Luftfeuchtigkeit und Zimmertemperatur gelagert.



**Abb. 5:** Medikamentöse Einlagen in Pasten-/Gelform



**Abb. 6:** Leeres und befülltes Eppendorfgefäß

#### **3.3.2 Medikamentöse Einlagen in Stiftform**

Die Gruppen C und D wurden wie folgt mit medikamentöser Einlage beschickt:

Auch in diesem Falle erfolgte zuerst die Spülung mit EDTA zur Entfernung des Smear layers und danach eine gründliche Spülung mit destilliertem Wasser. Für medikamentöse Einlagen in Stiftform ist es nicht nötig, den Kanal vollständig zu trocknen, denn um ein Quellen der Stifte (auch Points genannt) gewährleisten zu können, ist laut Hersteller eine Restfeuchtigkeit im Kanal notwendig. Die Points sollen nach dessen Angaben mindestens eine ISO-Größe kleiner gewählt werden als die der Masterfile. Da ein klemmender Stift nicht genügend Platz zum Aufquellen aufweist, wählten wir zwei ISO-Größen kleiner, somit fanden Spitzen in ISO-Größe 50 Anwendung (Abb. 7).



**Abb. 7:** Medikamentöse Einlagen in Stiftform

10 Zähne wurden mit *ROEKO Activ Point Chlorhexidin-Spitzen* (5 %, Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG) und weitere 10 Zähne mit *ROEKO Calciumhydroxid Plus Spitzen* (52 %, Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG) bestückt. Die Points wurden auf Kanaleingangshöhe abgeschnitten, dieser wurde mit Fermit verschlossen und ausgehärtet. Auch in diesem Falle wurden sie, wie oben beschrieben, in Eppendorf-Gefäße einsortiert und in einen zugehörigen Ständer zur zweiwöchigen Lagerung verstaut.

#### 3.3.3 Die Kontrollgruppen

Die Gruppen E und F wurden wie folgt präpariert:

Die feuchte und trockene Kontrollgruppe, ebenfalls mit einer Gruppenstärke von jeweils 10 Zähnen, wurden nach demselben Prinzip aufbereitet und gespült, nur nicht mit einem Medikament versehen und unverschlossen mit ihren zugehörigen Spreadern in die Eppendorf-Gefäße einsortiert.

#### 3.4 Einbetten der Probenzähne

Nach zwei Wochen Einwirkzeit wurden mittels einer diamantierten Trennscheibe in alle Zähne Retentionsrillen gefräst, um ein Herauslösen des Zahnes aus dem Kunststoffblock beim Zugversuch zu vermeiden. Zur weiteren Vorbereitung der Einbettphase zählte auch das Herstellen der Silikonformen zum Gießen der Kunststoffblöckchen. Hierzu wurden vier endodontische Übungsblöcke (VDW GmbH) miteinander verklebt und mittels Klebeband mittig auf dem Boden eines Interimsständers platziert. Diese vorbereitete Form wurde dann mit Dubliersilikon (*Silatec*, DMG GmbH) ausgegossen.

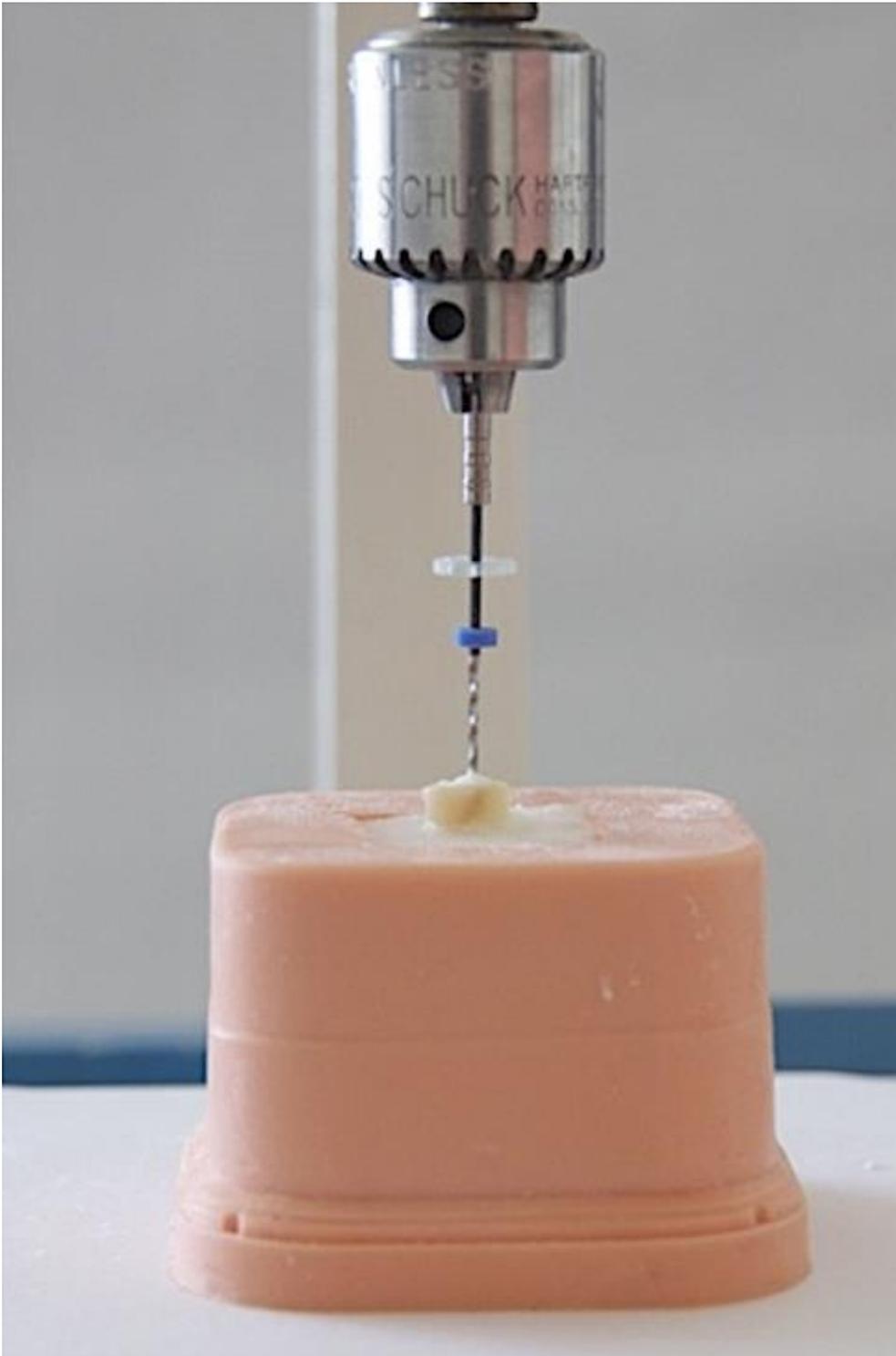
Zum Einbetten selbst wurden die einzelnen Zähne an BR7-Feilen befestigt, die wiederum in ein Parallelometer eingespannt wurden, um die senkrechte Ausrichtung des Kanals und somit des Spreaders im Kunststoffblock zu gewährleisten (Abb. 8). So konnte das Blöckchen problemlos in die Zugmaschine eingespannt und der Spreader senkrecht herausgezogen werden. Der Zahn wurde mittig in der Silikonform platziert. Als Kunststoff wurde *Palapress* Kunststoff (Kulzer Dental GmbH) in glasklarer Farbe gewählt. Dieser wurde fließfähig angerührt und vorsichtig in die Silikonform gegossen (Abb. 9), bis der Zahn so weit wie möglich gefasst wurde, ohne dass jedoch Kunststoff in die Kanalöffnung gelangen konnte (Abb. 10). Nach dem Aushärten wurden die Feilen entfernt und die Blöckchen mit einem wasserfesten Stift beschriftet, damit keine Verwechslungen entstehen konnten und es immer möglich war, den richtigen Zahn seinem Röntgenbild zuzuordnen.



**Abb. 8:** Senkrechtes Ausrichten der Proben im Parallelometer



**Abb. 9:** Befüllen der Silikonform mit Kunststoff



**Abb. 10:** Befüllte Silikonform während des Aushärtens des Kunststoffes

### 3.5 Das Spülprotokoll

Nach Abkühlen des Kunststoffes wurden die Zähne der Reihe nach einem festgelegten Spülprotokoll unterzogen (Tab. 2):

**Tab. 2:** Das Spülprotokoll

NaOCl	EDTA	NaOCl	Aqua dest.
2,5 ml	2,5 ml	2,5 ml	2,5 ml
3 %	16 %	3 %	
1 min. Schallaktivierung	1 min. Schallaktivierung	ohne Schallaktivierung	ohne Schallaktivierung

Für alle Spülvorgänge wurden Einwegspritzen (B. Braun Melsungen AG) mit den entsprechenden Flüssigkeiten beschickt und mit einer Spülkanüle (B. Braun Melsungen AG) versehen. Der *EndoActivator* (DENTSPLY Maillefer, Abb. 11) dient dem Herauslösen auch letzter verbliebender Reste von Medikamenten. Hierzu wird der Aufsatz in den Kanal eingeführt, der *EndoActivator* gestartet und dort eine Minute freischwingend belassen. Durch seine Schwingungen löst er auch Medikamente aus kleinsten Dentinseitenkanälen heraus.



**Abb. 11:** Der *EndoActivator* mit zugehörigem *Activator Tip* Größe „medium“ (.04/#25)

### 3.6 Das Beschicken mit *AH Plus*

Nach dem Spülen wurden die Zähne gleichermaßen sorgfältig mit ISO 55 und ISO 60 Papierspitzen getrocknet, damit danach das Einbringen des Sealers und der Spreader erfolgen konnte:

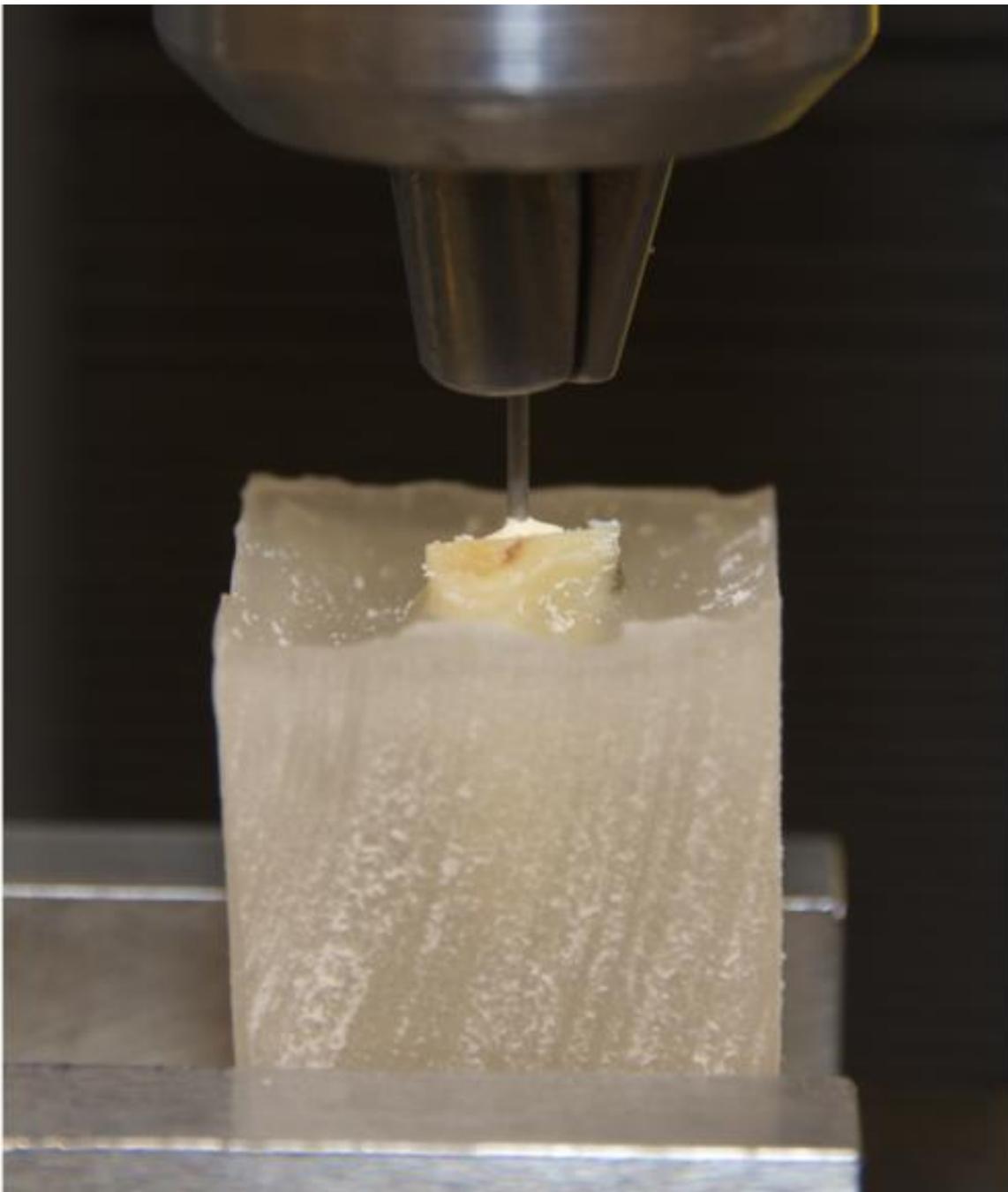
Hierzu wurde der Sealer *AH Plus* (DENTSPLY DETREY GmbH; Abb. 12) mittels Applikationskanülen (Ultradent Products Inc.) in die Kanäle eingebracht und der Spreader im Kanal verankert. Bei der trockenen Kontrollgruppe war hierbei darauf zu achten, dass die Kanäle mit Papierspitzen so gut getrocknet wurden, dass keinerlei Flüssigkeit mehr im Kanal verblieb. Die feuchte Kontrollgruppe wurde nach dem Einbetten eine Nacht 100 %iger Luftfeuchtigkeit und hohen Temperaturen ausgesetzt, um eine komplette Durchnässung des Zahnes zu gewährleisten. Im Falle dieser Kontrollgruppe wurde nur jeweils der Überschuss verbliebenen Wassers im Kanal mittels Papierspitzen entfernt. Die Gruppen A-D wurden gut getrocknet, aber nicht übertrocknet.



**Abb. 12:** Der Sealer *AH Plus* in der Darreichungsform als Paste-Paste-System

### 3.7 Verfahren zur Testung des Widerstandes: Das Pull-out-Verfahren und die statistische Auswertung

Nach einer Aushärtezeit von 2 Wochen konnte nun der eigentliche Versuch gestartet werden. Hierzu wurde eine *Zwick*-Universaltestmaschine (*Zwick/Roell*) verwendet (Abb. 13, Abb. 14 & Abb. 15). Der Haftverbund zwischen Sealer und Wurzelkanaldentin wurde mittels des Pull-out-Verfahrens nach Ebert *et al.* (2011) untersucht [29]. Anhand der Software *SPSS 21* (IBM Corporation) wurden die Daten statistisch analysiert. Die Signifikanz wurde bei  $p \leq 0,05$  festgelegt.



**Abb. 13:** Eine eingespannte Probe vor Durchführung des Zugversuches

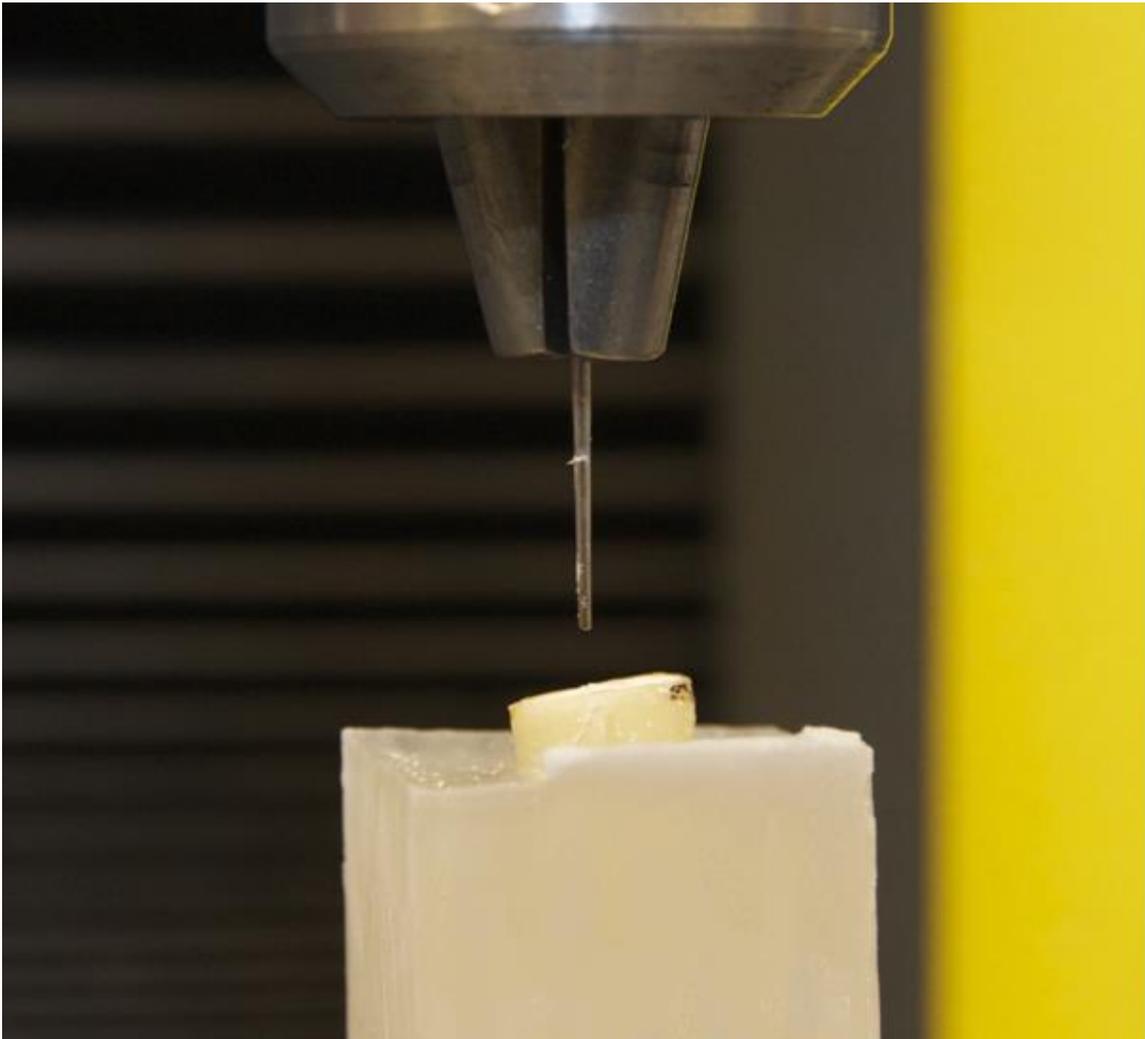


Abb. 14: Probe nach Durchführung des Zugversuches

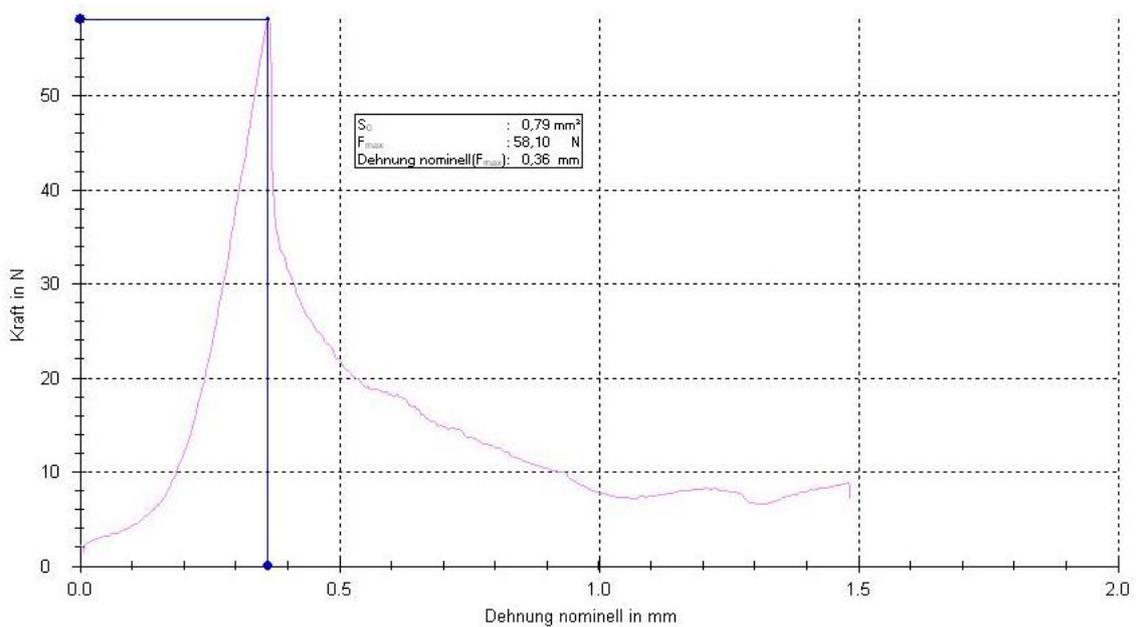


Abb. 15: Die Zwick-Roell testXpert II-Software, mit der die Universaltestmaschine arbeitet

### 3.8 Die Ermittlung der Frakturmodi

Um zu ermitteln, in welcher Ebene der Haftverbund beim Pull-out-Versuch versagt hatte, wurden die Spreader mittels einer digitalen Spiegelreflexkamera und Mikroobjektiv (Canon EOS 500D und Canon MP-E65, Canon Inc.) digital fotografiert und ausgewertet (Abb. 16).



**Abb. 16:** Beispiel eines Spreaders mit der vorherrschenden Frakturmodi-Kombination: Verlust des Haftverbundes innerhalb der Sealerschicht (K) und zwischen Sealer und Spreader (AS)

## 4 Ergebnisse

Grundlage der Versuchsauswertung stellte der Pull-out-Versuch nach Ebert *et al.* (2011) dar [29]. Zum Einsatz kam hierbei die *Zwick-Universaltestmaschine*, diese arbeitet mit der *testXpert II-Software* (Abb. 13, Abb. 14, Abb. 15). Für den Zugversuch jeder Probe erstellt das Programm ein eigenes Spannungs-Dehnung-Diagramm. Für jede Versuchsgruppe ergab dies somit zehn verschiedene Diagramme. Die Ergebnisse aus diesen Diagrammen wurden anschließend analysiert, hierzu wurden nicht-parametrische Testverfahren (Kruskal-Wallis-Test sowie Mann-Whitney-Test) herangezogen. Die Auswertung auf Normalverteilung, eine Voraussetzung für die Zulässigkeit von parametrischen Tests, ergab für die Gruppen D - *Calciumhydroxid Plus Point* ( $p = 0,049^*$ ), E - feuchte Kontrollgruppe ( $p = 0,044^*$ ) und F - trockene Kontrollgruppe ( $p = 0,032^*$ ) keine Normalverteilung der Werte (\* gleich signifikante Unterschiede in der Normalverteilung, weil alle Werte kleiner als 0,05 sind, somit ist eine Berechnung mittels parametrischer Tests (ANOVA gefolgt von t-Tests) nicht zulässig). Also wurde die Statistik mittels der oben genannten nicht-parametrischen Testverfahren durchgeführt. Für die statistische Analyse zog man die Software *SPSS 21* zu Hilfe. Die gewonnenen Daten konnten dann in Balkendiagrammen, so genannten Boxplots, dargestellt werden.

Zusätzlich zur Aussage über die Scherfestigkeit konnte in der vorliegenden Versuchsreihe ebenfalls eine Aussage darüber getroffen werden, um welchen Frakturmodus es sich beim Verlust des Haftverbundes handelte. Hierzu wurden die herausgezogenen Spreader digital fotografiert und nachfolgend hinsichtlich des erfolgten Frakturmodus analysiert. Es wurde zwischen vier verschiedenen Frakturmodi unterschieden (Tab. 3, Abb. 17).

**Tab. 3:** Die Frakturmodi

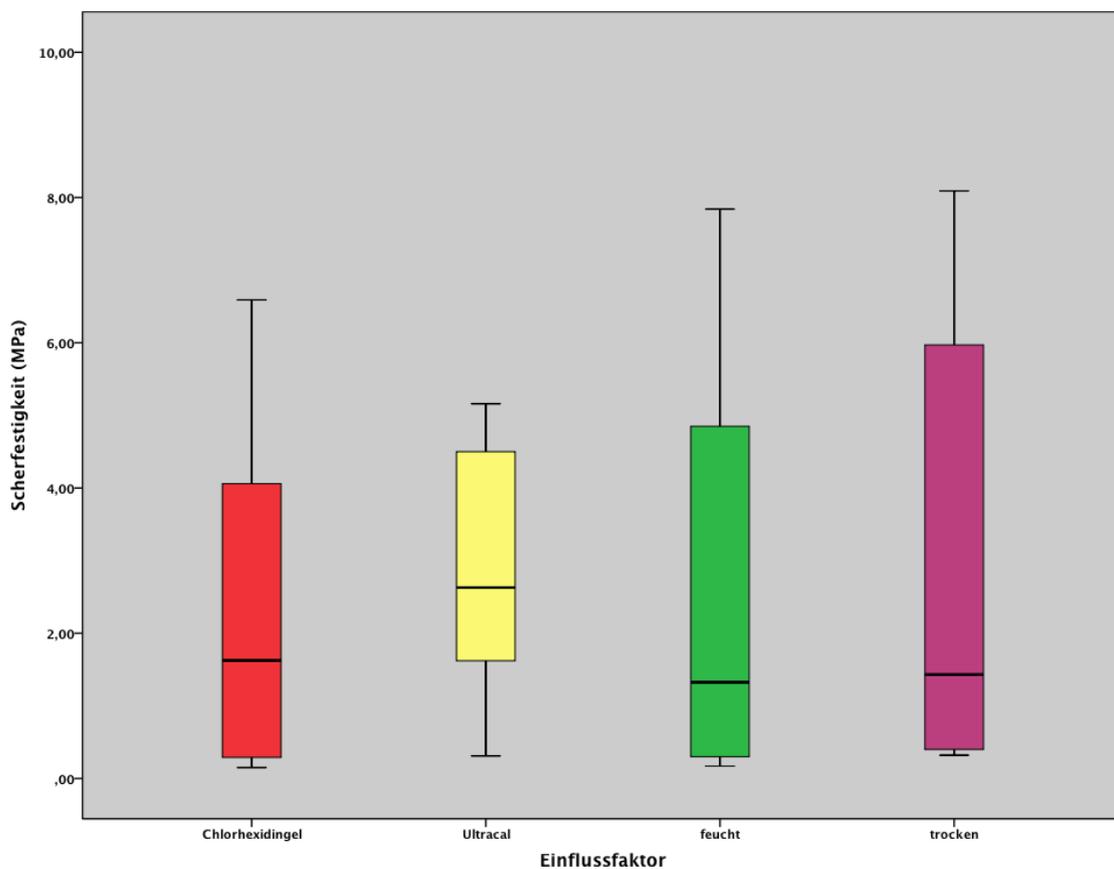
Zeichen	Bezeichnung	Frakturmodus
AD	adhäsiv Dentin	Fraktur zwischen Sealer und Dentin
AS	adhäsiv Spreader	Fraktur zwischen Sealer und Spreader
K	kohäsiv	Fraktur innerhalb der Sealerschicht
M	Mischung der Modi	gemischter Frakturmodus aus mindestens zwei verschiedenen Modi



**Abb. 17:** Spreader mit gemischtem Frakturmodus (M)

#### 4.1 Ergebnisse zu den medikamentösen Einlagen in Pasten- und Gelform

Beim Einsatz von medikamentösen Einlagen in Pasten- und Gelform konnte die Haftkraft des Sealers *AH Plus* zum Wurzelkanalentin nicht eindeutig verbessert werden (Abb. 18, Tab. 4). *Chlorhexamed DIREKT* Gel (1,63 MPa) wies geringere Werte auf als die auf Kalziumhydroxid basierende Paste *UltraCal XS* (2,63 MPa) und liegt somit im Bereich der trockenen Kontrollgruppe (1,43 MPa). *UltraCal XS* konnte geringfügig höhere Haftwerte als die trockene Kontrollreihe erzielen.



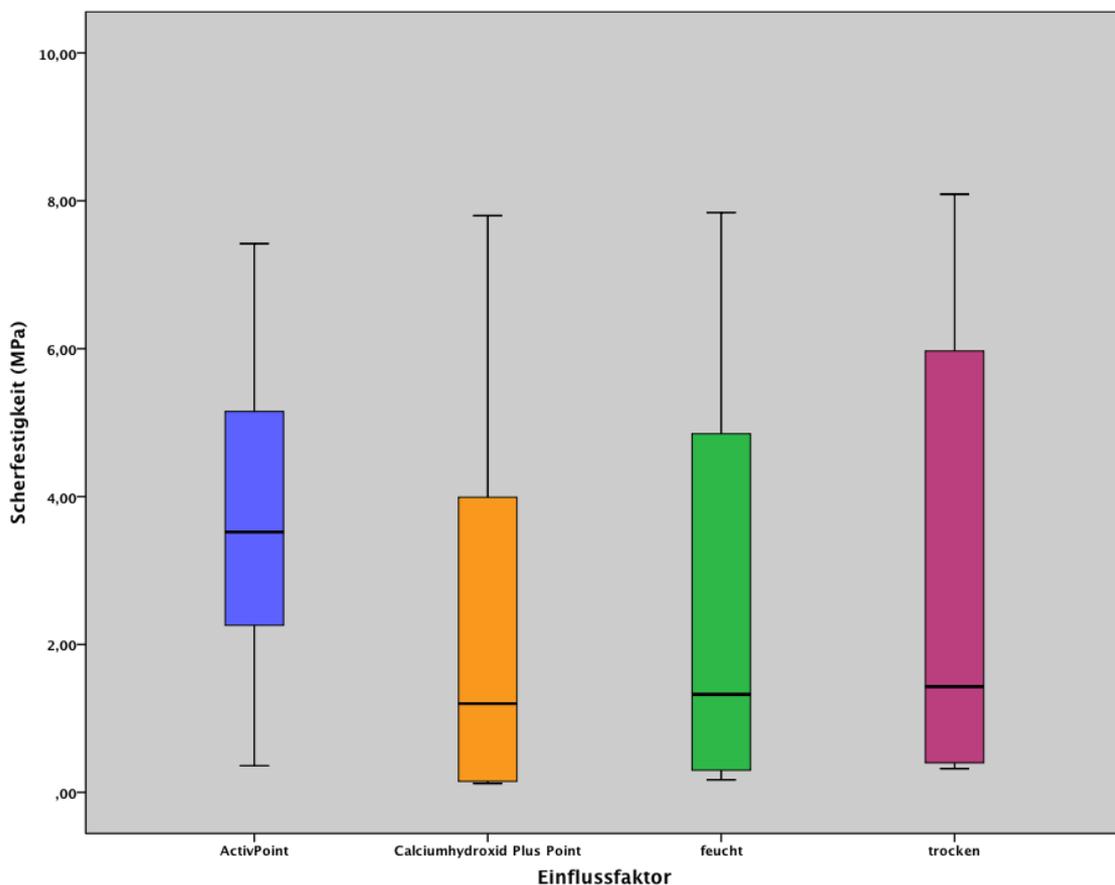
**Abb. 18:** Haftwerte von *AH Plus* zum Wurzelkanalentin unter Verwendung von medikamentösen Einlagen in Pasten-/Gelform und unter trockenen sowie feuchten Bedingungen im Wurzelkanal

**Tab. 4:** Haftwerte für die medikamentösen Einlagen in Pasten-/Gelform und die Kontrollgruppen

medikamentöse Einlage	Gruppenstärke	50% Quartil (Median) [MPa]	Mittelwert [MPa]	Standardabweichung [MPa]
<i>Chlorhexamed DIREKT-Gel</i> <span style="color: red;">■</span>	10	1,63	2,32	2,41
<i>UltraCal XS-Paste</i> <span style="color: yellow;">■</span>	10	2,63	2,81	1,78
Kontrollgruppe feucht <span style="color: green;">■</span>	10	1,32	2,55	2,74
Kontrollgruppe trocken <span style="color: magenta;">■</span>	10	1,43	2,97	3,01

## 4.2 Ergebnisse zu den medikamentösen Einlagen in Stiftform

Unter Verwendung von medikamentösen Einlagen in Stiftform auf Chlorhexidinbasis kam es zu einer eindeutigen Steigerung des Haftverbundes zwischen dem Sealer *AH Plus* und dem Wurzelkanalentin. Denn dieser erreichte die höchsten Werte der gesamten Studie von 3,52 MPa und liegt somit sowohl über den Haftwerten der feuchten Kontrollgruppe als auch über jenen der trockenen Kontrollgruppe (Abb. 19, Tab. 5). Dies erreichte so deutlich sonst keine der medikamentösen Einlagen. *AH Plus* profitiert somit von der vorherigen Einlage mit *Activ Points*. Trotz allem kam es nicht zu einer Steigerung der Haftwerte mit Signifikanzniveau. Der *Calciumhydroxid Plus Point* erreichte die niedrigsten Haftwerte der Studie mit 1,20 MPa.



**Abb. 19:** Haftwerte von *AH Plus* zum Wurzelkanalentin unter Verwendung von medikamentösen Einlagen in Stiftform und unter trockenen sowie feuchten Bedingungen im Wurzelkanal

**Tab. 5:** Haftwerte für die medikamentösen Einlagen in Stiftform und die Kontrollgruppen

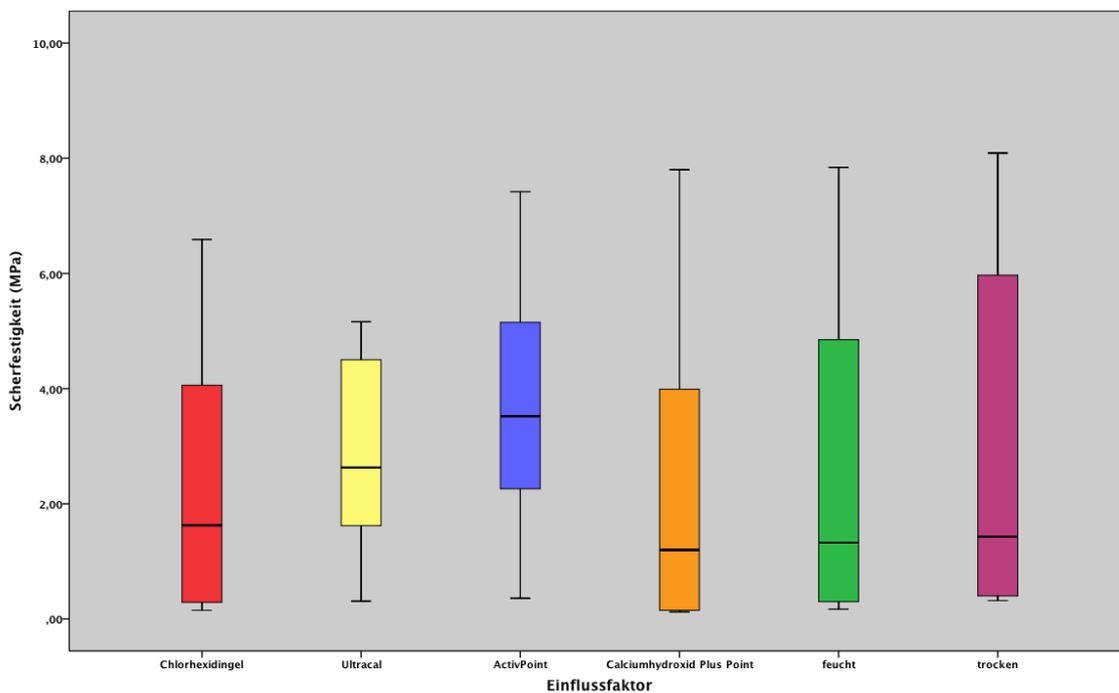
medikamentöse Einlage	Gruppenstärke	50% Quartil (Median)[MPa]	Mittelwert [MPa]	Standardabweichung [MPa]
Activ Point 	10	3,52	3,76	2,298
Calciumhydroxid Plus Point 	10	1,20	2,41	2,73
Kontrollgruppe feucht 	10	1,32	2,55	2,74
Kontrollgruppe trocken 	10	1,43	2,97	3,01

### 4.3 Vergleich der Ergebnisse aller Versuchsgruppen

Die erzielten Ergebnisse der Studie können zusammenfassend Abbildung 20 und Tabelle 7 entnommen werden. *AH Plus* profitierte deutlich von der Einlage mit den auf Chlorhexidindigluconat basierenden *Activ Points*. Kalziumhydroxid kann nur auf Pastenbasis zu leicht erhöhten Haftwerten führen. Die Haftwerte der übrigen Versuchsgruppen weichen unweit von den Ergebnissen der trockenen Kontrollreihe ab. Eine Signifikanz war in keiner Versuchsgruppe zu verzeichnen (Kruskal-Wallis-Test:  $p = 0,482$ , Mann-Whitney-Test siehe Tab. 6).

**Tab. 6:** p-Werte nach Auswertung des Haftverbunds mittels Mann-Whitney-Test

Gruppe	vs. Gruppe	p-Wert
1	2	0,326
1	3	0,082
1	4	0,571
1	5	0,880
1	6	0,520
2	3	0,364
2	4	0,406
2	5	0,496
2	6	0,970
3	4	0,151
3	5	0,199
3	6	0,406
4	5	0,496
4	6	0,290
5	6	0,345



**Abb. 20:** Aufführung der Haftwerte aller verwendeten medikamentösen Einlagen und der Kontrollgruppen unter Angabe der Scherfestigkeit in MPa

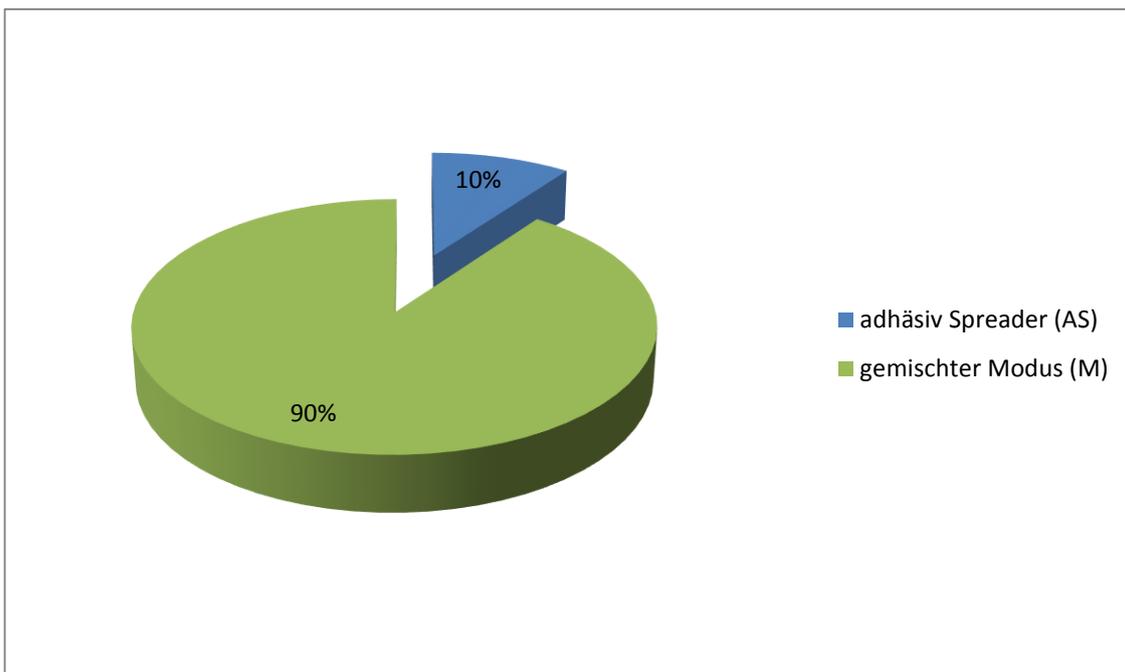
**Tab. 7:** Übersicht der ermittelten Werte nach dem Einsatz verschiedener medikamentöser Einlagen

medikamentöse Einlage	MW <sup>1</sup> (MPa)	SD <sup>2</sup> (MPa)	Min. (MPa)	Max. (MPa)	50% Quartil (Median) [MPa]	IQA <sup>3</sup> (MPa)	FM <sup>4</sup> (%)
Chlorhexamed DIREKT-Gel	2,32	2,41	0,15	6,59	1,63	4,27	30 % AS 70 % M
UltraCal XS-Paste	2,81	1,78	0,31	5,16	2,63	3,35	10 % AS 90 % M
Activ Point	3,76	2,298	0,36	7,42	3,52	3,50	100 % M
Calciumhydroxid Plus Point	2,41	2,73	0,12	7,80	1,20	4,20	100 % M
Kontrollgruppe feucht	2,55	2,74	0,17	7,84	1,32	4,65	100 % M
Kontrollgruppe trocken	2,97	3,01	0,32	8,09	1,43	5,60	20 % AS 80 % M

<sup>1</sup>Mittelwert, <sup>2</sup>standard deviation, <sup>3</sup>Interquartilsabstand, <sup>4</sup>Frakturmodus

#### 4.4 Frakturmodus

Nach Analyse der Frakturmodi stellten sich diese wie in Abbildung 21 dar. Der vorherrschende Frakturmodus der Studie ist ein Bruch zwischen Sealer und Spreader (AS), denn auch bei gemischten Modi (M), also sowohl kohäsivem als auch adhäsivem Verlust der Haftung, ist dies mehrheitlich ein adhäsives Versagen des Haftverbundes zum Spreader (AS). Auffällig ist, dass beim Vergleich zwischen medikamentösen Einlagen in Pasten-/Gel- und Stiftform festzustellen ist, dass im Falle der verwendeten Stifte ausschließlich Mischfrakturen auftraten, wohingegen beim Einsatz von Paste und Gel auch alleinige adhäsive Frakturmodi zwischen Sealer und Spreader (AS) zu verzeichnen waren. Bei genauerem Betrachten der Mischfrakturen stellte sich außerdem heraus, dass bis auf einige wenige Ausnahmen alle Proben eine Kombination aus kohäsivem (K) und einem adhäsiven Frakturmodus darstellten, bei welchem der Verlust des Haftverbundes am Spreader (AS) zu finden war. Somit stellt Abbildung 16 den häufigsten Modus der Versuchsreihe dar.



**Abb. 21:** Gesamtverteilung der Frakturmodi

## 5 Diskussion

Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung hängt von vielerlei Faktoren ab. Da sich diese in verschiedene Schritte unterteilt und sich in den meisten Fällen über mindestens zwei Behandlungstermine erstreckt, gibt es einige Punkte, an denen es zum Misserfolg kommen kann. Eine Wurzelkanalaufbereitung gliedert sich in die mechanische Wurzelkanalaufbereitung, die Spülung des Systems, die medikamentöse Einlage, die Wurzelkanalfüllung und den suffizienten koronalen Verschluss. Um eine optimale Voraussetzung für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung zu garantieren, muss jeder dieser Schritte gewissenhaft durchgeführt worden sein, um die möglichst vollständige Elimination von Mikroorganismen und Dentinspänen zu gewährleisten.

Vorerst ist es von großer Bedeutung sich ein übersichtliches Arbeitsfeld zu schaffen. Sollte der Fall eintreten, dass sich eine Wurzelkanalbehandlung an eine Kariesexkavation anschließt, muss vor Eröffnung der Pulpa das Arbeitsfeld völlig frei von Karies sein, um eine Verschleppung von Bakterien in das Wurzelkanalsystem zu vermeiden.

Bei den aufgeführten Schritten einer Wurzelkanalbehandlung stehen die unterschiedlichsten Ausführungsmöglichkeiten zur Auswahl. Sei es die Entscheidung für eine maschinelle oder manuelle Aufbereitung des Wurzelkanalsystems oder die Kombination verschiedener Spülflüssigkeiten. Auch gibt es ein breites Spektrum an medikamentösen Einlagen, deren Hersteller für jede Einzelne als den Goldstandard werben, was die Entscheidung für und wider eine medikamentöse Einlage nicht gerade erleichtert. Doch neben der Fragestellung der Wirksamkeit gegenüber Mikroorganismen muss auch die Frage gestellt werden, ob und in welchem Maße sich die medikamentösen Einlagen auf die Haftkraft des verwendeten Sealers auswirken?

## 5.1 Diskussion der Methodik

### 5.1.1 Die maschinelle Aufbereitung

Die Aufbereitung des Wurzelkanalsystems ist ein grundlegender Schritt im Rahmen der Wurzelkanalbehandlung. Sie ist die Voraussetzung für eine suffiziente Wurzelkanalfüllung und letztlich auch für den Erfolg einer solchen, denn sie steht im direkten Zusammenhang zu einer vollständigen Desinfektion der Kanäle [114].

Um die Vergleichbarkeit zur klinischen Situation zu wahren und direkte Schlüsse ziehen zu können, wurden in der vorliegenden Studie als Proben extrahierte humane Zähne gewählt. Diese wurden derart ausgewählt, indes sie runde, standardisierte Kanäle aufwiesen. Aufgrund dessen und mit dem Ziel, glatte Kanaloberflächen mit möglichst gleichmäßig gut desinfizierten Kanalwänden zu erhalten, wurden die Proben anschließend mittels des *BioRaCe*-Systems maschinell aufbereitet.

Gegenstand vieler wissenschaftlicher Untersuchungen stellen unter anderem drei wichtige Punkte dar: die Kanalverlagerung durch die Wurzelkanalaufbereitung, die Qualität der Desinfektion und die Menge des überstopften Detritus über den Apex hinaus. Die Kanalverlagerung umfasst die Abweichung des anatomisch korrekten Verlaufs des Kanals durch Zip-Elbow-Effekte oder die Ausdünnung der Kanalwände durch Rückstellkräfte der Aufbereitungsinstrumente. Diese Aufbereitungsfehler sind durch die höhere Flexibilität und das Design der schneidenden Anteile der bei der maschinellen Aufbereitung verwendeten Nickeltitan-Instrumente (NiTi-Instrumente) besser zu umgehen [98], denn diese haben durch eine bessere Zentrierung eine geringere Tendenz zur Kanalverlagerung [22]. Die bessere Desinfektion des Wurzelkanalsystems durch ausreichend weite Aufbereitung dessen und der Abtransport des Detritus nach koronal stehen in direktem Zusammenhang mit postoperativen Schmerzen [102]. Handinstrumente zum Beispiel wirken wie Stempel, die Dentindetritus und Spülflüssigkeiten buchstäblich über den Apex hinaus pressen [21]. Ein Grund hierfür könnte die Aufbereitungstechnik selbst sein, denn durch die bei Handinstrumenten angewendete Step-back-Technik kommt es zu deutlich mehr Überstopfung, als es bei der Crown-down-Technik der maschinell unterstützten Systeme der Fall ist. Der koronale Abtransport konnte durch die Gestaltung der Feile rotierender Systeme verbessert und die Detritusmenge im apikalen Bereich reduziert werden [86]. So weisen die *BioRaCe*-Feilen eine nicht schneidende Spitze und alternierende Schneidkanten im Dreiecksquerschnitt auf, die den sicheren Abtransport des Detritus nach koronal erlauben. Folglich kann der Schluss gezogen werden, dass der Einsatz

rotierender Instrumente das Problem der postoperativen symptomatischen apikalen Periodontitis verringert.

Kritisch zu beurteilen ist jedoch der Aspekt, dass es bei maschineller Aufbereitung vermehrt zu einer Überinstrumentierung und somit zur Überfüllung der Kanäle kommt. Überstopftes Füllungsmaterial kann zu einer chronischen Entzündung und Zystenentstehung führen, was den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung in Frage stellt [34]. Aufgrund dieser Tatsache ist ein vorsichtiges Vorsondieren mit dünnen Handinstrumenten wichtig. Dies ist beim verwendeten System *BioRaCe* vom Hersteller zu Beginn und nach der koronalen Aufbereitung mit der Feile BR0 vorgesehen, um die Arbeitslänge sicher zu rekapitulieren.

Schlussendlich profitieren Behandler und Patient von der Aufbereitung mittels des maschinellen Aufbereitungssystems *BioRaCe*, denn vor allem in Fällen infizierter Geschehen sind die Erfolgsraten durch maschinell aufbereitete Wurzelkanalsysteme deutlich höher als im Vergleich zu manuellen Aufbereitungstechniken [23].

### 5.1.2 Die medikamentösen Einlagen

Die von der DGZMK und DGZ empfohlenen Wirkstoffe Chlorhexidindigluconat und Kalziumhydroxid [104] fanden Anwendung durch ihre vielfach belegten Effektivitäten [19, 72, 88]. Als eine der effektivsten Substanzen, die als medikamentöse Einlage angewandt wird [101], ist Kalziumhydroxid in der Lage, Gewebe aufzulösen [44]. Des Weiteren gibt ihm sein hoher pH-Wert die Fähigkeit, antibakteriell zu wirken und die Bildung von Hartschubstoffen zu induzieren [115]. Eine weitere wirkungsvolle Substanz stellt Chlorhexidin dar, welches neben seiner überzeugend guten antimikrobiellen Wirksamkeit die Schlüsseleigenschaft der Substantivität besitzt, somit eine ausreichend lange Wirkung aufweist und nicht nur eine kontinuierliche Freisetzung gewährleistet, sondern neben der Abtötung vorhandener Bakterien auch die Akkumulation neuer Mikroorganismen verhindert [72].

Weit verbreitet und nach wie vor verwendet werden jedoch auch andere medikamentöse Einlagen, wie zum Beispiel Präparate auf Kortikosteroidbasis und solche, die Chlorphenol-Kampfer enthalten. Ein bekannter Vertreter, der neben einem Glukokortikoid auch ein Tetrazyklin enthält, ist *Ledermix*. Durch das enthaltene Glukokortikoid kommt es bei der Anwendung von *Ledermix* rasch zu einer Schmerzlinderung durch die entzündungshemmende Wirkung dessen. Trotz des enthaltenen Antibiotikums ist die antibakterielle Wirkung des Präparates nach wie vor umstritten, auch ist dessen Wirkung auf den Periapex und die Ausheilung dessen nicht eindeutig. Ein bekannter Vertreter, der Chlorphenol, Kampfer und

Menthol beinhaltet, ist das *ChKM* nach Prof. Walkhoff. Das umstrittene Medikament wird schon lange in der Endodontie verwendet, jedoch gelten sowohl Kampfer als auch Chlorphenol als zytotoxisch [88]. Zwar ist *ChKM* gleichermaßen effektiv wie CHX in der Bekämpfung des *Enterococcus faecalis*, jedoch sollte CHX aufgrund der besseren Biokompatibilität der Vorrang gewährt werden [24]. Auch Rödiger und Hülsmann lehnen die Verwendung des *ChKM* ab, da eine kritische Einschätzung seiner Biokompatibilität auf das periapikale Gewebe erfolgen sollte, denn *ChKM* weist ein in derart gutes Diffusionsvermögen auf, indes es in tiefe Dentinschichten und über den Apex hinaus diffundieren kann [88].

Da belegt werden konnte, dass Medikamente auf Pastenbasis nicht vollständig aus dem Wurzelkanalsystem entfernt werden können [89], war es interessant zu untersuchen, ob die Einlage in Stiftform geeigneter bezüglich der Haftkraft für eine erfolgreiche Wurzelkanalfüllung sei oder nicht, da dieser Aspekt noch nicht hinreichend betrachtet wurde. In dieser Beschaffenheit verwendete Einlagen bergen zwar als solches einen großen Vorteil, indes sie sehr viel einfacher zu applizieren sind, jedoch birgt deren Entfernung einige Schwierigkeiten. Denn es wird vom Hersteller empfohlen, die Stiftgröße in derart kleiner zu wählen, als dass sie die Möglichkeit haben durch nachfließende Flüssigkeit aus den Dentinkanälchen und dem Apex zu quellen und durch die Aufnahme der Flüssigkeit ihre Wirkstoffe abzugeben. Jedoch stellt sich dann bei der erneuten Eröffnung des Wurzelkanalsystems ein Stift dar, der zwar leicht zu applizieren, jedoch um einiges schwerer zu entfernen ist, da durch Aufquellen dessen eine regelrechte Adaptation an das Wurzelkanalentin erreicht wurde. Was insofern wünschenswert wäre, da bei einer Anlagerung an die Kanalwände eine Penetration der Wirkstoffe in die Dentintubuli erleichtert wird, denn bei stiftförmigen Einlagen ist Flüssigkeit im Kanal notwendig, um deren Bestandteile zu lösen, wohingegen bei Einlagen in Pasten- oder Gelform ein Anfließen an die Kanalwand und Penetrieren in die Dentinkanälchen durch deren Beschaffenheit bereits gegeben ist. Fehlt nun die benötigte Flüssigkeit, ist die Wirksamkeit der Stifte einlage herabgesetzt. Um eine ausreichende Wirksamkeit jedoch weiterhin zu gewährleisten, eine allzu schwierige und unzureichende Entfernung der Stifte jedoch zu umgehen, wählten wir nicht, wie vom Hersteller empfohlen, eine der Apical Master File kleinere ISO-Größe, sondern insgesamt zwei ISO-Größen kleiner.

Eine Effizienzstudie von Rödiger & Hülsmann (2005), in der die Wirksamkeit und die Biokompatibilität verschiedener medikamentöser Einlagen untersucht wurden, stellt die Effizienz medikamentöser Einlagen in Stiftform kritisch dar. Im Falle des Kalziumhydroxids soll die Anzahl der abgegebenen Hydroxylionen nicht ausreichen, die Pufferkapazität des

Wurzelkanal Dentins zu überwinden und somit nicht effektiv genug zu wirken. Auch sehen die Autoren CHX als Gel effektiver an, als in Stiftform [88].

Um zusätzlich noch die vom Hersteller angegebene Empfehlung zu untermauern oder zu widerlegen, schlossen wir als Kontrollgruppen neben einer trockenen ohne medikamentöse Einlage auch eine feuchte Kontrollgruppe mit ein. Die vorliegende Untersuchung konnte zeigen, dass der Empfehlung des Herstellers, die Kanäle vor einer Einlage mit CHX oder  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  zu trocknen, nachzukommen ist, da die Haftwerte der Kontrollgruppe nach ausschließlicher Entfernung der Feuchtigkeitsüberschüsse geringer war ( $E = 1,32 \text{ MPa}$ ) als jene Werte der Kontrollgruppe mit getrockneten Kanälen ( $F = 1,43 \text{ MPa}$ ).

### 5.1.3 Die Spülung des Wurzelkanalsystems

Die Spülung des Wurzelkanalsystems zählt zu den entscheidenden Schritten einer endodontischen Therapie. Wichtig ist, die Kanäle ausgiebig zu reinigen, um Detritus und Medikamentenreste vollständig zu entfernen und so eine optimale Adaptation der Wurzelkanalfüllung an die Wände der Wurzelkanäle zu gewährleisten. Der Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung hängt somit vor allem auch davon ab, inwieweit diese Verunreinigungen aus dem Wurzelkanalsystem entfernt werden können [74].

Die Schmierschicht spielt aufgrund ihres Einflusses auf die Adaptation der Wurzelkanalfüllung zum Wurzelkanal Dentin eine entscheidende Rolle in der endodontischen Therapie [61], da sich deren Anwesenheit nachweislich auf die Haftkraft von Sealern auswirkt [40]. Da die durch Instrumentierung der Wurzelkanäle entstehende Schmierschicht sowohl aus organischen als auch anorganischen Bestandteilen zusammengesetzt ist [112], wurde die alternierende Anwendung von EDTA und Natriumhypochlorit gewählt, da es eine in der Fachliteratur anerkannte Kombination aus Spüllösungen ist [2, 16, 111, 112], von der man eine optimale Entfernung der an- und organischen Elemente und des Smear layers nachweisen konnte [117]. Somit ist sie eine Voraussetzung für eine hervorragende Desinfektion des Wurzelkanalsystems, eine nachfolgend ausreichend tiefe Infiltration des Sealers in die Dentintubuli und somit die Basis für den Erfolg einer Wurzelkanalbehandlung [110]. Vilanova *et al.* (2012) konnten aufgrund ihrer Untersuchung über den Effekt intrakanalärer Spülflüssigkeiten auf den Haftverbund methacrylat- und epoxidharz-basierter Sealer nachweisen, dass der alternierende Einsatz beider Spülflüssigkeiten die Haftkraft von *AH Plus* verbessern konnte, im Vergleich zum alleinigen Einsatz von Natriumhypochlorit zum Beispiel [111]. Beide Spülflüssigkeiten ergänzen sich perfekt. Während EDTA die anorganischen Anteile der Schmierschicht entfernt [57], löst

Natriumhypochlorit Bestandteile organischen Ursprungs [56]. Gemeinsam optimieren sie sowohl den antibakteriellen [15] als auch den reinigenden Effekt [118].

Natriumhypochlorit desinfiziert den Wurzelkanal und entfernt organisches Material [56], schafft es jedoch nicht, den durch mechanische Aufbereitung entstandenen Smear layer vollständig zu entfernen [111]. Aufgrund dieser Tatsache wird es mit dem Chelator EDTA kombiniert, der den Smear layer und dessen Smear plugs entfernt und den Weg für eine einwandfreie Sealerpenetration schafft [57]. Natriumhypochlorit verbessert jedoch die Dentinpermeabilität durch Auflösung organischer Bestandteile [69] und sollte somit vor einer Spülung mit EDTA angewendet werden, um eine möglichst vollständige Entfernung des Smear layers zu gewährleisten. Um also eine bestmögliche Entfernung der Schmierschicht zu gewährleisten wurde in der vorliegenden Studie ein starker Chelator wie das EDTA verwendet [76].

Die abschließende Spülung mit destilliertem Wasser wurde, wie bereits erläutert, aufgrund des Einsatzes vor allem von Chlorhexidin angewandt, um eine Ausfällung des toxischen para-Chloranilin zu verhindern [41]. Auch im Falle der Einlage von Kalziumhydroxid ist eine reinigende Spülung mit destilliertem Wasser sinnvoll, um einer möglichen Reaktion beider Pharmazeutika miteinander entgegenzuwirken.

Die Aktivierung der Spülflüssigkeiten wurde eingesetzt, da nachgewiesen werden konnte, dass durch eine schallaktivierte Spülung des Wurzelkanalsystems die Qualität der Reinigung signifikant gesteigert werden kann [47], vor allem in Hinsicht auf das apikale Drittel [2]. Rödiger & Hülsmann (2005) sehen den Einsatz von Ultraschall vor allem in Bezug auf die Anwendung von pastenförmigen Kalziumhydroxideinlagen als sinnvoll an, da sie dessen vollständige Entfernung durch alleinige chemische Reinigung des Wurzelkanalsystems als kritisch einstufen [88]. Der *EndoActivator* kann durch seine Schallaktivierung die Desinfektionswirkung von Spülflüssigkeiten verbessern [47, 71], indem er eine ausgezeichnete Reinigung des apikalen Drittels bewirkt [18]. Voraussetzung für die optimale Reinigung mittels aktivierter Instrumente ist jedoch, dass die Spitzen frei im System schwingen können, da sie bei Kontakt mit der Kanalwand eine erneute Schmierschicht induzieren würden [18]. Durch die Ausbildung einer hydrodynamischen Strömung entstehen Scherkräfte, die in der Lage sind, Detritus und Medikamentenreste effektiv zu entfernen [47]. Es konnte in einer Studie bezüglich der Auswirkung verschiedener Kalziumhydroxideinlagen auf den Haftverbund zwischen dem Wurzelkanaldentin und *AH Plus* oder *AH 26* jedoch eindrücklich gezeigt werden, dass die schallaktivierte Reinigung für *AH Plus* ausreichend ist, denn es kam in jedem Falle zu einer, wenn auch nicht signifikanten Steigerung der Haftwerte gegenüber der Kontrollgruppe ohne

medikamentöse Einlage [7]. Somit konnte erneut die Effektivität des angewendeten Spülprotokolls untermauert werden und es ist folglich davon auszugehen, dass die beste Reinigung auf derzeitiger wissenschaftlicher Grundlage erzielt werden konnte. Des Weiteren ist zwar eine Beeinflussung durch das Spülprotokoll möglich, jedoch wurden alle Proben einem identischen Spülprotokoll unterzogen, womit eine Vergleichbarkeit hergestellt werden konnte.

Die Dauer von einer Minute pro jeweiligen Spülschritt ist ein Resultat vorangegangener Untersuchungen, die einerseits auf die selbstlimitierende Eigenschaft des EDTA und andererseits auf dessen erosive Eigenschaft hinweisen. Sie ergaben, dass durch eine Spülung von mehr als einer Minute eine ungewollt hohe Erosion des interradikulären Dentins verursacht wird [16] und nicht mehr gewährleistet sein kann, dass das Sättigungsgleichgewicht nicht schon erreicht und somit eine effektive Entfernung der Schmierschicht nicht mehr gegeben ist [47]. Die einminütige Anwendung ist jedoch ausreichend, und so kann ein Optimum an Reinigung ohne weitere Schädigung des Dentins erzielt werden [16].

Wichtig ist außerdem die Kombination des Chelators EDTA mit einer alkalischen Pufferlösung, in unserem Falle Natriumhypochlorit. Denn bei der Tetraanionbildung kommt es zur Abgabe zweier Protonen, worauf ein Absinken des pH-Wertes erfolgt, dieser verhindert jedoch die weitere Bildung von Komplexen [122].

Zwar wird die Entfernung der Schmierschicht kontrovers diskutiert, denn es wurde auch postuliert, dass es nicht nur von Vorteil sei, den Smear layer zu entfernen. Er fungiere als schützende Barriere [81], und es wirke sich sogar nachteilig auf die Dichtigkeit aus, sobald man ihn entferne [106]. Für den Sealer *AH Plus* konnte aber eindeutig gezeigt werden, dass seine ansonsten schon hohen Haftwerte durch eine tiefere Penetration in die Dentintubuli nach Entfernung der Schmierschicht gesteigert werden konnten [31]. Zudem konnten Untersuchungen zeigen, dass die Schmierschicht nicht nur einen dünnen, löchrigen Teppich darstellt [27], der nicht vor Bakterieninvasion schützen kann, sondern sogar als Ausgangspunkt neuer Proliferationen fungiert [108] und im Laufe der Zeit zerfallen wird [112], sodass es zu Undichtigkeiten der Wurzelkanalfüllung kommen und somit den Erfolg einer endodontischen Therapie gefährden kann [110]. So gilt es weiterhin als Empfehlung, den Smear layer zu entfernen.

Zum Zeitpunkt der durchgeführten Untersuchung stellte die schallaktivierte Reinigung von Wurzelkanälen die effektivste Methode dar, ein solches System gründlich zu desinfizieren und Medikamentenreste zu entfernen [11]. Arslan *et al.* (2014) stellten jedoch in ihrer aktuellen Untersuchung bezüglich der Effektivität unterschiedlicher Reinigungsmöglichkeiten eine neue Methode vor, die in der Lage ist, antibiotische Pasten effektiver aus Wurzelkanalsystemen zu

entfernen, als es der gegenwärtig angewandten schallaktivierten Reinigung möglich ist [5]. Weitere Untersuchungen sind jedoch für die vorliegend angewandten medikamentösen Einlagen notwendig, da Berkhoff *et al.* (2014) im direkten Vergleich der Entfernbareit von  $\text{Ca(OH)}_2$  und derselben dreifach antibiotischen Paste, wie sie Arslan *et al.* (2014) verwendeten, zeigen konnten, dass erstere Einlage in jedem Falle besser zu entfernen war [11]. Insofern ist zu prüfen, ob das angewandte Verfahren von Berkhoff und Arslan, bei dem es sich um eine durch Photonen induzierte fotoakustische Strömung handelt, für eine in derart schon besser zu entfernende Einlage wie Kalziumhydroxid von Nöten ist und ob dies ebenfalls für Chlorhexidin gilt.

### 5.1.4 Die Würzelkanalfüllpaste

Ein optimaler Sealer sollte einige positive Eigenschaften mit sich bringen: ein geeignetes Fließverhalten, ein hohes Abdichtungsvermögen, eine gute Klebefestigkeit, eine hohe Biokompatibilität, eine gute Verarbeitbarkeit und eine geeignete Röntgenopazität.

Ein solcher Sealer, der allen Anforderungen in extenso entspricht, existiert jedoch nicht. Es gibt ein breites Spektrum an Sealern auf dem Markt, bei welchen jeder einzelne als optimal deklariert wird. *AH Plus* gilt unter Fachleuten als Goldstandard in der Endodontie, er wird von der DGZMK und DGZ empfohlen [105] und ist ein bewährtes Produkt, das auch den neuesten Entwicklungen in nichts nachsteht. Untermuert wird dies durch die große Anzahl von durchgeführten Studien, die *AH Plus* als Referenzsealer verwenden. So reiht sich *AH Plus* stets an der Spitze bei der Ermittlung von Haftwerten ein. Carvalho *et al.* (2013) erzielten durch ein Micro-Pushout-Verfahren Haftwerte von bis zu 19,7 MPa, wohingegen im selbigen Versuch für *Epiphany* lediglich Werte von 1,5 MPa erreicht werden konnten [19]. Ebenfalls eindrucksvoll konnten Amin *et al.* (2012) in ihrem Ausstoßversuch Spitzenwerte für *AH Plus* (4,26 MPa), *MTA Fillapex* (1,21 MPa) und *iRoot SP* (0,86 MPa) vergleichend gegenüber stellen [1]. Weniger eindrucksvoll, dennoch mit führenden Ausstoßwerten, ermittelten Shokouhinejad *et al.* (2013) für *AH Plus* 1,70 MPa. Für den *EndoSequence BC* Sealer wurden jedoch nur 1,57 MPa erreicht [97].

Ein gutes Fließverhalten ist Voraussetzung für eine homogene Wurzelkanalfüllung. Weist ein Sealer ein gutes Fließverhalten auf, kann dieser nicht nur in die Dentintubuli oder akzessorische Kanäle eindringen, sondern auch Irregularitäten auffüllen [12], wie sie zum Beispiel zwischen dem Masterpoint und den zusätzlich verwendeten Guttaperchaspitzen

auftreten. Der Vergleich des Fließverhaltens dreier Sealer machte deutlich, dass *AH Plus* diese Voraussetzungen erfüllt und durch ein gutes Fließverhalten die Dichtigkeit verbessert [12].

Es gibt vielerlei Möglichkeiten, die Dichtigkeit von Sealern nachzuweisen. Gängige Methoden sind der Flüssigkeitsfiltrations-Test, der Glukose-Test und Messungen zu Farbeindringtiefen. *AH Plus* zeigt in solch durchgeführten Testserien sehr gute Ergebnisse [32, 48, 58] und wird auch von der DGZMK und DGZ als eine Wurzelkanalfüllpaste mit einem guten Abdichtungsvermögen deklariert [105]. Kein sich auf dem Markt befindlicher Sealer erzielt jedoch eine hundertprozentige Dichtigkeit, sondern lässt in unterschiedlichem Maße ein Leakage, also ein Eindringen von Flüssigkeiten und Bakterien durch Mikrospalten, zu [85]. *AH Plus* weist jedoch ein signifikant geringeres Maß an Undichtigkeiten auf und trägt somit zum Erfolg endodontischer Behandlungen bei [48].

Eine gute Klebefestigkeit ist die Voraussetzung für den Erfolg von Wurzelkanalfüllungen. Nicht nur in statischen, sondern auch in dynamischen Situationen muss der Haftverbund des Sealers Kräften widerstehen, um einer Dislokation entgegenzuwirken. Die vorliegende Untersuchung konnte zeigen, dass der Haftverbund von *AH Plus* zum Wurzelkanalentin stark und zuverlässig ist, denn bei der mikroskopischen Untersuchung der Frakturmodi konnte als vorherrschender Modus ein adhäsiver Verlust des Haftverbundes zwischen Sealer und Spreader gezeigt werden. Dies stimmt mit den Ergebnissen von Gesi *et al.* (2005) überein, die in ihrer vergleichenden Untersuchung über Grenzflächenkräfte zwischen *Resilon/AH Plus* und Guttapercha einen Verlust des Haftverbundes hauptsächlich zwischen *AH Plus* und Guttapercha feststellen konnten [36]. Auch Fang *et al.* (2012) arbeiteten eine bessere Haftkraft des *AH Plus* im Vergleich zu zwei Sealern auf Methacrylat-Basis in ihrem Ausstoßversuch heraus (Guttapercha/*AH Plus* 2,45 MPa; LSRCs/*Resilon* 1,94 MPa; *Resilon/Epiphany* 0,78 MPa) [32].

Auch die Biokompatibilität ist ein entscheidender Faktor bei der Auswahl von Sealern, um eine apikale Ausheilung zu erreichen. Es existieren wissenschaftliche Untersuchungen, in welchen dargestellt wird, dass die aktuell verwendeten Sealer in unterschiedlichem Maße zytotoxisch sind [93, 116], eine mehr oder minder stark ausgeprägte Immunantwort hervorrufen und keine idealen Charakteristika bezüglich einer guten Gewebeverträglichkeit aufweisen können [92]. Jedoch ist eine Reaktion des Körpers auf Fremdmaterial nie vollends zu vermeiden und in den überwiegenden Fällen auch sinnvoll und wünschenswert. *AH Plus* als langjährig angewendeter Sealer unterscheidet sich von seinem Vorgänger *AH 26* in einem entscheidenden Punkt. Bei Vermengen der beiden Phasen wird kein Formaldehyd freigesetzt [41], dies führt zu einer besseren Biokompatibilität. Aufgrund dieser entscheidenden Weiterentwicklung des Sealers auf Epoxidharzbasis zeigt *AH Plus* in Untersuchungen an Mäusen bezüglich der

Biokompatibilität sehr gute Ergebnisse [73]. Desweiteren stellte sich in einer Analyse zu Gewebereaktionen bei Verwendung unterschiedlich beschaffener Sealer heraus, dass alle drei der untersuchten Sealer eine Entzündungsreaktion hervorriefen, jedoch nur bei *AH Plus* bildete sich diese auch auf Dauer wieder zurück [92]. Zwar existieren auch Studien, aus welchen hervor geht, dass einige Sealer gewebeverträglicher zu sein scheinen als *AH Plus*, jedoch sind die ermittelten Werte nicht signifikant [93, 99]. Bereits beim Vorgänger *AH 26*, welcher ebenfalls auf Epoxidharz basiert, zeigte sich, dass die dem Material benachbarten Zellen an den Sealer heranwachsen und im Sinne einer Ausbildung einer Kontaktosteogenese die Gewebereaktion rückläufig ist [10]. Auch bezüglich der Biokompatibilität wird *AH Plus* von der DGZMK und DGZ empfohlen. Denn dieser als bioinert eingestufte Sealer verursacht bei adäquater Anwendung sehr selten Irritationen des periapikalen Gewebes. Kommt es nun doch zu einem Kontakt des periapikalen Gewebes mit *AH Plus*, wird dieser entweder bindegewebig abgekapselt oder auch zum Teil resorbiert [105].

Wichtig für den Behandler ist im klinischen Alltag eine Wurzelkanalfüllpaste, die neben den genannten Eigenschaften ebenso gut zu verarbeiten ist. *AH Plus* wird als Paste-Paste-System angeboten, welches in einem Verhältnis 1:1 einfach zu vermengen ist. Noch schneller und einfacher ist das Doppelkammer-System *AH Plus Jet* bei dem eine Mischkanüle automatisch die Pasten im richtigen Verhältnis mischt.

*AH Plus* erfüllt außerdem die vom *American National Standards Institute/American Dental Association (ANSI/ADA)* vorgesehenen Voraussetzungen für die Röntgenopazität. Die Röntgenopazität von *AH Plus* liegt weit über dem von der *ANSI/ADA* geforderten Wert von 3 mm Al [94].

### 5.1.5 Verfahren zur Testung der Scherfestigkeit von Sealern

Zur Testung der Haftkraft von Sealern haben sich vier Testverfahren bewährt, die je nach Fragestellung eingesetzt werden können. Jede Versuchsart weist spezifische Vor- und Nachteile auf. Nach Frankenberger (2001) werden diese aufgeteilt in Scherversuch, Zugversuch, Ausstoßversuch und Miniaturzugversuch [35].

Beim Scherversuch oder auch Shear-bond-Test [31] wird das zu untersuchende Material horizontal vom Prüfkörper abgeschert. Zuvor wurde das zylindrisch geformte Untersuchungsmaterial auf den plan geschliffenen Prüfkörper aufpolymerisiert [35].

Beim Ausstoßversuch oder Push-out-Test [38, 80] handelt es sich um eine Versuchsart, bei der der Prüfkörper in 1 mm dicke Scheiben unterteilt wird. Ein senkrecht auf dem Füllmaterial platzierter Stempel stößt diese in apikal-koronaler Richtung aus dem Wurzelkanal hinaus [38].

Der sehr häufig verwendete Zugversuch oder Pull-out-Test [25, 29, 82] ist ein wenig techniksensibles Verfahren, bei dem der in den Zahn eingebrachte Spreader senkrecht aus dem Prüfkörper herausgezogen wird. Anstelle der klinisch angewendeten Guttaperchspitzen werden Stahl-Spreader verwendet, um mögliche Haftwertverluste durch Fehler im Guttaperchastift selbst zu verhindern und somit mögliche Artefakte zu umgehen [29].

Weiterhin kann das Miniaturzugverfahren oder der Microtensile-Test [14] angewendet werden. Hierbei wird der Prüfkörper in 1 mm starke Scheiben unterteilt und entweder in Sanduhrform oder Stäbchenform präpariert [38]. Die Scheiben werden dann mittels einer Zugmaschine horizontal voneinander abgezogen.

Der Ausstoß- und Zugversuch stellen die bewährtesten Tests zur Untersuchung der Stiftretention in Wurzelkanälen dar [29, 38, 80]. Da in der vorliegenden Untersuchung die Korrelation zur klinischen Situation entscheidend war und eine Methode ausgewählt werden sollte, die wenig Artefakte oder ein frühes Ausscheiden der Proben durch den technischen Aufwand der Untersuchung ausschließen sollte (Microtensile-Test; [29]), fiel die Wahl auf den Pull-out-Versuch nach Ebert *et al.* (2011) [29], da so entsprechend der klinischen Situation ein konischer Prüfkörper im Ganzen untersucht werden konnte. Denn nicht die regionalen Unterschiede (Push-out-Test, Microtensile-Test), sondern die Auswirkungen der Zugkräfte über die gesamte Länge der Spreader waren entscheidend [29].

Wie auch in anderen Untersuchungen sollte in dieser Studie Guttapercha als Schwachstelle ausgeschlossen werden [19,29]. Denn bei Anwendung des Pull-out-Tests würde die Guttapercha zerreißen und ebenfalls wie beim Einsatz des Push-out-Tests, bei welchem die Guttapercha heraus geschert würde, käme es zu einer Verfälschung der Ergebnisse. Insofern entspricht das angewandte Modell zwar nicht in Gänze der klinischen Situation, jedoch wurde ein konischer Spreader gewählt, welcher die Situation in vivo nachempfunden, nicht wie im Falle von Carvalho *et al.* (2013), welche ausschließlich mit Sealer gefüllte Kanäle untersuchten [19]. In der vorliegenden Studie ist der Bezug zur klinischen Situation somit besser hergestellt, da eine dünne Sealerschicht an einem konischen, glatten Stift untersucht wurde. Nicht unbeachtet darf bleiben, dass Stahl-Spreader Verwendung fanden, deren Oberfläche weder silanisiert noch silikatisiert, sondern nur mit 70 %igem Ethanol gereinigt wurden. Die Höhe der Haftwerte (*Activ Point*: Mittelwert = 3,76 MPa) ist deshalb insofern auszulegen, als dass eine

Steigerung derer erreicht werden kann. So fanden Rödl *et al.* (2007) in ihrer Untersuchung bezüglich des Haftverbundes von kunstharz- und methacrylatbasierten Sealern unter dem Einfluss endodontischer Spüllösungen Mittelwerte von bis zu 5,81 MPa für *AH Plus*, mit sowohl silanisierten als auch silikatisierten Stahl-Spreadern bei gleichem Testverfahren [90]. Vergleichend erreichen adhäsive Zemente wie *RelyX Unicem* in Pull-out-Testverfahren Haftwerte von fast 15 MPa bei gleichermaßen vorbehandelten Spreadern [29]. Auch bei der Verwendung anderer Testverfahren, erzielt *AH Plus* beeindruckend hohe Haftwerte. So konnte *AH Plus* unter Verwendung des Micro-Pushout-Tests Spitzenwerte von 19,7 MPa erreichen. *Epiphany* erreichte in der selbigen Studie als Methacrylatsealer lediglich Haftwerte von bis zu 1,5 MPa [19].

### 5.1.6 Klinische Relevanz

Die klinische Relevanz der untersuchten Parameter zeigt sich ganz klar in der postendodontischen Therapie. Denn für endodontisch behandelte Zähne wird weitläufig eine Kronenversorgung empfohlen [4, 77, 113]. Gründe hierfür sind einerseits die verminderte Widerstandsfähigkeit gegenüber Frakturen als Folge einer Wurzelkanalbehandlung. Andererseits kommt es durch die Devitalisierung der Zähne zu einer Unterbrechung des neurosensorischen Regelkreises beim Kauakt, der den Zahn vor Überbelastungen schützen soll [87]. Im Zuge dessen werden bei großflächigem Substanzverlust zusätzlich Wurzelstifte empfohlen [4]. Bei der Stiftkanalbohrung selbst wirken dann extrusive Kräfte auf die Wurzelkanalfüllung, die bei einem zu geringen Haftverbund dazu führen können, dass es zu einer Dislokation derer kommt. Um den Erfolg der endodontischen Therapie weiterhin zu gewährleisten, muss sich in Folge dessen eine endodontische Revisionsbehandlung mit erneuter Reobturation anschließen.

## 5.2 Diskussion der Ergebnisse

### 5.2.1 Prüfung der Nullhypothese

Medikamentöse Einlagen auf Kalziumhydroxid- und Chlorhexidindigluconatbasis unterschiedlicher Beschaffenheit haben keinen Einfluss auf den Haftverbund zwischen *AH Plus* und dem Wurzelkanalentin.

*Diese Hypothese wird **angenommen**.*

Ziel der Studie war es herauszuarbeiten, ob und wenn ja in welchem Umfang sich der Einsatz von medikamentösen Einlagen unterschiedlicher Beschaffenheit auf den Haftverbund zwischen *AH Plus* und dem Wurzelkanalentin auswirkt. Die aufgestellte Nullhypothese ist anzunehmen, da zwischen keiner der Versuchsgruppen ein Unterschied mit Signifikanz besteht. Jedoch ist ein deutlicher Trend nach Einsatz von *Activ Points* zu verzeichnen, den Haftverbund zu verbessern. Diese Testgruppe erreichte als einzige der Versuchsgruppen einen deutlich höheren Wert (Gruppe C: Median = 3,52MPa) als beide Kontrollgruppen (Gruppe E: Median = 1,32 MPa; Gruppe F: Median = 1,43 MPa). Da die Zugversuche der Proben mit getrockneten Kanälen (Gruppe F: Median = 1,43 MPa) höhere Haftkräfte aufweisen als die Proben mit feuchten Kanälen (Gruppe E: Median = 1,32 MPa), kann, wie vom Hersteller angegeben, eine Trocknung der Kanäle vor dem Füllen eines endodontischen Systems empfohlen werden. Aufgrund jener Ergebnisse ist es erforderlich, als Referenzwert die trockene Kontrollgruppe heranzuziehen.

### 5.2.2 Der *Activ Point* verbessert deutlich die Haftkraft von *AH Plus*

Rödig und Hülsmann (2005) berichteten in ihrer Untersuchung über medikamentöse Einlagen in der Endodontie, dass die Wirksamkeit des CHX in Stiftform kritisch zu bewerten sei [88]. Insofern könnten die vorliegenden Haftwerte nach Einlage von CHX in Stiftform (Gruppe C: Median = 3,52 MPa), die die höchsten in dieser Studie waren, auch dadurch erklärt werden, dass möglicherweise durch eine geringere Verfügbarkeit des Wirkstoffs auch eine geringere Wirkung auf das Dentin erfolgt ist. Da die Wirksamkeit des CHX grundlegend durch seine Substantivität bestimmt wird, könnte dies Folgendes erklären: Geht man davon aus, dass der Wirkstoff CHX in Stiftform nicht so effektiv ist wie in Gelform, ist zu vermuten, dass auch seine Substantivität herabgesetzt ist. Denn es ist ein direkter Zusammenhang zwischen

Konzentration und Substantivität und damit der Wirksamkeit nachgewiesen. Damit ist auch die Anheftung an die oberflächlichen Dentinschichten belegt [72]. Insgesamt scheinen Wurzelkanäle, die eine medikamentöse Einlage mittels *Activ Points* erhalten haben, positiv hinsichtlich des Haftverbunds beeinflusst zu werden, als nach Anwendung anderer Einlagen (Vergleich Kontrollgruppe trocken (Gruppe F: Median = 1,43 MPa)). Ob hierbei die Darreichungsform oder die Verfügbarkeit des Wirkstoffs einen Einfluss haben, ist nicht abschließend geklärt, sodass hierzu noch weitere Untersuchungen notwendig sind. Auch hinsichtlich der Anwendung von Kalziumhydroxid muss dieser Aspekt genauer untersucht werden, denn auch in Pastenform konnte Kalziumhydroxid eine leichte Erhöhung der Haftwerte bewirken (Gruppe B: Median = 2,63 MPa), wenn auch nicht in der Weise wie bei CHX. Dies könnte durch die Eigenschaften der wässrigen Aufschlämmung erklärt werden, da Kalziumhydroxid in Pastenform nicht nur eine Alkalisierung bewirkt, sondern ebenso eine bessere Benetzbarkeit des Dentins durch Veränderung dessen Oberflächenstruktur [119]. Dies äußert sich in den bereits beschriebenen Veränderungen wie erosive Vorgänge oder die Freilegung des Kollagenetzwerkes [28]. All jene Aspekte können anscheinend nicht oder nicht in Gänze durch Kalziumhydroxidstifte erreicht werden. Aufgrund der nicht ausreichenden Literaturlage bezüglich der Dentinbeschaffenheit nach Stift-/ Pasteneinlage auf Kalziumhydroxidbasis, liegt hierzu jedoch noch kein abschließendes Urteil vor.

Wie weiter unten in detail erklärt, sind Pasten nicht vollständig aus dem Wurzelkanalsystem zu entfernen, womit die niedrigeren Haftwerte der *UltraCal XS* Paste im Vergleich zu *Activ Point*-Einlagen erklärt werden können.

### 5.2.3 Chlorhexidindigluconat als Stift weist höhere Haftwerte auf als in Gelform

Auf Grundlage der ermittelten Haftwerte kann eine Empfehlung ausgesprochen werden, CHX als medikamentöse Einlage nicht in Gel-, sondern in Stiftform anzuwenden. Zwar besteht keine Signifikanz, jedoch ist die Haftkraft des *Points* (Gruppe C: Median = 3,52 MPa) im Vergleich zur trockenen Kontrollgruppe (Gruppe F: Median = 1,43 MPa) und zur medikamentösen Einlage auf Gel-Basis (Gruppe A: Median = 1,63 MPa) sichtbar erhöht. Die ermittelten Haftwerte können nun einerseits durch den bereits erwähnten Zusammenhang der verminderten Substantivität erklärt werden. Andererseits könnte die wässrige Grundlage eine Erklärung bieten, welche nicht nur eine verbesserte Substantivität ermöglicht, sondern auch eine tiefere Penetration in die Dentintubuli und somit die Entfernung erschwert und die Haftwerte folglich herabsetzt. Da es sich hier jedoch nicht um signifikante Unterschiede handelt, muss sich die

Frage gestellt werden, ob man bei der Verwendung von *AH Plus* nicht auf medikamentöse Einlagen in Gelform zurückgreift, denn Rödiger und Hülsmann wiesen, wie bereits erwähnt, auf eine kritische Einstufung der Effektivität von Chlorhexidinstiften im Vergleich zum verwendeten Gel hin [88]. Da *AH Plus* jedoch ein Sealer ist, der im Vergleich zu anderen Sealern sehr hohe Haftwerte erreicht [1, 19, 97], ist zu überlegen, ob in dieser Hinsicht nicht etwa ein Kompromiss zulässig ist, um sowohl gute Haftwerte, als auch eine gute Desinfektion des Wurzelkanalsystems zu erreichen. Damit ließe sich eine Wurzelkanalfüllung erzielen, die sowohl dislozierenden Kräften weiterhin widerstehen, als auch deren Erfolg nicht durch unzureichend desinfiziertes Wurzelkanalentin in Frage stellt.

### 5.2.4 Kalziumhydroxid als Paste weist höhere Haftwerte auf als in Stiffform

Obwohl bewiesen werden konnte, dass der alternierende Einsatz von NaOCl und EDTA die Haftkraft von *AH Plus* verbessert [111], bedeutet dies nicht, dass eine vollständige Entfernung der medikamentösen Einlagen erreicht werden kann [65]. Es liegen Studien vor, die zeigen, dass Kalziumhydroxid die Permeabilität des Dentins durch Verblocken der Dentintubuli herabsetzt, was durch die Ergebnisse der vorliegenden Studie untermauert wird. Zwar liegen keine Signifikanzen vor, jedoch liegen die Werte des Kalziumhydroxids in Stiffform (Gruppe D: Median = 1,20 MPa) unter den Werten der trockenen Kontrollgruppe (Gruppe F: Median = 1,43 MPa), was bedeutet, dass die Einlage mit Kalziumhydroxidstiften, zwar eine geringe aber dennoch erkennbare Herabsetzung der Haftkraft von *AH Plus* zum Wurzelkanalentin bedingt. Des Weiteren liegen die Werte des Kalziumhydroxids in Pastenform (Gruppe B: Median = 2,63 MPa) unterhalb derer des *Activ Points* (Gruppe C: Median = 3,52 MPa). Ein Erklärungsansatz könnte das Hineindrücken der Medikamentenreste bei der Obturation darstellen und so die Verblockung der Kanäleingänge, die eine Penetration des Sealers in die Dentintubuli verhindern und somit als Folge die Haftkraft dessen herabsetzen könnte [84]. Allerdings würde dieser Effekt nicht im Falle der Einlage von Kalziumhydroxidstiften zutreffen, da diese den Wirkstoff lediglich als Salz enthalten, welches diesen Verblockungseffekt nicht bewirken dürfte. Insofern kommt auch eine pH-Wert-Veränderung durch den Einsatz von Kalziumhydroxideinlagen als mögliche Ursache in Frage. Diese Änderung des pH-Wertes beeinflusst insofern, dass es seine Mikrohärtigkeit und Widerstandsfähigkeit gegenüber Frakturen herabsetzt [28, 120, 121]. Yassen *et al.* (2013a) konnten im Rahmen ihrer In-vitro-Untersuchung über die Beeinflussung der chemischen Struktur von Wurzelkanalentin durch medikamentöse Einlagen zeigen, dass nach der Anwendung von Kalziumhydroxid das Kollagen zersetzt wurde [119]. Dies könnte einen Kollaps des Kollagennetzwerkes bedingen, welcher

schon bei Anwendung endodontischer Spüllösungen vermieden werden sollte [76]. Denn durch einen solchen Kollaps wird das Eindringen des Sealers in die Dentintubuli erschwert oder gar verhindert und schlussendlich die Haftkraft dessen herabgesetzt [40].

Ein Erklärungsansatz für die geringen Haftwerte der Stifte auf Kalziumhydroxidbasis könnten die enthaltenen Tenside sein. Diese sollen die Wirkstoffe des Stiftes besser lösen und somit deren Wirkung verbessern. Dies bedeutet, dass so auch der Haftverbund verstärkt beeinflusst werden kann. Des Weiteren ist zu beachten, dass der Wirkstoff des Points durch in das Wurzelkanalsystem eintretende Flüssigkeit gelöst wird. Die Paste jedoch hat eine geringe Wasserbasis, dies hat eine schlechtere Penetration zur Folge und somit auch eine geringere Beeinflussung des Haftverbundes.

### **5.2.5 UltraCal XS-Paste weist höhere Haftwerte auf als das Chlorhexamed DIREKT - Gel**

Während die Entfernung von medikamentösen Einlagen auf Kalziumhydroxidbasis in Pastenform gut untersucht wurde [65,89], ist die Entfernung derer auf Chlorhexidinbasis jedoch weniger analysiert. Da es sich bei CHX um eine wässrige Substanz und nicht um eine Paste handelt, scheint dieses gut durch Spülungen entfernbar zu sein. Möglich ist jedoch auch, dass sich die positiven Eigenschaften des CHX auch nachteilig auf dessen Entfernbarkeit auswirken können. Denn CHX adsorbiert an anionischen Substanzen wie Hydroxylapatit [39] und verfügt somit über die Eigenschaft der Substantivität, die das lange Verweilen und die damit einhergehende dauerhafte Abgabe wirksamer Substanzen über einen langen Zeitraum erlaubt [8]. Dies könnte zu einer erschwerten Entfernung des CHX-Gels im Vergleich zur Kalziumhydroxidpaste erklären [62]. Des Weiteren gilt es zu unterscheiden, inwiefern sich die Entfernbarkeit des Gels selber oder die Beseitigung dessen Effekts (Residualwirkung) auf den Haftverbund des Sealers auswirkt. So kann davon ausgegangen werden, dass das Gel aufgrund seiner wässrigen Beschaffenheit vollständig entfernt werden kann, der Effekt dessen jedoch auch nach seiner Entfernung bestehen bleibt und sich auch weiterhin negativ auf den Haftverbund des *AH Plus* zum Wurzelkanaldentin auswirken kann. Dies würde mit unseren Ergebnissen übereinstimmen. Denn Einlagen in Gelform weisen geringere Haftwerte auf (Gruppe A: Median = 1,63 MPa) als solche in Pastenform auf Kalziumhydroxidbasis (Gruppe B: Median = 2,63 MPa). Die Schwierigkeit der Entfernung von CHX im Gegensatz zu Kalziumhydroxid stellten auch schon Kontakiotis *et al.* (2008) in ihrem 6-Monats-Follow-Up über die Beeinflussung von CHX und Kalziumhydroxid auf den Haftverbund fest [62].

### 5.2.6 Stifteinlagen auf Chlorhexidinbasis weisen höhere Haftwerte auf als solche auf Kalziumhydroxidbasis

Ungeklärt bleibt noch der Sachverhalt, dass die Haftwerte der mit *Activ Points* versehenen Proben höhere Haftwerte aufweisen (Gruppe C: Median = 3,52 MPa) als solche, die mit *Calciumhydroxid Plus Points* versehen waren (Gruppe D: Median = 1,20 MPa). Lohbauer *et al.* (2005) verglichen in einer mikroskopischen Analyse *Calciumhydroxid Points* mit *Calciumhydroxid Plus Points*. Diese Stifte unterscheiden sich insofern voneinander, dass in *Calciumhydroxid Plus Points* zusätzlich Tenside und Natriumhypochlorit enthalten sind, die es dem in das Wurzelkanalsystem eintretenden Wasser durch Lösung ermöglichen, in tiefere Schichten des Guttaperchastiftes einzudringen und somit mehr Kalziumhydroxidionen freizusetzen. Dies konnten ihre Untersuchungen bestätigen, da die mikroskopischen Aufnahmen der *Calciumhydroxid Plus Points* eine deutlich porösere Oberfläche aufwiesen als deren Vorgänger [67]. Diese Zusätze sind in Guttaperchaspitzen auf CHX-Basis jedoch nicht enthalten. Diese Tatsache könnte die höheren Haftwerte bei Verwendung der *Activ Points* erklären. Denn gehen weniger Moleküle in Lösung, können diese auch weniger den Haftverbund des Sealers zum Wurzelkanalentin beeinflussen. Dies würde einen Zusammenhang herstellen zwischen Wirksamkeit und Einfluss auf den Haftverbund. Wenn also *Activ Points* weniger wirksam sind als Kalziumhydroxidstifte [88], beeinflussen sie, wie in der vorliegenden Studie gezeigt, den Haftverbund nicht negativ. Demgegenüber stehen jedoch Studien, die *Activ Points* den *Calciumhydroxid Plus Points* als überlegen ansehen [30, 66]. Um diese Überlegungen zu verifizieren, sind jedoch vergleichende mikroskopische Untersuchungen in der Art notwendig, wie sie Lohbauer *et al.* (2005) vornahmen.

### 5.2.7 Die Frakturmodi

Die ermittelten Frakturmodi unterstreichen nicht nur die Validität der gewählten Versuchsart, sondern ebenfalls, dass die verwendeten Einlagen keinen Einfluss auf den Haftverbund zwischen Dentin und Sealer haben. Denn lässt man die Kontrollgruppen außer Acht, so verteilen sich die Frakturmodi wie folgt: Gruppe A - 70 % gemischter Frakturmodus (M), 30 % adhäsiver Fehler zwischen Spreader und Sealer (AS); Gruppe B - 90 % gemischter Frakturmodus (M), 10 % adhäsiver Fehler zwischen Spreader und Sealer (AS); Gruppe C + D 100 % gemischter Frakturmodus (M). Betrachtet man nun die gemischten Frakturmodi genauer, festigt sich erneut die Annahme, dass keine Beeinflussung des Haftverbundes durch medikamentöse Einlagen erfolgt. Denn bis auf zwei Fälle liegt immer eine Kombination aus einem adhäsiven

Verlust des Haftverbundes zwischen Spreader und Sealer (AS) und einem kohäsiven Verlust (K) des Haftverbundes, also innerhalb der Sealerschicht, vor. Bei all jenen Mischfrakturen ist der vorherrschende Modus der Verlust des adhäsiven Haftverbundes zwischen Sealer und Spreader (ausgenommen ein Fall von kohäsivem Haftverlust in Gruppe B). Dies bedeutet, dass der Verbund zwischen dem Wurzelkanalentin und *AH Plus*, dem Hauptfokus der Studie, nicht beeinflusst wurde. Dies bestätigen bereits durchgeführte Untersuchungen: so konnte in einer vergleichenden Studie über die Grenzflächenkraft von *Epiphany* und *AH Plus* eine Dominanz im Verlust des adhäsiven Haftverbundes zwischen Guttapercha und Sealer festgestellt werden [36]. Im Rahmen der Untersuchung adhäsiver Befestigungskomposite im Vergleich zu nichtadhäsiven Materialien ermittelten Ebert *et al.* (2011) bezüglich der Frakturmodi einen vorherrschenden Modus, der sich als kohäsiv herausstellte, gefolgt von einem adhäsiven Haftverlust zwischen Zement und Spreader [29]. Dies stimmt zwar nicht in Gänze mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie überein, steht jenen jedoch auch nicht vollends konträr gegenüber, da sich die insgesamt auftretenden Modi gleichen (adhäsiv zwischen Spreader+Sealer/Zement und kohäsiv). Zudem kamen in der vorgenannten Studie auch keine medikamentösen Einlagen als weiterer Einflussfaktor hinzu, und es erfolgte zusätzlich eine Vorbehandlung der Spreader, dies könnte ein Abscheren am Spreader vermindern oder vermeiden. So zeigt dieser Vergleich auf, dass eine Weiterentwicklung der Sealer hin zu adhäsiven Systemen, wie es bei Befestigungszementen bereits stattfand, notwendig ist, mit dem Zweck, eine höhere Haftung zu erzielen und einen sicheren Verbund zwischen den einzelnen Komponenten einer Wurzelkanalfüllung herzustellen.

Bei der Recherche bezüglich des vorherrschenden Frakturmodus wurde ersichtlich, dass in Untersuchungen zur Veränderung der Haftkraft von *AH Plus* nach Einsatz unterschiedlicher Spülflüssigkeiten zumeist ein kohäsiver Frakturmodus vorlag [41, 91]. Dies stößt die Überlegung an, ob medikamentöse Einlagen insofern Einfluss auf den Sealer haben, als sie im Sinne einer Interaktion mit dem Sealer die Haftkraft innerhalb dessen verbessern und somit kohäsive Haftverluste minimieren.

### 5.2.8 Fazit

Als Fazit lässt sich ziehen, dass kein Anhalt dafür gegeben ist, dass medikamentöse Einlagen auf der Basis von Chlorhexidindigluconat und Kalziumhydroxid signifikante Auswirkungen auf den Haftverbund zwischen dem Wurzelkanalentin und dem Sealer *AH Plus* bewirken und dass

weitere wissenschaftliche Untersuchungen erforderlich sind, welche die Auswirkung medikamentöser Einlagen in Stiftform weitergehend untersuchen.

### 5.3 Klinischer Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass es wünschenswert wäre, einen Sealer in die tägliche Praxis zu integrieren, der möglichst hohe Haftwerte aufweist. So konnte von Rödl *et al.* (2007) gezeigt werden, dass durch raue Oberflächen für *AH Plus* deutlich höhere Haftwerte zu erreichen sind (MW = 5,81 MPa) [90], als solche, wie sie in der vorliegenden erzielt werden konnten (MW = 3,76 MPa). Da Guttapercha jedoch nie so sehr stabilisieren wird wie zum Beispiel ein Stahl-Spreader, wäre es ein sinnvolles Ziel ein volladhäsives Wurzelkanalfüllmaterial zu entwickeln, welches auch nach Verlust der koronalen Versorgung und des Wurzelstiftes weiterhin noch zuverlässig abdichtet. Denn Torabinejad *et al.* (1990) stellten in ihrer Untersuchung über das bakterielle Eindringen koronal nicht abgedichteter endodontisch behandelter Zähne dar, dass eine Wurzelkanalfüllung selbst vor bakterieller Invasion nicht schützen kann [109]. Bei der Notwendigkeit einer Revision sollte dieses Wurzelkanalfüllungsmaterial jedoch auch weiterhin gut entfernbar bleiben, um eine erweiterte Desinfektion des Wurzelkanalsystems zu ermöglichen. Medikamentöse Einlagen sollten stets gut desinfizieren, ohne jedoch mit einer Beeinflussung des Haftverbundes und negativen Effekten auf das Dentin einherzugehen. So sind Weiterentwicklungen von Nöten, die einen Haftverbund auch zum Guttapercha bewerkstelligen und so auch einen Monoblock für *AH Plus* verwirklichen, um eine höhere Stabilität zu erreichen. Die für Kalziumhydroxid und Chlorhexidin belegte Reduktion der Mikrohärtigkeit des Dentins [121, 26], die Minderung der Frakturresistenz durch Kalziumhydroxid [28], wie auch die Entstehung von Mikrorissen und der erhöhten Sprödigkeit des Dentins [119] müssen analysiert und bestmöglich ausgeschaltet werden, um eine optimale Wurzelkanalfüllung zu schaffen, die auf einer desinfizierten Grundlage langfristig abdichtet, extrusiven Kräften standhält und auch bei ausgeschaltetem neurosensorischem Schaltkreis einer Fraktur des endodontisch behandelten Zahnes entgegenwirkt.

## 6 Zusammenfassung

### 6.1 Zielsetzung

Der Haftverbund zwischen Wurzelkanalentin und Wurzelkanalfüllung ist ein entscheidender Schlüssel für den Erfolg von endodontischen Behandlungen. Ziel der vorliegenden Studie war es darzulegen, inwieweit der Einsatz von medikamentösen Einlagen auf unterschiedlicher Basis (Kalziumhydroxid oder Chlorhexidindigluconat) und in unterschiedlicher Darreichungsform (Gel/Paste oder Stift) den Haftverbund zwischen dem Sealer *AH Plus* und dem Wurzelkanalentin beeinflussen.

### 6.2 Material und Methode

60 einwurzelige menschliche Zähne mit geradem Wurzelverlauf und einem Wurzelkanal wurden bis zu einer Größe von ISO 60 maschinell mit dem *BioRaCe*-System aufbereitet. Die Zähne wurden auf eine resultierende Wurzelkanallänge von 8 mm getrimmt und nachfolgend randomisiert sechs Gruppen (n = 10) zugeteilt, die mit unterschiedlichen medikamentösen Einlagen beschickt und dementsprechend gekennzeichnet wurden: (A) = *Chlorhexamed DIREKT* Gel, 1 %; (B) = *UltraCal XS* Paste, 35 %; (C) = *ROEKO Activ Point* Chlorhexidin-Spitzen, 5 %; (D) = *ROEKO Calciumhydroxid Plus*-Spitzen, 52 %; (E) = Kontrollgruppe feuchter Wurzelkanal ohne medikamentöse Einlage; (F) = Kontrollgruppe trockener Wurzelkanal ohne medikamentöse Einlage. Nach zweiwöchiger Lagerung der Proben bei 100 % Luftfeuchtigkeit und Zimmertemperatur wurden die medikamentösen Einlagen zunächst durch eine Spülung mit 2,5 ml destilliertem Wasser aus den Wurzelkanalsystemen entfernt. Die einzelnen Zähne wurden dann für den Zugversuch vorbereitet, indem sie mittels diamantierter Trennscheibe mit Retentionsrillen versehen und dann in Kunststoff eingelassen wurden. Nach Abkühlen des Kunststoffes wurde jede Probe einem genauen Spülprotokoll unterzogen: Schritt 1: 2,5 ml Natriumhypochlorit (NaOCl), 3 %, 1 min Schallaktivierung mittels *EndoActivator*; Schritt 2: 2,5 ml Ethylendiamintetraacetat (EDTA), 16 %, 1 min Schallaktivierung mittels *EndoActivator*; Schritt 3: 2,5 ml NaOCl; Schritt 4: 2,5 ml destilliertes Wasser. Spreader-Rohlinge der Größe ISO 55 wurden durch apikale Kürzung an die Zielgröße ISO 60 angepasst, entgratet und poliert, jedoch nicht silikatisiert. Der Sealer *AH Plus* wurde mittels Applikationskanülen in jeden Kanal appliziert und die angepassten Spreader eingebracht. Die Proben wurden zwei Wochen zum Härten gelagert, woraufhin sich der Pull-out-Versuch nach Ebert *et al.* (2011) zur Analyse des

Haftverbundes anschloss [29]. Verwendet wurde eine *Zwick*-Universaltestmaschine. Die Daten wurden mittels der Software *SPSS 21* statistisch analysiert. Ausgewertet wurden sie unter Verwendung des Kruskal-Wallis-Tests und nachfolgend durch den Mann-Whitney-Test. Die Signifikanz wurde bei  $p \leq 0,05$  festgelegt. Um zusätzlich eine Aussage bezüglich des vorherrschenden Frakturmodus treffen zu können, wurde jeder Spreader digital fotografiert, woraufhin die Bilder diesbezüglich ausgewertet wurden.

### 6.3 Ergebnisse

Die Höhe der Haftwerte in absteigender Reihenfolge unter Angabe der Medianwerte zeigen sich wie folgt: (C) *Activ Point Chlorhexidin-Spitzen* (3,52 MPa), (B) *UltraCal XS Paste* (2,63 MPa), (A) *Chlorhexamed DIREKT Gel* (1,63 MPa), (F) Kontrollgruppe trocken (1,43 MPa), (E) Kontrollgruppe feucht (1,32 MPa), (D) *Calciumhydroxid Plus Spitzen* (1,20 MPa). 90 % der Frakturen stellen Mischfrakturen dar.

*AH Plus* weist also nach 14-tägiger Einlage mit *Activ Point Chlorhexidin-Spitzen* eindeutig höhere Haftwerte auf als ohne medikamentöse Einlage, unabhängig davon, ob die Kanäle getrocknet wurden oder nicht. Auch die Einlage mit *UltraCal XS Paste* konnte die Haftwerte leicht verbessern. Die übrigen medikamentösen Einlagen zeigten hingegen nur minimal verbesserte oder gar geringere Haftwerte als die Kontrollgruppen. Trotz dieses deutlichen Trends der Haftkraftverbesserung durch Stifteinlagen auf Chlorhexidinbasis traten zwischen den einzelnen Versuchsgruppen keine signifikanten Unterschiede auf (Kruskal-Wallis-Test:  $p = 0,482$ ).

### 6.4 Schlussfolgerung

Medikamentöse Einlagen auf Kalziumhydroxid- und Chlorhexidindigluconatbasis hatten unterschiedliche Auswirkungen auf den Haftverbund zwischen dem Sealer *AH Plus* und dem Wurzelkanalentin. Chlorhexidindigluconat als Spitze führte zu einer Steigerung des Haftverbundes gegenüber den Kontrollgruppen und konnte somit nachweislich den Haftverbund zum Wurzelkanalentin verbessern. Kalziumhydroxid als Paste führte zu einem geringfügig besseren Ergebnis gegenüber der trockenen Kontrollgruppe. Die übrigen medikamentösen Einlagen bewirkten hingegen vergleichbare oder auch tendenziell niedrigere Haftwerte. Die Frakturmodi bestätigen einen starken und zuverlässigen Haftverbund im Sealer-Wurzelkanalentin-Interface.

## 7 Summary

### 7.1 Aim

The bonding between the root canal dentin and the root canal filling is an essential key for a successful endodontic treatment. The aim of the study was to investigate to which extent the usage of medicaments on the basis of different agents (calciumhydroxide or chlorhexidine digluconate) and different dosage forms (gel/paste or point) impacts the bonding between the sealer *AH Plus* and the root canal dentin.

### 7.2 Methods

60 human teeth, each with straight roots and one root canal were mechanically treated to a size of ISO 60 with the *BioRaCe*-System. The teeth were shortened to a final root canal length of 8 mm and randomly allocated to six groups (n = 10). Each group received different medicamentous fillings and were marked as follows: (A) = *Chlorhexamed DIREKT* Gel, 1 %; (B) = *UltraCal XS Paste*, 35 %; (C) = *ROEKO Activ Point* chlorhexidine points, 5 %; (D) = *ROEKO Calciumhydroxide Plus* points, 52 %; (E) = control group moist root canal without medicament; (F) = control group dry root canal without medicament. After a storage time of two weeks at 100 % air moisture and room temperature, the medicaments were removed by irrigation of the root canal system with 2.5 ml of distilled water. The teeth were prepared for the pull-out test by adding retention grooves with a separating disk and submerging them in dental acrylic. After cooling of the dental acrylic every probe was subjected to a precisely irrigation protocol: step 1: 2.5 ml sodium hypochlorite (NaOCl), 3 %, 1 min ultrasonic activation via *EndoActivator*; step 2: 2.5 ml ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA), 16 %, 1 min ultrasonic activation via *EndoActivator*; step 3: 2.5 ml NaOCl; step 4: 2.5 ml distilled water. Spreader blanks of size ISO 55 were adjusted to the command variable of ISO 60 by apical reduction, burred and polished, but not silicated. The sealer *AH Plus* was delivered into the root canals by delivery cannulas and the adapted spreaders were inserted. The probes were stored two weeks for hardening, whereupon the pull-out test by Ebert *et al.* (2011) followed [29]. A *Zwick* universal testing machine and for statistic analysis the software *SPSS 21* were used. The received data were analysed using the Kruskal-Wallis test and the Mann-Whitney-Test. The level of significance was set at  $p \leq 0.05$ . In order to make a statement about the failure mode, each spreader was digitally photographed, whereupon these pictures were analyzed in this regard.

### 7.3 Results

The resulting bond strength values in descending order under specification of the median value were summarized as follows: (C) *Activ Point* chlorhexidine points (3.52 MPa), (B) *UltraCal XS Paste* (2.63 MPa), (A) *Chlorhexamed DIREKT Gel* (1.63 MPa), (F) dry control group (1.43 MPa), (E) moist control group (1.32 MPa), (D) *Calciumhydroxide Plus* points (1.20 MPa). 90 % revealed a mixed failure mode.

Therefore after 14 days, *AH Plus* showed clearly higher bond strength values after placement of *Activ Points* compared with the control groups without medicaments, irrespective of dry or moist root canals. The use of *UltraCal XS Paste* could slightly improve the bonding values, too. The other medical dressings showed just slightly better or even lower bond strength values than the control groups. In spite of this clear trend of improving bond strength by insertion of chlorhexidine points, there haven't been any significant differences between the experimental groups (Kruskal-Wallis test:  $p = 0.482$ ).

### 7.4 Conclusion

Root canal medicaments on the basis of calciumhydroxide and chlorhexidine digluconate had different effects on the bond strength between the sealer *AH Plus* and the root canal dentin. Chlorhexidine digluconate as a point resulted in an increased bond strength, compared to the control groups. Consequently, *Activ Points* were able to improve the bonding between the sealer and the root canal dentin. Calciumhydroxide as a paste showed slightly better results than the dry control group. The other medical dressings caused comparable bond values or tend to result in lower ones, too. The failure modes confirm a strong and reliable bonding between sealer and root canal dentin.

## 8 Literaturverzeichnis

1. **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. *Journal of Endodontics* 38, 696-699 (2012)
2. **Andrabi SM, Kumar A, Mishra SK, Tewari RK, Alam S, Siddiqui S:** Effect of manual dynamic activation on smear layer removal efficacy of ethylenediaminetetraacetic acid and SmearClear: An in vitro scanning electron microscopic study. *Australian Endodontic Journal* 39, 131-136 (2013)
3. **Andrade-Júnior CV, Kawagoe ST, Almeida JF, Gomes BP, Zaia AA, Ferraz CC:** Bond strength to radicular dentin and sealing ability of AH Plus in combination with a bonding agent. *Acta Odontologica Scandinavica* doi: 10.3109/00016357.2012.757363. (2013)
4. **Aquilino SA & Caplan DJ:** Relationship between crown placement and the survival of endodontically treated teeth. *Journal of Prosthetic Dentistry* 87, 256-263 (2002)
5. **Arslan H, Akcay M, Capar ID, Ertas H, Ok E, Uysal B:** Efficacy of needle irrigation, EndoActivator, and photon-initiated photoacoustic streaming technique on removal of double and triple antibiotic pastes. *Journal of Endodontics* 40, 1439-1442 (2014)
6. **Balguerie E, van der Sluis L, Vallaey K, Gurgel-Georgelin M, Diemer F:** Sealer penetration and adaptation in the dentinal tubules: a scanning electron microscopic study. *Journal of Endodontics* 37, 1576-1579 (2011)
7. **Baral A, Eipakchi F, Roggendorf MJ et al.:** Einfluss verschiedener Calciumhydroxid-Einlagen und Ledermix auf den Haftverbund von AH-26 und AH Plus zum Wurzelkanalentin. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 68, D32 (2013)
8. **Barbosa CA, Goncalves RB, Siqueira JF Jr, De Uzeda M:** Evaluation of the antibacterial activities of calcium hydroxide, chlorhexidine, and camphorated paramonochlorophenol as intracanal medicament. A clinical and laboratory study. *Journal of Endodontics* 23, 297-300 (1997)
9. **Baumgartner JC & Cuenin PR:** Efficacy of several concentrations of sodium hypochlorite for root canal irrigation. *Journal of Endodontics* 18, 605-612 (1992)
10. **Beer R & Baumann MA:** Endodontologie. Farbatlanten der Zahnmedizin 7. Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1997)

11. **Berkhoff JA, Chen PB, Teixeira FB, Diogenes A:** Evaluation of triple antibiotic paste removal by different irrigation procedures. *Journal of Endodontics* 40, 1172-1177 (2014)
12. **Bernardes RA, de Amorim Campelo A, Junior DS et al.:** Evaluation of the flow rate of 3 endodontic sealers: Sealer 26, AH Plus, and MTA Obtura. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 109, e47-49 (2010)
13. **Bodrumlu E, Parlak E, Bodrumlu EH:** The effect of irrigation solutions on the apical sealing ability in different root canal sealers. *Brazilian Oral Research* 24, 165-169 (2010)
14. **Bouillaguet S, Troesch S, Wataha JC, Krejci I, Meyer JM, Pashley DH:** Microtensile bond strength between adhesive cements and root canal dentin. *Dental Materials* 19, 199-205 (2003)
15. **Byström A & Sundqvist G:** The antibacterial action of sodium hypochlorite and EDTA in 60 cases of endodontic therapy. *International Endodontic Journal* 18, 35-40 (1985)
16. **Calt S & Serper A:** Time-dependent effects of EDTA on dentin structures. *Journal of Endodontics* 28, 17-19 (2002)
17. **Calt S & Serper A:** Smear layer removal by EGTA. *Journal of Endodontics* 26, 459-461 (2000)
18. **Caron G, Nham K, Bronnec F, Machtou P:** Effectiveness of different final irrigant activation protocols on smear layer removal in curved canals. *Journal of Endodontics* 36, 1361-1366 (2010)
19. **Carvalho CN, Bauer J, Ferrari PH et al.:** Influence of calcium hydroxide intracanal medication on bond strength of two endodontic resin-based sealers assessed by micropush-out test. *Dental Traumatology* 29, 73-76 (2013)
20. **Carvalho RM, Tay F, Sano H, Yoshiyama M, Pashley DH:** Long-term mechanical properties of EDTA-demineralized dentin matrix. *Journal of Adhesive Dentistry* 2, 193-199 (2000)
21. **Caviedes-Bucheli J, Azuero-Holguin MM, Gutierrez-Sanchez L et al.:** The effect of three different rotary instrumentation systems on substance P and calcitonin gene-related peptide expression in human periodontal ligament. *Journal of Endodontics* 36, 1938-1942 (2010)
22. **Çelik D, Tasdemir T, Er K:** Comparative study of 6 rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation in severely curved root canals of extracted teeth. *Journal of Endodontics* 39, 278-282 (2013)

23. **Cheung GS & Liu CS:** A retrospective study of endodontic treatment outcome between nickel-titanium rotary and stainless steel hand filing techniques. *Journal of Endodontics* 35, 938-943 (2009)
24. **Dammaschke T, Jung N, Harks I, Schäfer E:** The effect of different root canal medicaments on the elimination of *Enterococcus faecalis* ex vivo. *European Journal of Dentistry* 7, 442-448 (2013)
25. **D'Arcangelo C, Cinelli M, De Angelis F, D'Amario M:** The effect of resin cement film thickness on the pullout strength of a fiber-reinforced post system. *Journal of Prosthetic Dentistry* 98, 193-198 (2007)
26. **de Oliveira LD, Carvalho CA, Nunes W, Valera MC, Camargo CH, Jorge AO:** Effects of chlorhexidine and sodium hypochlorite on the microhardness of root canal dentin. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 104, 125-128 (2007)
27. **Dechichi P & Moura CCG:** Smear layer: a brief review of general concepts. Part I. Characteristics, compounds, structure, bacteria and sealing. *Revista da Faculdade de Odontologia Universidade de Passo Fundo*, 96-99, (2006)
28. **Doyon GE, Dumsha T, von Fraunhofer JA:** Fracture resistance of human root dentin exposed to intracanal calcium hydroxide. *Journal of Endodontics* 31, 895-897 (2005)
29. **Ebert J, Leyer A, Gunther O et al.:** Bond strength of adhesive cements to root canal dentin tested with a novel pull-out approach. *Journal of Endodontics* 37, 1558-1561 (2011)
30. **Ebert J, Roggendorf MJ, Frank K, Petschelt A:** Antimicrobial activity of various 'active' gutta-percha points against *Enterococcus faecalis* in simulated root canals. *International Endodontic Journal* 41, 249-257 (2008)
31. **Eldeniz AU, Erdemir A, Belli S:** Shear bond strength of three resin based sealers to dentin with and without the smear layer. *Journal of Endodontics* 31, 293-296 (2005)
32. **Fang J, Mai S, Ling J, Lin Z, Huang X:** In vitro evaluation of bond strength and sealing ability of a new low-shrinkage, methacrylate resin-based root canal sealer. *Journal of the Formosan Medical Association* 111, 340-346 (2012)
33. **Fisher MA, Berzins DW, Bahcall JK:** An in vitro comparison of bond strength of various obturation materials to root canal dentin using a push-out test design. *Journal of Endodontics* 33, 856-858 (2007)
34. **Fleming CH, Litaker MS, Alley LW, Eleazer PD:** Comparison of classic endodontic techniques versus contemporary techniques on endodontic treatment success. *Journal of Endodontics* 36, 414-418 (2010)

- 35. Frankenberger R:** Materialkundliche Grundlagen der Adhäsivtechnik. In: DentNet Masters 3M ESPE Expert Education (Hrsg.): Die Adhäsivtechnologie. Ein Leitfaden für Theorie und Praxis. 3M ESPE, 21-24 (2001)
- 36. Gesi A, Raffaelli O, Goracci C, Pashley DH, Tay FR, Ferrari M:** Interfacial strength of Resilon and gutta-percha to intraradicular dentin. *Journal of Endodontics* 31, 809-813 (2005)
- 37. Gopikrishna V, Venkateshbabu N, Krithikadatta J, Kandaswamy D:** Evaluation of the effect of MTAD in comparison with EDTA when employed as the final rinse on the shear bond strength of three endodontic sealers to dentine. *Australian Endodontic Journal* 37, 12-17 (2011)
- 38. Goracci C, Tavares AU, Fabianelli A et al.:** The adhesion between fiber posts and root canal walls: comparison between microtensile and push-out bond strength measurements. *European Journal Of Oral Sciences* 112, 353-361 (2004)
- 39. Greenstein G, Berman C, Jaffin R:** Chlorhexidine. An adjunct to periodontal therapy. *Journal of Periodontology* 57, 370-377 (1986)
- 40. Gu XH, Mao CY, Liang C, Wang HM, Kern M:** Does endodontic post space irrigation affect smear layer removal and bonding effectiveness? *European Journal of Oral Sciences* 117, 597-603 (2009)
- 41. Gupta H, Kandaswamy D, Manchanda SK, Shourie S:** Evaluation of the sealing ability of two sealers after using chlorhexidine as a final irrigant: an in vitro study. *Journal of Conservative Dentistry* 16, 75-78 (2013)
- 42. Harrison JW:** Irrigation of the root canal system. *Dental Clinics of North America* 28, 797-808 (1984)
- 43. Harrison JW, Baumgartner JC, Svec TA:** Incidence of pain associated with clinical factors during and after root canal therapy. Part 2. Postobturation pain. *Journal of Endodontics* 9, 384-387 & 434-438 (1983)
- 44. Hasselgren G, Olsson B, Cvek M:** Effects of calcium hydroxide and sodium hypochlorite on the dissolution of necrotic porcine muscle tissue. *Journal of Endodontics* 14, 125-127 (1988)
- 45. Hellwig E, Klimek J, Attin T:** Einführung in die Zahnerhaltung. Prüfungswissen Kariologie, Endodontologie und Parodontologie. Deutscher Zahnärzte Verlag, Köln, 384-385 (2010)
- 46. Hermann BW:** Kalziumhydroxid als Mittel zum Behandeln und Füllen von Zahnwurzelkanälen: Med. Diss., Würzburg (1920)

- 47. Herrera DR, Santos ZT, Tay LY, Silva EJ, Loguercio AD, Gomes BP:** Efficacy of different final irrigant activation protocols on smear layer removal by EDTA and citric acid. *Microscopy Research and Technique* 76, 364-369 (2013)
- 48. Hirai VH, da Silva Neto UX, Westphalen VP, Perin CP, Carneiro E, Fariniuk LF:** Comparative analysis of leakage in root canal fillings performed with gutta-percha and Resilon cones with AH Plus and Epiphany sealers. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 109, e131-135 (2010)
- 49.** [http://www.coltene.com/download.php?file\\_id=3851](http://www.coltene.com/download.php?file_id=3851) (11.01.2013)
- 50.** [http://www.coltene.com/download.php?file\\_id=3859](http://www.coltene.com/download.php?file_id=3859) (11.01.2013)
- 51.** <http://www.dentsply.de/bausteine.net/f/8628/K70010127-00EndoActivator.pdf?fd=2> (11.01.2013)
- 52.** [http://www.dentsply.de/docs/ifudocs.aspx?id=31747&domid=1042&sp=E&m1=31072&m2=31130&m3=31234&m4=31747&ifufile=AHPlusJet\\_IFU.pdf](http://www.dentsply.de/docs/ifudocs.aspx?id=31747&domid=1042&sp=E&m1=31072&m2=31130&m3=31234&m4=31747&ifufile=AHPlusJet_IFU.pdf) (11.01.2013)
- 53.** [http://www.fkg.ch/sites/default/files/fkg\\_br\\_brochure\\_de\\_lowr.pdf](http://www.fkg.ch/sites/default/files/fkg_br_brochure_de_lowr.pdf) (09.02.2014)
- 54.** [http://www.speiko.de/uploads/tx\\_ttnewserweiterung/GA\\_Hypochlorit\\_Speiko\\_Korr.pdf](http://www.speiko.de/uploads/tx_ttnewserweiterung/GA_Hypochlorit_Speiko_Korr.pdf) (11.01.2013)
- 55.** <https://www.ultradent.com/de/Product%20Instruction%20Documents/UltraCal%20XS.pdf> (11.01.2013)
- 56. Hülsmann M & Hahn W:** Complications during root canal irrigation--literature review and case reports. *International Endodontic Journal* 33, 186-193 (2000)
- 57. Hülsmann M, Heckendorff M, Lennon A:** Chelating agents in root canal treatment: mode of action and indications for their use. *International Endodontic Journal* 36, 810-830 (2003)
- 58. Karapinar-Kazandag M, Tanalp J, Bayrak OF, Sunay H, Bayirli G:** Microleakage of various root filling systems by glucose filtration analysis. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 109, 96-102 (2010)
- 59. Kennedy WA, Walker WA 3<sup>rd</sup>, Gough RW:** Smear layer removal effects on apical leakage. *Journal of Endodontics* 12, 21-27 (1986)
- 60. Kenshima S, Francci C, Reis A, Loguercio AD, Filho LE:** Conditioning effect on dentin, resin tags and hybrid layer of different acidity self-etch adhesives applied to thick and thin smear layer. *Journal of Dentistry* 34, 775-783 (2006)
- 61. Kokkas AB, Boutsoukis ACh, Vassiliadis LP, Stavrianos CK:** The influence of the smear layer on dentinal tubule penetration depth by three different root canal sealers: an in vitro study. *Journal of Endodontics* 30, 100-102 (2004)

- 62. Kontakiotis EG, Tsatsoulis IN, Papanakou SI, Tzanetakis GN:** Effect of 2% chlorhexidine gel mixed with calcium hydroxide as an intracanal medication on sealing ability of permanent root canal filling: a 6-month follow-up. *Journal of Endodontics* 34, 866-870 (2008)
- 63. Koolman J & Röhm KH:** Taschenatlas der Biochemie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 266 (1997)
- 64. Kouvas V, Liolios E, Vassiliadis L, Parisis-Messimeris S, Boutsoukis A:** Influence of smear layer on depth of penetration of three endodontic sealers: an SEM study. *Endodontics and Dental Traumatology* 14, 191-195 (1998)
- 65. Lambrianidis T, Margelos J, Beltes P:** Removal efficiency of calcium hydroxide dressing from the root canal. *Journal of Endodontics* 25, 85-88 (1999)
- 66. Lin S, Levin L, Weiss EI, Peled M, Fuss Z:** In vitro antibacterial efficacy of a new chlorhexidine slow-release device. *Quintessence International* 37, 391-394 (2006)
- 67. Lohbauer U, Gambarini G, Ebert J, Dasch W, Petschelt A:** Calcium release and pH-characteristics of calcium hydroxide plus points. *International Endodontic Journal* 38, 683-689 (2005)
- 68. Mancini M, Armellin E, Casaglia A, Cerroni L, Cianconi L:** A comparative study of smear layer removal and erosion in apical intraradicular dentine with three irrigating solutions: a scanning electron microscopy evaluation. *Journal of Endodontics* 35, 900-903 (2009)
- 69. Marending M, Luder HU, Brunner TJ, Knecht S, Stark WJ, Zehnder M:** Effect of sodium hypochlorite on human root dentine--mechanical, chemical and structural evaluation. *International Endodontic Journal* 40, 786-793 (2007)
- 70. McComb D & Smith DC:** A preliminary scanning electron microscopic study of root canals after endodontic procedures. *Journal of Endodontics* 1, 238-342 (1975)
- 71. McGill S, Gulabivala K, Mordan N, Ng YL:** The efficacy of dynamic irrigation using a commercially available system (RinsEndo) determined by removal of a collagen 'biomolecular film' from an ex vivo model. *International Endodontic Journal* 41, 602-608 (2008)
- 72. Mohammadi Z & Abbott PV:** The properties and applications of chlorhexidine in endodontics. *International Endodontic Journal* 42, 288-302 (2009)
- 73. Mutoh N, Satoh T, Watabe H, Tani-Ishii N:** Evaluation of the biocompatibility of resin-based root canal sealers in rat periapical tissue. *Dental Materials Journal* 32, 413-419 (2013)

- 74. Nair PN, Henry S, Cano V, Vera J:** Microbial status of apical root canal system of human mandibular first molars with primary apical periodontitis after "one-visit" endodontic treatment. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 99, 231-252 (2005)
- 75. Neelakantan P, Subbarao C, Subbarao CV, De-Deus G, Zehnder M:** The impact of root dentine conditioning on sealing ability and push-out bond strength of an epoxy resin root canal sealer. *International Endodontic Journal* 44, 491-498 (2011)
- 76. Neelakantan P, Varughese AA, Sharma S, Subbarao CV, Zehnder M, De-Deus G:** Continuous chelation irrigation improves the adhesion of epoxy resin-based root canal sealer to root dentine. *International Endodontic Journal* 45, 1097-1102 (2012)
- 77. Ng YL, Mann V, Gulabivala K:** Tooth survival following non-surgical root canal treatment: a systematic review of the literature. *International Endodontic Journal* 43, 171-189 (2010)
- 78. Nunes VH, Silva RG, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YT:** Adhesion of Epiphany and AH Plus sealers to human root dentin treated with different solutions. *Brazilian Dental Journal* 19, 46-50 (2008)
- 79. Ozturk B & Özer F:** Effect of NaOCl on bond strengths of bonding agents to pulp chamber lateral walls. *Journal of Endodontics* 30, 362-365 (2004)
- 80. Pane ES, Palamara JE, Messer HH:** Critical evaluation of the push-out test for root canal filling materials. *Journal of Endodontics* 39, 669-673 (2013)
- 81. Pashley DH, Michelich V, Kehl T:** Dentin permeability: effects of smear layer removal. *Journal of Prosthetic Dentistry* 46, 531-537 (1981)
- 82. Pereira JR, Abreu da Rosa R, Lins do Valle A, Ghizoni JS, Reis So MV, Shiratori FK:** The influence of different cements on the pull-out bond strength of fiber posts. *Journal of Prosthetic Dentistry* doi: 10.1016/j.prosdent.2013.10.009. (2014)
- 83. Peters OA, Laib A, Gohring TN, Barbakow F:** Changes in root canal geometry after preparation assessed by high-resolution computed tomography. *Journal of Endodontics* 27, 1-6 (2001)
- 84. Porkaew P, Retief DH, Barfield RD, Lacefield WR, Soong SJ:** Effects of calcium hydroxide paste as an intracanal medicament on apical seal. *Journal of Endodontics* 16, 369-374 (1990)
- 85. Punia SK, Nadig P, Punia V:** An in vitro assessment of apical microleakage in root canals obturated with gutta-flow, resilon, thermafil and lateral condensation: a stereomicroscopic study. *Journal of Conservative Dentistry* 14, 173-177 (2011)

- 86. Reddy SA & Hicks ML:** Apical extrusion of debris using two hand and two rotary instrumentation techniques. *Journal of Endodontics* 24, 180-183 (1998)
- 87. Robbins JW:** Restoration of the endodontically treated tooth. *Dental Clinics of North America* 46, 367-384 (2002)
- 88. Rödiger R & Hülsmann M:** Die medikamentöse Einlage in der Endodontie. *Endodontie* 14, 281-295 (2005)
- 89. Rödiger T, Vogel S, Zapf A, Hülsmann M:** Efficacy of different irrigants in the removal of calcium hydroxide from root canals. *International Endodontic Journal* 43, 519-527 (2010)
- 90. Rödl S, Bürgel P, Becker C, Roggendorf MJ, Ebert J, Frankenberger R:** Bond strength to root canal dentine following different irrigation protocols using a new testing method. *International Endodontic Journal* 40, 979-1007 (2007)
- 91. Saleh IM, Ruyter IE, Haapasalo MP, Orstavik D:** Adhesion of endodontic sealers: scanning electron microscopy and energy dispersive spectroscopy. *Journal of Endodontics* 29, 595-601 (2003)
- 92. Scarparo RK, Grecca FS, Fachin EV:** Analysis of tissue reactions to methacrylate resin-based, epoxy resin-based, and zinc oxide-eugenol endodontic sealers. *Journal of Endodontics* 35, 229-232 (2009)
- 93. Scelza MZ, Coil J, Alves GG:** Effect of time of extraction on the biocompatibility of endodontic sealers with primary human fibroblasts. *Brazilian Oral Research* 26, 424-430 (2012)
- 94. Schäfer E, Bering N, Bürklein S:** Selected physicochemical properties of AH Plus, EndoREZ and RealSeal SE root canal sealers. *Odontology* doi: 10.1007/s10266-013-0137-y. (2013)
- 95. Schäfer E & Bössmann K:** Antimicrobial efficacy of chlorhexidine and two calcium hydroxide formulations against *Enterococcus faecalis*. *Journal of Endodontics* 31, 53-56 (2005)
- 96. Shipper G, Teixeira FB, Arnold RR, Trope M:** Periapical inflammation after coronal microbial inoculation of dog roots filled with gutta-percha or resilon. *Journal of Endodontics* 31, 91-96 (2005)
- 97. Shokouhinejad N, Gorjestani H, Nasseh AA, Hoseini A, Mohammadi M, Shamshiri AR:** Push-out bond strength of gutta-percha with a new bioceramic sealer in the presence or absence of smear layer. *Australian Endodontic Journal* 39, 102-106 (2013)
- 98. Short JA, Morgan LA, Baumgartner JC:** A comparison of canal centering ability of four instrumentation techniques. *Journal of Endodontics* 23, 503-507 (1997)

99. **Silva-Herzog D, Ramirez T, Mora J et al.**: Preliminary study of the inflammatory response to subcutaneous implantation of three root canal sealers. *International Endodontic Journal* 44, 440-446 (2011)
100. **Siqueira JF Jr & de Uzeda M**: Influence of different vehicles on the antibacterial effects of calcium hydroxide. *Journal of Endodontics* 24, 663-665 (1998)
101. **Siqueira JF Jr & Lopes HP**: Mechanisms of antimicrobial activity of calcium hydroxide: a critical review. *International Endodontic Journal* 32, 361-369 (1999)
102. **Siqueira JF Jr, Rôças IN, Favieri A et al.**: Incidence of postoperative pain after intracanal procedures based on an antimicrobial strategy. *Journal of Endodontics* 28, 457-460 (2002)
103. **Stellungnahme der DGZMK**: Bleichen von verfärbten Zähnen. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 56, 72, (2001)
104. **Stellungnahme der DGZMK und DGZ**: „Good clinical practice“: Die Wurzelkanalbehandlung. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 60, 8 (2005)
105. **Stellungnahme der DGZMK und DGZ**: Wurzelkanalfüllpasten und -füllstifte. *Deutsche Zahnärztliche Zeitschrift* 55, 9 (2000)
106. **Timpawat S, Vongsavan N, Messer HH**: Effect of removal of the smear layer on apical microleakage. *Journal of Endodontics* 27, 351-353 (2001)
107. **Topcuoglu HS, Tuncay O, Karatas E, Arslan H, Yeter K**: In vitro fracture resistance of roots obturated with epoxy resin-based, mineral trioxide aggregate-based, and bioceramic root canal sealers. *Journal of Endodontics* 39, 1630-1633 (2013)
108. **Torabinejad M, Handysides R, Khademi AA, Bakland LK**: Clinical implications of the smear layer in endodontics: a review. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 94, 658-666 (2002)
109. **Torabinejad M, Ung B, Kettering JD**: In vitro bacterial penetration of coronally unsealed endodontically treated teeth. *Journal of Endodontics* 16, 566-569 (1990)
110. **Ulusoy OI & Gorgul G**: Effects of different irrigation solutions on root dentine microhardness, smear layer removal and erosion. *Australian Endodontic Journal* 39, 66-72 (2013)
111. **Vilanova WV, Carvalho-Junior JR, Alfredo E, Sousa-Neto MD, Silva-Sousa YT**: Effect of intracanal irrigants on the bond strength of epoxy resin-based and methacrylate resin-based sealers to root canal walls. *International Endodontic Journal* 45, 42-48 (2012)
112. **Violich DR & Chandler NP**: The smear layer in endodontics - a review. *International Endodontic Journal* 43, 2-15 (2010)

- 113. Vire DE:** Failure of endodontically treated teeth: classification and evaluation. *Journal of Endodontics* 17, 338-342 (1991)
- 114. Williamson AE, Sandor AJ, Justman BC:** A comparison of three nickel titanium rotary systems, EndoSequence, ProTaper universal, and profile GT, for canal-cleaning ability. *Journal of Endodontics* 35, 107-109 (2009)
- 115. Wuerch RM, 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. *Journal of Endodontics* 30, 788-791 (2004)
- 116. Xu P, Liang J, Dong G, Zheng L, Ye L:** Cytotoxicity of RealSeal on human osteoblast-like MG63 cells. *Journal of Endodontics* 36, 40-44 (2010)
- 117. Yamada RS, Armas A, Goldman M, Lin PS:** A scanning electron microscopic comparison of a high volume final flush with several irrigating solutions: Part 3. *Journal of Endodontics* 9, 137-142 (1983)
- 118. Yamashita JC, Tanomaru Filho M, Leonardo MR, Rossi MA, Silva LA:** Scanning electron microscopic study of the cleaning ability of chlorhexidine as a root-canal irrigant. *International Endodontic Journal* 36, 391-394 (2003)
- 119. Yassen GH, Chu TM, Eckert G, Platt JA:** Effect of medicaments used in endodontic regeneration technique on the chemical structure of human immature radicular dentin: an in vitro study. *Journal of Endodontics* 39, 269-273 (2013a)
- 120. Yassen GH, Vail MM, Chu TG, Platt JA:** The effect of medicaments used in endodontic regeneration on root fracture and microhardness of radicular dentine. *International Endodontic Journal* 46, 688-695 (2013b)
- 121. Yoldas O, Dogan C, Seydaoglu G:** The effect of two different calcium hydroxide combinations on root dentine microhardness. *International Endodontic Journal* 37, 828-831 (2004)
- 122. Zeeck A, Grond A, Papastavrou I, Zeeck SC:** *Chemie für Mediziner*. Urban & Fischer/Elsevier, München, 149 (2005)

## 9 Anhang

Anhang 1: Abkürzungsverzeichnis .....	75
Anhang 2: Materialliste.....	77
Anhang 3: Auswertungstabellen und Diagramme der Frakturmodi .....	80
Anhang 4: Abbildungs- und Tabellenverzeichnis.....	86

## **Anhang 1: Abkürzungsverzeichnis**

<b>Abkürzung</b>	<b>Begriffserklärung</b>
Abb.	Abbildung
Ca(OH) <sub>2</sub>	Kalziumhydroxid
ChKM	Chlorphenol-Kampfer-Menthol
CHX	Chlorhexidindigluconat
DGZ	Deutsche Gesellschaft für Zahnerhaltung
DGZMK	Deutsche Gesellschaft für Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde
EDTA	Ethylendiamintetraacetat / Ethylendiamintetraessigsäure
FM	Frakturmodus
IQA	Interquartilsabstand
ISO	International Organization for Standardization / Internationale Organisation für Normung
Max.	Maximum
Min.	Minimum
mm	Millimeter
MPa	Megapascal
MW	Mittelwert
NaOCl	Natriumhypochlorit
Ncm	Newtonzentimeter
NiTi	Nickel-Titan
PCA	para-Chloranilin
SD	standard deviation / Standardabweichung
Tab.	Tabelle
Upm	Umdrehungen pro Minute
#	Größe
%	Prozent

## **Anhang 2: Materialliste**

Artikel	Hersteller
Activator Tip Größe „medium“ (.04/#25) <i>AH Plus</i> LOT# Tube A 1008002577 LOT# Tube B 1008001990	DENTSPLY Maillefer, Ballaigues/Switzerland DENTSPLY DETREY GmbH, Konstanz/Germany
Applikationskanülen	Ultradent Products Inc., South Jordan, UA, USA
<i>BioRaCe</i>	FKG Dentaire Swiss Dental Products, La Chaux-de-Fonds/Switzerland
Chloramin-T-Lösung, 0,5 %	Klinikapotheke, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Marburg/Germany
<i>Chlorhexamed DIREKT</i> , 1 %	GlaxoSmithKline Consumer Healthcare GmbH & Co. KG, Bühl/Germany
destilliertes Wasser	B. Braun Melsungen AG, Melsungen/Germany
diamantierte Trennscheibe	Horico, Berlin/Germany
Dubliersilikon <i>Silatec</i>	DMG GmbH, Hamburg/Germany
EDTA, 16 %	Klinikapotheke, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Marburg/Germany
Einmalspülkanülen	B. Braun Melsungen AG, Melsungen/Germany
Einwegspritzen	B. Braun Melsungen AG, Melsungen/Germany
<i>EndoActivator</i>	DENTSPLY Maillefer, Ballaigues/Switzerland
Endodontischer Übungsblock	VDW GmbH, München/Germany
Eppendorfgefäß	Eppendorf, Hamburg/Germany
Ethanol, 70 %	Klinikapotheke, Universitätsklinikum Gießen und Marburg GmbH, Marburg/Germany
experimentelle Spreader (.02/#55) <i>Fermit</i>	DENTSPLY Maillefer, Ballaigues/Switzerland Ivoclar Vivadent AG, Schaan/Liechtenstein
Mikroobjektiv	Canon MP-E65, Canon Inc., Krefeld/Germany
Natriumhypochlorit, 3 %	SPEIKO Dr. Speier GmbH, Münster/Germany
<i>Palapress</i> Kunststoff	Kulzer Dental GmbH, Hanau/Germany
Papierspitzen (#55, #60)	Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG, Langenau/Germany
Polymerisationslampe	Elipar, 3M Espe, Seefeld/Germany
<i>ROEKO Activ Point Chlorhexidin-Spitzen</i> , 5 %	Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG, Langenau/Germany
<i>ROEKO Calciumhydroxid Plus</i> Spitzen, 52 %	Coltène/Whaledent GmbH + Co. KG, Langenau/Germany
Röntgenfolie	Digora (Soredex), Schutterwald/ Germany
Software <i>SPSS 21</i>	IBM Corporation, Ehningen/Germany

---

<b>Artikel</b>	<b>Hersteller</b>
Spiegelreflexkamera	Canon EOS 500D, Canon Inc., Krefeld/Germany
<i>testXpert II-Software</i>	Zwick-Roell, Ulm/Germany
<i>UltraCal XS Calciumhydroxide-Paste, 35 %</i>	Ultradent Products Inc., South Jordan, UA, USA
Wachs (Surgident Periphery Wax)	Kulzer Dental GmbH, Hanau/Germany
wasserfester Stift	Edding, Wunstorf/Germany
Zwick-Universaltestmaschine	Zwick-Roell, Ulm/Germany

Geschützte Warennamen wurden im Text *kursiv* gekennzeichnet.

### **Anhang 3: Auswertungstabellen und Diagramme der Frakturmodi**

<b>A - Chlorhexamed DIREKT Gel (1 %)</b>						
n = 10	AD	AS	K	M1	MAnz	M2
A1					2 AD,AS	AD
A2					2 K,AS	AS
A3						
A4						
A5					2 K,AS	AS
A6					2 K,AS	AS
A7						
A8					2 K,AS	AS
A9					2 K,AS	AS
A10					2 K,AS	AS
gesamt		03		07		
Prozent (%)		30		70		

<b>B - UltraCal XS Paste (35 %)</b>						
n = 10	AD	AS	K	M1	MAnz	M2
B1					2 K,AS	AS
B2					2 K,AS	AS
B3					2 K,AS	AS
B4					2 K,AS	AS
B5					2 K,AS	AS
B6						
B7					2 K,AS	AS
B8					2 K,AS	AS
B9					2 K,AS	K
B10					2 K,AS	AS
gesamt		01		09		
Prozent (%)		10		90		

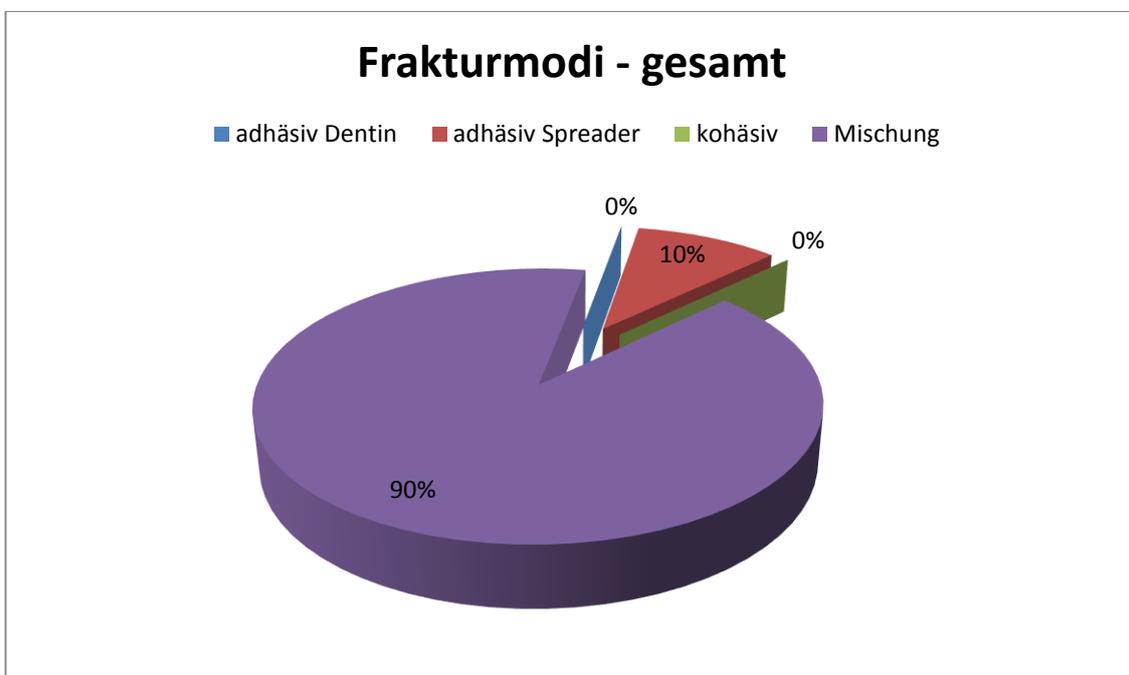
<b>C - Activ Point (5 %)</b>						
n = 10	AD	AS	K	M1	MAnz	M2
C1					3	K
C2					2 K,AS	AS
C3					2 K,AS	AS
C4					2 K,AS	AS
C5					2 K,AS	AS
C6					2 K,AS	AS
C7					2 K,AS	AS
C8					2 K,AS	AS
C9					2 K,AS	AS
C10					2 K,AS	AS
gesamt				10		
Prozent (%)				100		

<b>D - Calciumhydroxid PLUS Point (52 %)</b>						
n = 10	AD	AS	K	M1	MAnz	M2
D1					2 K,AS	AS
D2					2 K,AS	AS
D3					2 K,AS	AS
D4					2 K,AS	AS
D5					2 K,AS	AS
D6					2 K,AS	AS
D7					2 K,AS	AS
D8					2 K,AS	AS
D9					2 K,AS	AS
D10					2 K,AS	AS
gesamt				10		
Prozent (%)				100		

<b>E - feuchter Wurzelkanal, keine medikamentöse Einlage</b>						
n = 10	AD	AS	K	M1	MAnz	M2
E1					2 K,AS	AS
E2					2 K,AS	AS
E3					3	AS
E4					3	AS
E5					2 K,AS	AS
E6					2 K,AS	AS
E7					2 K,AS	AS
E8					2 K,AS	AS
E9					2 K,AS	AS
E10					2 K,AS	AS
gesamt				10		
Prozent (%)				100		

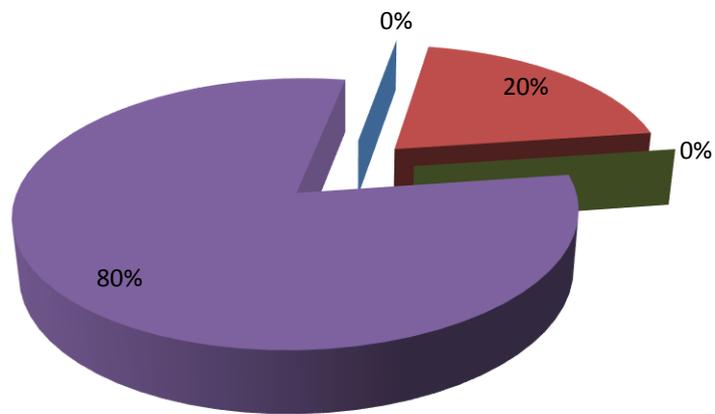
<b>F - trockener Wurzelkanal, keine medikamentöse Einlage</b>						
n = 10	AD	AS	K	M1	MAnz	M2
F1					3	AS
F2					3	AS
F3					2 K,AS	AS
F4					2 K,AS	AS
F5					3	AS
F6						
F7						
F8					3	AD
F9					3	AS
F10					3	AD
gesamt		02		08		
Prozent (%)		20		80		

AD	Adhäsiv Dentin	Fraktur zwischen Sealer und Dentin dicke Sealerschicht auf dem Spreader zu sehen
AS	Adhäsiv Spreader	Fraktur zwischen Sealer und Spreader der Spreader ist völlig frei von Sealer
K	Kohäsiv	Fraktur innerhalb der Sealerschicht dünne Sealerschicht auf dem Spreader zu sehen
M1	Mischung der Frakturmodi	Fraktur sowohl kohäsiv als auch adhäsiv; gemittelter Frakturmodus
MAnz	Mischung der Frakturmodi	Fraktur sowohl kohäsiv als auch adhäsiv; Anzahl der vorliegenden Frakturformen
M2	Mischung der Frakturmodi	Fraktur sowohl kohäsiv als auch adhäsiv; vorherrschender Frakturmodus



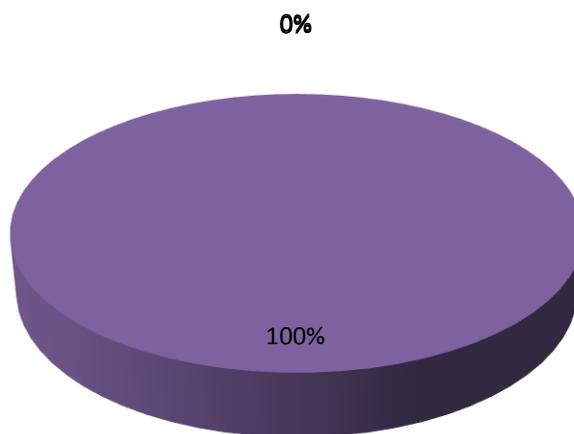
### Frakturmodi - Pasten

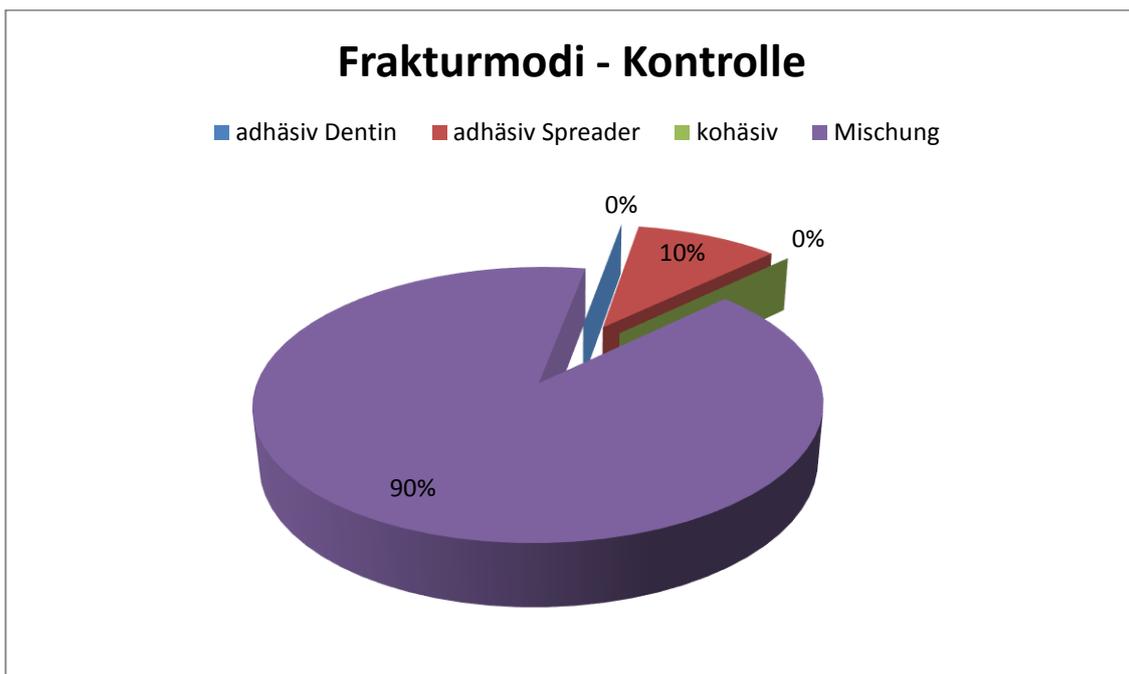
■ adhäsiv Dentin   ■ adhäsiv Spreader   ■ kohäsiv   ■ Mischung



### Frakturmodi - Points

■ adhäsiv Dentin   ■ adhäsiv Spreader   ■ kohäsiv   ■ Mischung





## **Anhang 4: Abbildungs- und Tabellenverzeichnis**

## ABBILDUNGEN

Abb. 1: Flowchart des Versuchsaufbaus.....	15
Abb. 2: Erste Röntgenkontrolle zur Auswahl der Probenzähne .....	16
Abb. 3: <i>BioRace</i> Basic Set (links), <i>BioRace</i> Extended Set (rechts) (Foto: FKG Dentaire SA) .....	17
Abb. 4: Röntgenbild mit inkorporierten Spreadern zur Auswahl in Frage kommender Versuchsproben.....	18
Abb. 5: Medikamentöse Einlagen in Pasten-/Gelform.....	20
Abb. 6: Leeres und befülltes Eppendorfgesäß.....	21
Abb. 7: Medikamentöse Einlagen in Stiftform .....	22
Abb. 8: Senkrecht ausrichten der Proben im Parallelometer .....	24
Abb. 9: Befüllen der Silikonform mit Kunststoff.....	25
Abb. 10: Befüllte Silikonform während des Aushärtens des Kunststoffes.....	26
Abb. 11: Der <i>EndoActivator</i> mit zugehörigem <i>Activator Tip</i> Größe „medium“ (.04/#25) .....	27
Abb. 12: Der <i>Sealer AH Plus</i> in der Darreichungsform als Paste-Paste-System.....	28
Abb. 13: Eine eingespannte Probe vor Durchführung des Zugversuches.....	29
Abb. 14: Probe nach Durchführung des Zugversuches .....	30
Abb. 15: Die <i>Zwick-Roell testXpert II</i> -Software, mit der die Universaltestmaschine arbeitet.....	30
Abb. 16: Beispiel eines Spreaders mit der vorherrschenden Frakturmodi-Kombination: Verlust des Haftverbundes innerhalb der Sealerschicht (K) und zwischen Sealer und Spreader (AS).....	31
Abb. 17: Spreader mit gemischtem Frakturmodus (M) .....	33
Abb. 18: Haftwerte von <i>AH Plus</i> zum Wurzelkanalentin unter Verwendung von medikamentösen Einlagen in Pasten-/Gelform und unter trockenen sowie feuchten Bedingungen im Wurzelkanal.....	34

Abb. 19: Haftwerte von *AH Plus* zum Wurzelkanalentin unter Verwendung von medikamentösen Einlagen in Stiftform und unter trockenen sowie feuchten Bedingungen im Wurzelkanal..... 35

Abb. 20: Aufführung der Haftwerte aller verwendeten medikamentösen Einlagen und der Kontrollgruppen unter Angabe der Scherfestigkeit in MPa..... 37

Abb. 21: Gesamtverteilung der Frakturmodi ..... 38

---

## TABELLEN

---

Tab. 1: Einteilung der Versuchsgruppen .....	19
Tab. 2: Das Spülprotokoll.....	27
Tab. 3: Die Frakturmodi.....	32
Tab. 4: Haftwerte für die medikamentösen Einlagen in Pasten-/Gelform und die Kontrollgruppen .....	34
Tab. 5: Haftwerte für die medikamentösen Einlagen in Stiftform und die Kontrollgruppen.....	36
Tab. 6: p-Werte nach Auswertung des Haftverbunds mittels Mann-Whitney-Test .....	36
Tab. 7: Übersicht der ermittelten Werte nach dem Einsatz verschiedener medikamentöser Einlagen .....	37

## 10 Verzeichnis der akademischen Lehrer

Meine akademischen Lehrer in Marburg waren die Damen und Herren Professoren und Dozenten:

Arweiler, Braun, Cetin, Feuser, Frankenberger, Gente, Gloerfeld, Grosse, Grundmann, Hellak, Hilt, Himpel, Höffken, Koolmann, Korbmacher-Steiner, Lamp, Lill, Lotzmann, Milani, Mittag, Moll, Mutters, Neff, Neumüller, Nonnenmacher, Pieper, Ramaswamy, Richter, Roggendorf, Schwarting, Teymoortash, Weihe, Wrocklage

## 11 Danksagung

Nur durch die Unterstützung vieler hilfsbereiter Menschen konnte ich mein Ziel der Promotion verwirklichen. Es seien hier nur einige genannt, ohne Anspruch auf Vollständigkeit und auch voller Dankbarkeit derer gegenüber, die nicht explizit aufgeführt wurden.

Zunächst möchte ich Prof. Dr. Roland Frankenberger nennen, dem ich zu tiefstem Dank verpflichtet bin, da er mir als hervorragender Doktorvater erst die Möglichkeit gab, in der Abteilung für Zahnerhaltungskunde in Marburg promovieren zu können.

Ein großes Dankeschön an meinen Betreuer, Oberarzt Dr. Matthias Roggendorf, der mir immer für Fragen zur Verfügung stand. Vielen Dank für den unermüdlichen Einsatz und die Ermutigung, auch wenn das Ziel so fern schien.

Vielen Dank natürlich an meine Eltern, Katrin Arnoldi-Hansen und Knut Hansen, dass sie mir ermöglicht haben, diesen Weg überhaupt gehen zu können und mich immer in dem unterstützt haben, was ich mir vorgenommen habe.

Ein herzliches Dankeschön gilt auch Marvin Hofmann, vielen Dank für die stetige Unterstützung, das Korrekturlesen und die notwendige Ruhe, um Gedanken ordnen zu dürfen.

Zuletzt, aber nicht weniger dankbar, bin ich meinem Bruder Jan Hansen, der mir nicht nur in Sachen Formatierung der Dissertation stets zur Seite stand.

Vielen Dank für die unsagbare Unterstützung und Ermutigung.